



СГУГиТ
СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Учредитель федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский
государственный университет геосистем
и технологий» (СГУГиТ)

Вестник СГУГиТ

Научный журнал
Издается с 1996 г.
Выходит 6 раз в год

Том 30, № 3, 2025

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3

СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор

К. т. н., доцент
Обиденко Владимир Иванович

Заместители главного редактора:

Д. т. н., проф. Д. В. Лисицкий
Д. т. н., проф. Г. А. Уставич

Редакционная коллегия:

Д. т. н., проф. В. С. Айрапетян
Д. б. н. К. С. Байков
К. т. н., проф. Г. Гиенко (США)
К. т. н., проф. В. Б. Жарников
Д. т. н., проф. С. Златанова
(Нидерланды)
Д. т. н., доц. А. В. Комиссаров
Д. т. н., проф. М. Конечны (Чехия)
Д. ф.-м. н., проф. С. М. Копейкин
(США)
Д. б. н., проф. Ю. В. Кравцов
К. ф.-м. н., доц. Е. Левин (США)
Д. т. н., проф. Е. М. Мазурова
Д. т. н., акад. РАН Н. П. Похиленко
Д. ф.-м. н., проф. О. А. Романовский
Д. т. н., проф. А. П. Сизов
Д. г. н., проф. В. С. Тикунов
Д. ф.-м. н., проф. В. Ю. Тимофеев
Д. т. н., проф. А. С. Толстиков
Д. т. н., проф. Л. К. Трубина
Д. т. н., доц. В. С. Хорошилов
Д. т. н., проф. Д. А. Шаповалов
Д. т. н., акад. РАН М. И. Эпов
Д. т. н., проф. Р. Ягер (Германия)

До 2015 г. журнал выходил
под названием «Вестник СГТА»

С 2017 г. нумерация журнала
включает номер тома
(порядковый номер года издания)
и номер выпуска в текущем году

© СГУГиТ, 2025

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

Н. С. Косарев. О необходимости создания отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга 5

А. В. Котельников, В. И. Обиденко. Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 15

А. А. Токин, А. А. Шоломицкий. Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах 31

Г. А. Уставич, А. А. Шоломицкий, И. Ю. Васютинский, А. М. Астапов. Деформационный мониторинг системы «турбоагрегат – фундамент – основание» 41

Т. А. Хлебникова, М. В. Мурзинцева, Е. В. Минченко, М. Н. Мурзинцев. Методика проведения археологических и изыскательских работ при установлении границ объектов культурного наследия 53

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

В. В. Крыленко, М. В. Крыленко. Исследования строения и динамики косы Камышеватской (Азовское море) по материалам дистанционного зондирования 60

В. А. Мелкий, С. С. Янкевич. Определение негативного воздействия вулканических извержений на прилегающие территории по материалам дистанционного зондирования Земли 69

Н. В. Попов, В. А. Малинников. Разработка статистических моделей оценки концентрации метана в приземном слое атмосферы по материалам космической съемки в зимний период 77

Д. В. Филиппов. Оценка влияния освещенности на значения вегетационных индексов природно-антропогенных объектов 86

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций –
свидетельство ПИ № ФС 77-62654
от 10 августа 2015 г.

Журнал входит в Перечень
рецензируемых научных
изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата и доктора наук

Журнал включен в Российский
индекс научного цитирования
(РИНЦ) и актуальную версию
«Белого списка».

Подписные индексы в каталогах:

«Пресса России» – 43809
Электронный каталог «Пресса
России» – 43809э

Технический редактор журнала
В. А. Рыжова

Адрес редакции и издателя:
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10
E-mail: vestnik@ssga.ru
Тел. (383)361-06-55
<http://vestnik.ssga.ru>

Редактор:
О. В. Георгиевская

Компьютерная верстка:
Я. А. Филиппова

Свободная цена.

Дата выхода в свет 30.06.2025.
Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 20,11.
Тираж 100 экз. Заказ 75.

Редакционно-издательский
отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной
лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 8.

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

- Л. К. Радченко.* Картографическая геймификация как
средство познания действительности 95
- А. А. Титов, Н. М. Биктимирова.* Оценка подходов
к картографической визуализации климатических дан-
ных (на примере картографирования осадков) 103

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- И. Э. Аленин, А. В. Дубровский, В. Н. Москвин,
Л. А. Пластинин.* Искусственный интеллект в ВІМ: по-
вышение эффективности инженерных изысканий и
проектирования объектов недвижимости 111
- Е. Н. Быкова, Д. А. Шарова, В. В. Воронцовская.* Кадаст-
ровая оценка земель нефтегазодобывающих предпри-
ятий: совершенствование методологии и практики 121
- Д. А. Гура.* Анализ эффективности современных изме-
рительных технологий для трехмерной идентификации
объектов недвижимости 132
- Е. В. Коцур, В. И. Татаренко, Н. А. Капитулина,
Т. А. Щербакова.* Формирование карты эколого-хозяй-
ственного зонирования территории муниципального
района с применением ГИС-технологий 143
- В. А. Павлова, А. А. Шпаков.* Совершенствование ме-
роприятий по государственному контролю за исполь-
зованием земель сельскохозяйственного назначения
с применением геопространственных баз данных 154

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ

- В. С. Айрапетян, А. В. Макеев.* Влияние излучения
 $YAG:Na^{3+}$ -лазера накачки на генерационные характе-
ристики внерезонаторного параметрического генера-
тора света 163

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

- К 100-летию со дня рождения Олега Альбертовича
Майера, первого декана оптического факультета
НИИГАиК 170



SSUGT

SIBERIAN STATE
UNIVERSITY OF GEOSYSTEMS
AND TECHNOLOGIES

Founder Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
"Siberian State University
of Geosystems and Technologies"

Vestnik SSUGT

Scientific journal
Published since 1996
Issued 6 times a year

Volume 30(3), 2025

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3

CONTENTS

GEODESY AND MINE SURVEY

- N. S. Kosarev.* On the necessity of creating Russian software for automated geodetic monitoring 5
- A. V. Kotelnikov, V. I. Obidenko.* Experience of practical application of «hybrid» local coordinate systems created on the basis of SCS-2011 15
- A. A. Tokin, A. A. Sholomitskii.* The methodology of automated survey and calculation of bulk materials in warehouses 31
- G. A. Ustavich, A. A. Sholomitsky, I. Y. Vasyutinsky, A. M. Astapov.* Improvement of the method of deformation monitoring of the “turbo unit-foundation-base” system 41
- T. A. Khlebnikova, M. V. Murzintseva, E. V. Minchenko, M. N. Murzintsev.* Methodology of design and survey works in establishing the boundaries of cultural heritage objects 53

REMOTE SENSING, PHOTOGRAMMETRY

- V. V. Krylenko, M. V. Krylenko.* Research of the structure and dynamics of the Kamyshevatskaya spit (Sea of Azov) based on remote sensing data 60
- V. A. Melkiy, S. S. Yankelevich.* Determination of the negative impact of volcanic eruptions on adjacent territories based on remote sensing data 69
- N. V. Popov, V. A. Malinnikov.* Development of statistical models for methane concentration evaluation in ground layer of atmosphere on the base of space imagery data in winter period 77
- D. V. Filippov.* Assessment of the influence of illumination on the values of vegetation indices of natural-anthropogenic objects 86

Editor-in-Chief:

Ph. D. (Eng.), Associate Professor
Obidenko V. I.

Depute Editor-in-Chief:

D. Sc. (Eng.), Prof. D. V. Lisitsky
D. Sc. (Eng.), Prof. G. A. Ustavich

Editorial team:

D. Sc. (Eng.), Prof. V. S. Ajrapetyan
D. Sc. (Biol.) K. S. Baikov
Ph. D. (Eng.), Prof. G. Gienko (USA)
Ph. D. (Eng.), Prof. V. B. Zharnikov
D. Sc. (Eng.), Prof. S. Zlatanova (Netherlands)
D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
A. V. Komissarov
D. Sc. (Eng.), Prof. M. Konečný (Czech Republic)
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
S. M. Kopeikin (USA)
D. Sc. (Biol.), Prof. Yu. V. Kravtsov
Ph. D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.
E. Levin (USA)
D. Sc. (Eng.), Prof. E. M. Mazurova
Member of RAS N. P. Pokhilenko
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
O. A. Romanovskij
D. Sc. (Eng.), Prof. A. P. Sizov
D. Sc. (Geogr.), Prof. V. S. Tikunov
D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.
V. Yu. Timofeev
D. Sc. (Eng.), Prof. A. S. Tolstikov
D. Sc. (Eng.), Prof. L. K. Trubina
D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.
V. S. Horoshilov
D. Sc. (Eng.), Prof. D. A. Shapovalov
D. Sc. (Eng.), Member of RAS
M. I. Epov
D. Sc. (Eng.), Prof. R. Jäger (Germany)

Before 2015 journal
was published under the name
«Vestnik SSGA»

Starting from 2017 numbering of the volume refers to the number of years the journal has been circulated. The number of the issue refers to how many times the journal was published during the year

© SSUGT, 2025

Registration certificate

The journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications Information Technology, and Mass Media – Certificate PI No. 77-62654 of August 10, 2015

The journal is included in the List of refereed scientific journals, recommended by Highest Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for publishing the scientific results of dissertations in candidacy for a degree of Candidate or Doctor of Science degree

The journal is included in the Russian Science Citation Index (RSCI) and current version of the White List

Subscription indexes in catalogues:

«Russian press» – 43809

Electronic catalogue "Russian press" – 43809

Layout editor of journal

V. A. Ryzhova

Editors office and publisher address:

630108, Novosibirsk,
10 Plakhotnogo St.
E-mail: vestnik@ssga.ru
Phone: (383)361-06-55
<http://vestnik.ssga.ru>

Editor:

O. V. Georgievskaya

Desktop publishing:

Y. A. Filippova

Free price

Issue data 30.06.2025.
Format 60 × 84 1/8.
Conv. pr. sheets 20,11.
Circulation 100 copies.
Order 75.

Printing and publication
department SSUGT
630108, Novosibirsk,
10 Plakhotnogo St.

Printed in Map Printing
Laboratory SSUGT
630108, Novosibirsk,
8 Plakhotnogo St.

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

L. K. Radchenko. Cartographic gamification as a means of understanding reality..... 95

A. A. Titov, N. M. Biktimirova. Assessment of approaches to cartographic visualisation of climate data (using precipitation mapping as an example)..... 103

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

I. E. Alenin, A. V. Dubrovsky, V. N. Moskvina, L. A. Plastinin. Artificial intelligence in BIM: improving the efficiency of engineering surveys and real estate design..... 111

E. N. Bykova, D. A. Sharova, V. V. Voronetskaya. Cadastral valuation of lands of oil and gas producing enterprises: improving methodology and practice..... 121

D. A. Gura. Analysis of the effectiveness of modern measurement technologies for three-dimensional identification of real estate objects..... 132

E. V. Kotsur, V. I. Tatarenko, N. A. Kapitulina, T. A. Shcherbakova. Formation of a map of ecological and economic zoning of the territory of a municipal district using GIS technologies..... 143

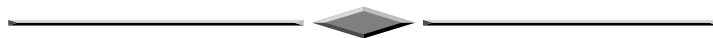
V. A. Pavlova, A. A. Shpakov. Improvement of measures for state control over the use of agricultural land using geospatial databases..... 154

OPTICAL AND ELECTRONIC DEVICES AND COMPLEXES

V. S. Ayrapetyan, A. V. Makeev. Influence of YAG:Nd³⁺-Pump Laser on the Generation Characteristics of an Extracavity Optical Parametric Oscillator 163

ANNIVERSARIES

To the 100th anniversary of the birth of Oleg Albertovich Mayer, the first dean of the optical faculty of NIIGAik 170



УДК 528:004.4

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-5-14

О необходимости создания отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

Н. С. Косарев¹✉

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

e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время Президентом Российской Федерации В. В. Путиным поставлена достаточно сложная задача, связанная с обеспечением технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры страны. В связи с этим необходимо за короткий период времени заменить зарубежное программное обеспечение на его российский аналог или полностью разработать новое. Геоиндустрия, как и другие секторы экономики, зависит практически полностью от зарубежного программного обеспечения. Так на всех крупных гидроэлектростанциях Российской Федерации, таких как Бурейская, Саяно-Шушенская, Красноярская, для обеспечения безопасности развернута и эксплуатируется автоматизированная система геодезического мониторинга на базе Leica GeoMos. В связи с санкционной политикой развертывание подобной системы сейчас невозможно, поэтому разработка отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга важна и крайне актуальна. В статье сделан краткий обзор зарубежного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга, по результатам которого выявлен общий признак этих систем, а именно их модульность, поэтому при разработке прототипа отечественного программного обеспечения выбрана блочная иерархия, каждый элемент которой взаимосвязан друг с другом. Кроме этого показано, что у сотрудников Сибирского государственного университета геосистем и технологий имеются достаточно мощные наработки в этой области, и единственным сложным этапом является интеграция этих знаний в единое программное обеспечение.

Ключевые слова: отечественное программное обеспечение, автоматизированный геодезический мониторинг, «Визир 3D», RinMonitor, «МГСети», Leica GeoMoS, Trimble 4D-control, GOCA, DABAMOS

Для цитирования:

Косарев Н. С. О необходимости создания отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 5–14. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-5-14

Введение

В настоящее время во всем мире активно уделяется внимание обеспечению безопасности критически важных объектов инфраструктуры, например, крупных гидротехнических сооружений, нефте- и газопроводов, АЭС, пунктов хранения стратеги-

ческих запасов нефти и газа, вредных химических производств, транспортных узлов, аэродромов и т. п., выведение из строя которых может привести к непредсказуемым тяжелым и даже катастрофическим последствиям как для экономики страны, так и для безопасности жизнедеятельности людей [1–3]. На территории Российской Федерации Мини-

стерством по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий было выделено порядка 50 тысяч критически важных объектов инфраструктуры. В 2021 г. вышло Постановление Правительства Российской Федерации от 24.06.2021 № 981 «Об утверждении Правил формирования и утверждения перечня критически важных объектов», благодаря которому планируется сформировать обновленный реестр критически важных объектов инфраструктуры, при этом количество объектов инфраструктуры существенно возрастет (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.06.2021 № 981 «Об утверждении Правил формирования и утверждения перечня критически важных объектов». – URL: <https://base-garant.ru/401399891/>. – Текст: электронный).

Защита критически важных объектов инфраструктуры представляет собой одну из наиболее важных задач обеспечения национальной безопасности любой страны, включая в себя проведение мероприятий, которые должны обеспечить их сохранение в случае различных воздействий природного или техногенного характера. На территории Российской Федерации обеспечение безопасности критически важных объектов инфраструктуры осуществляется в рамках федерального закона № 187-ФЗ (Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/. – Текст: электронный).

На сегодняшний день назрела острая проблема, связанная с тем, что практически 90 % программного обеспечения (ПО), которое используется на критически важных объектах, иностранного производства (Моделирование: каких решений не хватает для цифрового суверенитета России. – URL: <https://www.toinform.ru/index.php/news/14582-modelirovanie-kakikh-reshenii-ne-khvataet-dlia-tcifrovogo-suvereniteta-rossii>. – Текст: электронный). Использование программных продуктов иностранного производства на критически важных объектах инфраструктуры Российской Федерации в таких количествах недопустимо, так как может привести к технологической зависимости от недружественных стран Запада. В связи с этим разработка подобного программного обеспечения не только актуальна, но и чрезвычайно важна.

В марте 2022 г. Президент Российской Федерации В. В. Путин издал указ № 166 «О ме-

рах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», согласно которому в целях обеспечения технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации госорганам и госзаказчикам с 1 января 2025 г. запрещено использовать иностранное программное обеспечение на объектах критической информационной инфраструктуры, а с 31 марта этого года – закупать иностранное программное обеспечение без специального разрешения (Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001>. – Текст: электронный).

В геоиндустрии, как и в других секторах экономики, процент использования программного обеспечения иностранного производства остается достаточно высоким. Так, на всех крупных ГЭС Российской Федерации, таких как Бурейская, Саяно-Шушенская, Красноярская, для обеспечения безопасности развернута и эксплуатируется автоматизированная система геодезического мониторинга (АСГМ) на базе Leica GeoMos [4, 5]. На Загорской ГАЭС-2 такая система применяется для контроля пространственного положения станционного узла в процессе его подъема методом компенсационного нагнетания [6].

Аналога отечественного программного обеспечения для АГМ в настоящее время в Российской Федерации нет, есть лишь отдельные модули, поэтому разработка такой системы важна и крайне актуальна.

Обзор зарубежного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

Leica GeoMoS (Leica Geodetic Monitoring System) – это программное обеспечение для автоматизированного геодезического мониторинга, разработанное компанией Hexagon, которое свободно адаптируется к конкретным потребностям любого пользователя [7]. ПО может работать как в непрерывном, так и периодическом мониторинге, обеспечивая соответствующую точность и надежность.

Leica GeoMoS поддерживает подключение к геодезическим, геотехническим, метео-

рологическим, экологическим или любым другим датчикам. В программном обеспечении присутствует возможность контроля предельных или критических значений параметров. Ответственные лица могут быть своевременно проинформированы о превышении предельных значений с помощью различных вариантов обмена сообщениями (электронная почта, SMS и т. д.).

Trimble 4D Control – это программное обеспечение для автоматизированного геодезического мониторинга, разработанное компанией Trimble, поддерживающее множество функций, чтобы предоставлять широкий спектр возможностей для различного круга потребителей.

Одним из ключевых элементов системы является программное обеспечение Trimble Pivot Platform, которое позволяет интегрировать данные ГНСС-приемников, данные с электронных

тахеометров, а также другие данные, поступающие с сейсмографических, метеорологических, геотехнических и иных датчиков.

Кроме этого Trimble разрабатывает собственные датчики для установки на контролируемых объектах. Одним из таких датчиков является сейсмический датчик Trimble Kestrel System, модель SG160-09, который представляет собой интеграцию ГНСС-приемника (200 Гц) и трехосевого акселерометра [8].

GOCA (GNSS/LPS/LS Online Control and Alarm System) – программное обеспечение, разработанное в Университете города Карлсруэ, применяется для мониторинга опасных природных явлений, геотехнических сооружений, строительных конструкций, зданий и плотин. Как и другое аналогичное ПО, оно состоит из различных модулей (рис. 1).

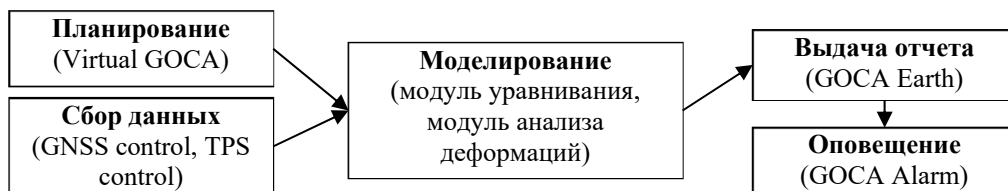


Рис. 1. Структурная схема программного обеспечения GOCA [9]

Концептуально процесс анализа деформаций, реализованный в программном обеспечении GOCA, представляет собой классический подход, разработанный для работы в онлайн-режиме. Для построения прогнозных моделей используются различные методы, включая алгоритм калмановской фильтрации [9–11].

DABAMOS (Datenbank-orientiertes Monitoring-und Analyse-System) – программное обеспечение, разработанное в Нойбранденбургском университете прикладных наук. Разработка началась в 2009 г. как студенческий проект по простому удаленному управлению геодезическими датчиками. Первая версия программного обеспечения была написана полностью на Java SE и могла быть запущена на обычных персональных компьютерах без каких-либо специальных требований, за исключением Java Runtime Environment.

Интегрированный интерфейс дистанционного управления позволяет пользователям запускать и останавливать процесс мониторинга через сеть TCP/IP. Все данные датчиков

хранятся в объектно-ориентированной базе данных db4o. Позднее архитектура ПО изменилась на архитектуру «клиент – сервер» с разработкой корпоративного приложения, написанного на Java EE для хранения и визуализации данных мониторинга на интернет-серверах.

В 2013 г. программное обеспечение было опубликовано в интернете в виде открытого исходного кода. К этому моменту ПО было адаптировано для работы через веб-интерфейс и для поддержки одноплатных компьютеров на базе ARM, таких как Raspberry Pi или BeagleBone. Эти одноплатные компьютеры могут использоваться для управления подключенными датчиками.

Программное обеспечение DABAMOS состоит из трех частей [12, 13]:

– OpenADMS – модуль для управления датчиками. Измеренные значения геодезических или геотехнических датчиков хранятся локально в базе данных NoSQL, а затем передаются на FTP-сервер или экземпляр OpenSDMS;

– OpenSDMS – модуль для хранения, анализа и визуализации данных датчиков в облачных вычислительных средах. OpenSDMS собирает и управляет данными от произвольного числа клиентов OpenADMS. Сервис все еще находится в концептуальной фазе;

– Middleware – модуль, обеспечивающий доступ в интернет через Ethernet, Wi-Fi или беспроводные сети (3G/4G).

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика представленного зарубежного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга.

Таблица 1

Сравнительная характеристика представленного зарубежного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

	Leica GeoMos, версия 8.1	Trimble 4D control, версия 6.5	GOCA, версия 5.1	DABAMOS, версия 0.9.6
Доступные модули/наборы инструментов:	1) модуль для хранения и сбора данных (GeoMoS Monitor); 2) модуль анализа, обработки и визуализации данных (GeoMoS Analyzer); 3) модуль анализа деформаций (GeoMoS Adjustment)	1) модуль постобработки оптических данных; 2) модуль обработки оптических данных в реальном времени; 3) модуль постобработки ГНСС-данных; 4) модуль интеграции данных съемки; 5) модуль ГНСС RTK решений; 6) модуль ГНСС внезапных деформаций; 7) модуль ГНСС сетевых деформаций	1) модуль сбора оптических данных (TPS-control); 2) модуль сбора ГНСС-данных (GNSS-control); 3) модуль уравнивания; 4) модуль анализа деформаций; 5) модуль отображения GOCA Earth; 6) модуль оповещения GOCA-Alarm; 7) модуль Virtual GOCA	1) модуль управления датчиками OpenADMS; 2) модуль хранения визуализация и анализа данных OpenSDMS; 3) промежуточное программное обеспечение (Middleware)
Система оповещения	Да	Да	Да	*
Функциональное подключение различных датчиков	Да	Да	Да	Да
Поддерживаемые тахеометры	Тахеометры Leica Geosystems TS60, TM50, TS50, TS15, TS16, TM30, TS30, TPS1100, TPS1200, TPS1200Plus, TCA1201M, TPS1800 и серия TCA2003	Тахеометры Trimble, Leica Geosystems и др.	Тахеометры Leica Geosystems, Topcon, Geomax и Sokkia	Тахеометры Leica Geosystems TS16, TM30, TS30, TPS1200Plus
Поддерживаемые ГНСС-приемники	ГНСС-приемники фирмы Leica и данные постобработки, полученные от программного обеспечения Leica GNSS Spider	ГНСС-приемники фирм Trimble, Ashtech, Javad, Leica, Septentrio, Topcon	ГНСС-приемники Topcon, Sokkia, Leica Geosystems, Septentrio, ublox, Novatel и любые ГНСС-приемники, передающие поток RTCM 2.3	*
Поддерживаемые геотехнические датчики	1. Датчики фирмы Campbell (экстензометры, пьезометры, тензометры, инклинометры, термометры, барометры, датчики осадков и другие); 2. Инклинометр Leica Nivel210, Nivel220.	Измерители трещин, датчики давления грунта, экстензометры, гигрометры, инклинометры, тензодатчики, пьезометры, датчики осадков, наклонометры и другие	*	Датчики осадков, инклинометры Leica Nivel210, DXL360S и другие
Поддерживаемые метеодатчики	Метеодатчики фирм Vaisala, STS, Reinhardt	Метеодатчики фирмы Vaisala и другие	Метеодатчики фирмы Wiesemann & Theis GmbH	Метеодатчики фирм STS, Reinhardt

Примечание. * – информация не указана в открытых источниках.

Прототип отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

Предлагаемый вариант программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга представляет собой иерархическую систему блочного типа, каждый элемент которой взаимосвязан друг с другом (рис. 2).

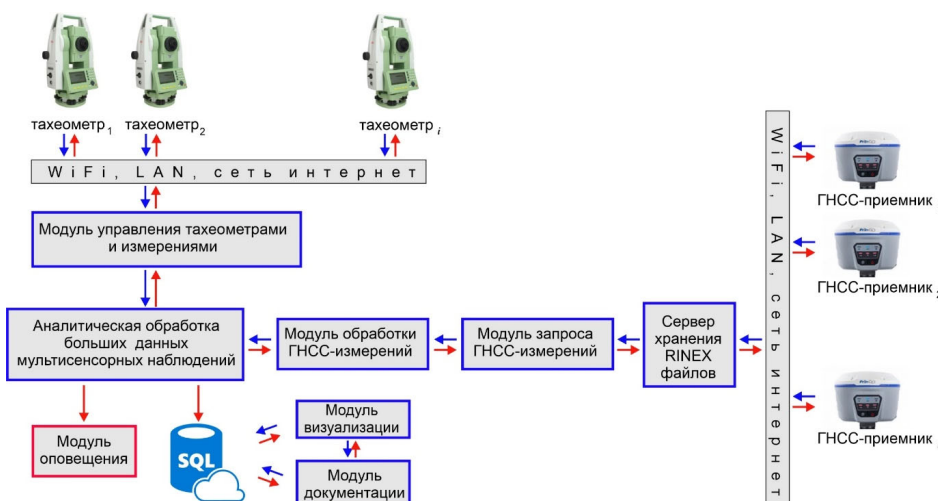


Рис. 2. Схема отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

В состав программного обеспечения входят следующие элементы:

- модуль опроса и управления тахеометрами предназначен для запроса необходимых данных с тахеометров с определенной дискретностью, с последующей передачей этих данных в модуль уравнивания;
- модуль запроса ГНСС-измерений предназначен для запроса с определенной периодичностью хранящихся на сервере данных (RINEX-файлов) с последующей передачей этих данных в модуль ГНСС-измерений. Передача данных осуществляется в сети Интернет;
- модуль обработки ГНСС-измерений предназначен для обработки ГНСС-измерений в формате данных RINEX с последующим получением приращений пространственных координат X , Y , Z с оценкой их точности в виде ковариационных матриц;
- модуль уравнивания предназначен для уравнивания поступающих данных от тахеометров (через модуль опроса и управления тахеометрами) и от ГНСС-приемников (через модуль обработки ГНСС-измерений) с последующим выводом данных, которые затем бу-

дут анализироваться и представляться в графическом виде;

- модуль визуализации предназначен для графического представления полученных результатов;

- база данных предназначена для хранения исходных данных на дату измерений и результатов уравнивания для последующей оценки поведения объекта.

Возможности Сибирского государственного университета геосистем и технологий по созданию отечественного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга

Как отмечалось выше, в настоящее время в Российской Федерации нет аналога отечественного программного обеспечения для АГМ, но есть мощные наработки в этой области, прежде всего сотрудников СГУГиТ. Так, в качестве модуля опроса и управления тахеометрами может быть адаптирована программа «Визир 3D» [14, 15], которая струк-

турно имеет модульную иерархию и работает в режиме «клиент – сервер».

В настоящее время программное обеспечение «Визир 3D» работает в автоматизированном режиме с электронными тахеометрами Leica и FOIF [16].

В качестве модуля запроса и модуля обработки ГНСС-измерений может выступать подпрограмма мониторинга смещений геодезических пунктов по ГНСС-измерениям (RINMONITOR) [17], которая позволяет загружать с онлайн-сервера файлы ГНСС-измерений в универсальном формате RINEX (версии 2.x, 3.x), импортировать их, выстраивать иерархическую структуру между измерениями, формировать базовые линии, разнесенные по времени, выводить результат обработки измерений в необходимом формате, выполнять базовые координатные и высотные преобразования. Программа позволяет удаленно получать данные, необходимые для дальнейшего пространственно-временного анализа смещения элементов сооружений и выявления изменения их положения.

Блок-схема экспорта файлов ГНСС-измерений с онлайн-сервера и процедура обработки этих данных показана на рис. 3.

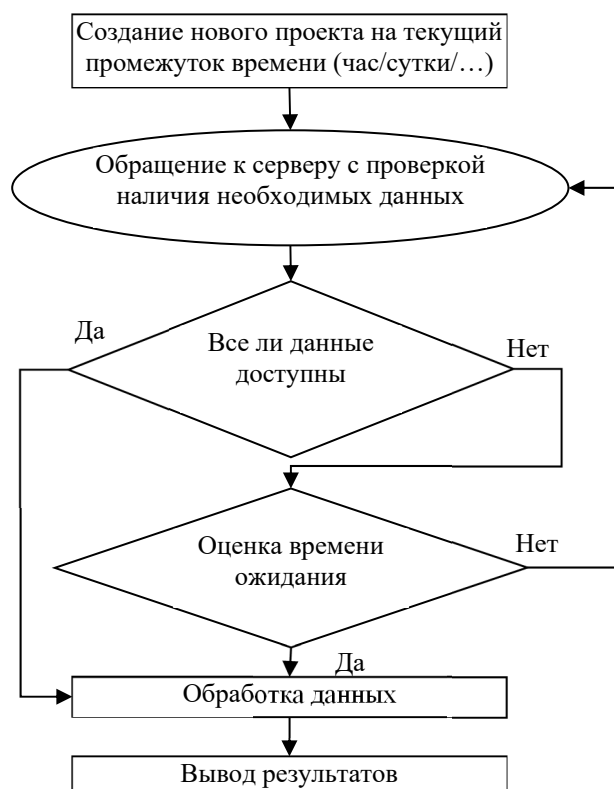


Рис. 3. Блок-схема экспорта файлов ГНСС-измерений с онлайн-сервера и процедура обработки этих данных

Совместное уравнивание геодезических и спутниковых измерений реализовано в программном обеспечении «МГСети» на основе метода наименьших квадратов [18]. Для того чтобы осуществить комбинированное уравнивание, необходимо выполнить импорт ГНСС-измерений в определенном формате.

В первой строке передается информация о координатной системе, являющейся исходной, а также приведены параметры исходного эллипсоида – большая полуось a и его эксцентриситет e . Во второй строке передаются имена точек и их координаты в исходной системе координат, кроме того, приводятся СКП определения координат этих точек. В третьей строке приводятся компоненты ГНСС-векторов, точки начала и конца вектора, приращения координат между точками начала и конца, а также СКП определения приращений координат.

Таким образом, практически все необходимые модули, на базе которых может быть разработано отечественное программное обеспечение для автоматизированного геодезического мониторинга, созданы сотрудниками Сибирского государственного университета геосистем и технологий, и единственная оставшаяся сложная задача – интеграция этих модулей в единое полноценное программное обеспечение.

Заключение

В статье сделан краткий обзор зарубежного программного обеспечения для автоматизированного геодезического мониторинга, по результатам которого выявлен общий признак этих систем, а именно их модульность, т. е. все они имеют гибкий функционал и адаптируются под решение конкретной задачи, поставленной техническим заданием. Кроме того, автором предложен один из возможных вариантов прототипа отечественного программного обеспечения на базе блочной иерархии, каждый элемент которого взаимосвязан друг с другом. Предлагаемый прототип может работать как в режиме постобработки, так и в режиме реального времени. Кроме этого показано, что у сотрудников Сибирского государственного университета гео-

систем и технологий имеются достаточно мощные наработки в области автоматизированного геодезического мониторинга: разработаны программные комплексы «Визир 3D», «МГСети», подпрограмма мониторинга смещений геодезических пунктов по ГНСС-измерениям (RinMonitor) и др. Отмечено, что единственным сложным этапом является интеграция этих знаний в единое полноценное программное обеспечение.

Также стоит отметить наработки сотрудников СГУГиТ, которые могут быть полезны, и которые расширяют функционал предлагаемого прототипа. На кафедре космической и физической геодезии ведутся работы по построению прогнозных математических моде-

лей для изучения деформационных процессов, проявляющихся на оползневых склонах, крупных ГЭС и других инженерных объектах [19, 20]; кроме того, в рамках госбюджетной НИР «Автоматический геодезический мониторинг природной среды и инженерных сооружений средствами малобюджетных высокоточных датчиков вертикальных перемещений в условиях Крайнего Севера» создана система автоматизированного геодезического мониторинга на базе недорогих ГНСС-приемников [21].

Приведенные наработки, безусловно, позволят создать отечественное программное обеспечение, не уступающее зарубежным аналогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Krausmann E., Girgin S., Necci A. Natural hazard impacts on industry and critical infrastructure: Natech risk drivers and risk management performance indicators // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. – 2019. – Vol. 40. – P. 101163. – DOI 10.1016/j.ijdr.2019.101163.
2. Suarez-Paba M. C., Cruz A. M. A paradigm shift in Natech risk management: Development of a rating system framework for evaluating the performance of industry // *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*. – 2022. – Vol. 74. – P. 104615. – DOI 10.1016/j.jlp.2021.104615. – EDN: KZGMXV.
3. Bernier C., Padgett J. E. Fragility and risk assessment of aboveground storage tanks subjected to concurrent surge, wave, and wind loads // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2019. – Vol. 191. – P. 106571. – DOI 10.1016/j.res.2019.106571.
4. Хиллер Б., Сухов И. В., Ли В. Т. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // *Гидротехника*. – 2015. – № 2. – С. 12–15.
5. Сальников В. Г., Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Хлебникова Т. А. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 108–124. – EDN YAATIT.
6. Устинов А. В. Результаты мониторинга вертикальных перемещений в процессе компенсационного нагнетания на опытном участке Загорской ГАЭС-2 // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 128–141. – EDN YRJGBF.
7. Vrcce E., Bojić M. Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – Vol. 316. – P. 532–548. – DOI 10.1007/978-3-030-90055-7_42.
8. Kalber S., Jäger R., Schwable R. A GPS-based online control and alarm system // *GPS Solutions*. – 2000. – Vol. 3 (3). – P. 19–25. – DOI 10.1007/PL00012799. – EDN ESGFJP.
9. Ягер Р., Шпон П., Шайхутдинов Т., Горохова Т. И., Янкуш А. Ю. Математические модели и техническая реализация GOCA – онлайн-системы геодезического мониторинга и оповещения о деформациях природных и техногенных объектов, основанная на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS/LS) // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.)*. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 9–32. – EDN PCOECH.
10. Jäger R., Kälber S., Oswald M. GNSS/GPS/LPS based online control and alarm system (GOCA) mathematical models and technical realization of a system for natural and geotechnical deformation monitoring and analysis // *ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.)*. – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 32–44. – EDN PIJDXB.

11. Ягер Р., Освальд М., Шпон П. Virtual GOCA – Google Earth – инструментальное средство для интерактивного проектирования виртуальных сенсорных сетей, обоснования модели и программного обеспечения, планирования и анализа сценариев геомониторинга // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. научн. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. – С. 47–53.
12. Engel Ph., Schweimler B. Development of an Open-Source Automatic Deformation Monitoring System for Geodetical and Geotechnical Measurements // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. – 2016. – XL-5/W8. – P. 25–30. – DOI 10.5194/isprs-archives-XL-5-W8-25-2016.
13. Engel Ph., Schweimler B. Design and Implementation of a Modern Automatic Deformation Monitoring System: Towards an Open Source Software Platform for Geodetical and Geotechnical Measurements // Journal of Applied Geodesy. – 2016. – Vol. 10(1). – P. 79–85. – DOI 10.1515/jag-2015-0024.
14. Mogilny S. G., Sholomitskii A. A., Martynov O. V. Real-time geodetic measurements of rotary machines // 17th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM. – 2017. – С. 523–530. – DOI 10.5593/sgem2017/22/S09.065. – EDN: OSGKJE.
15. Сайт продукта «Визир 3D» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sholomitskij.wixsite.com/sholomitskij/vizir-3d>.
16. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К. Автоматизация измерений, обработки и анализа при мониторинге сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 1. – С. 162–168. – DOI: 10.33764/2618-981X-2023-1-1-162-168. – EDN TKYXPW.
17. Шевчук С. О., Косарев Н. С., Черемесина Е. С. Подпрограмма мониторинга смещений геодезических пунктов по ГНСС-измерениям (RinMonitor) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667872 от 17 октября 2023 г., заявка от 29.08.2023.
18. Шоломицкий А. А., Могильный С. Г., Косарев Н. С. Инженерные геодезические и маркшейдерские работы: теория и практика : учебник для вузов. – СПб. : Лань, 2023. – 312 с.
19. Карпик А. П., Хорошилов В. С., Комиссаров А. В. Анализ методов и средств изучения динамики перемещений оползневых склонов // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 17–32. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-17-32. – EDN GEQNTG.
20. Кобелева Н. Н., Хорошилов В. С. Анализ входных воздействующих факторов и выбор типа математической модели на этапах их структурной и параметрической идентификации для изучения деформационного состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС в период 2013–2016 годов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 53–62. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-53-62. – EDN BTBPJJ.
21. Карпик А. П., Мареев А. В., Мамаев Д. С. Свободное программное обеспечение для геодезического мониторинга MONCENTER // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 43–54. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-43-54. – EDN MJXFOV.

Об авторах

Николай Сергеевич Косарев – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 21.10.2024

© Н. С. Косарев, 2025

On the necessity of creating Russian software for automated geodetic monitoring

N. S. Kosarev¹✉

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

e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Abstract. Currently, the President of the Russian Federation V.V. Putin has set a rather difficult task related to ensuring the technological independence and security of the country's critical information infrastructure. In this regard, it is necessary to replace foreign software with its Russian analogue in a short period of time, or completely develop a new one. The geoindustry, like other sectors of the economy, depends almost entirely on foreign software, so at all large hydroelectric power plants of the Russian Federation, such as Bureyskaya, Sayano-Shushenskaya, Krasnoyarskaya, an automated geodetic monitoring system based on Leica GeoMos has been deployed and operated to ensure security, which is currently unavailable due to the sanctions policy, so the development of domestic software for automated geodetic monitoring is important and extremely relevant. The article provides a brief overview of foreign software for automated geodetic monitoring, the results of which revealed a common feature of these systems, namely, their modularity, therefore, when developing a prototype of domestic software, a block hierarchy was chosen, each element of which is interconnected with each other. In addition, it has been shown that the staffs of the Siberian State University of Geosystems and Technologies have quite powerful developments in this area, and the only difficult stage is the integration of this knowledge into a single, full-fledged software.

Keywords: russian software, automated geodetic monitoring, Vizir 3D, RinMonitor, MGSeti, Leica GeoMoS, Trimble 4D-control, GOCA, DABAMOS

REFERENCES

1. Krausmann, E., Girgin, S., & Necci A. (2019) Natural hazard impacts on industry and critical infrastructure: Natech risk drivers and risk management performance indicators. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101163. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2019.101163/.
2. Suarez-Paba, M. C., & Cruz, A. M. (2022) A paradigm shift in Natech risk management: Development of a rating system framework for evaluating the performance of industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 74, 104615. DOI: 10.1016/j.jlp.2021.104615. EDN: KZGMXV.
3. Bernier, C., & Padgett, J. E. (2019) Fragility and risk assessment of aboveground storage tanks subjected to concurrent surge, wave, and wind loads. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106571. DOI: 10.1016/j.ress.2019.106571.
4. Hiller, B., Li, V. T., & Sukhov, I. V. (2014). Automated deformation monitoring system (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya HPP. *Inzhenernaya zashchita [Engineering Protection]*, 4(4), 36–43 [in Russian].
5. Sal'nikov, V. G., Skripnikov, V. A., Skripnikova, M. A., & Hlebnikova, T. A. (2018). Use of modern automated geodetic devices for monitoring hydrotechnical constructions of hydro power stations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 108–124 EDN YAATIT [in Russian].
6. Ustinov, A. V. (2018). The results of the monitoring of vertical displacements in the process of compensation grouting at the experimental site of Zagorskaya PSP-2. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(4), 128–141, EDN YRJGBF [in Russian].
7. Vrce E., Bojić M. (2022). Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System *Lecture Notes in Networks and Systems*, 316, 532–548. DOI: 10.1007/978-3-030-90055-7_42.
8. Kalber, S., Jager, R., & Schwable, R. (2000) A GPS-based online control and alarm system. *GPS Solutions*, 3 (3), 19-25. DOI 10.1007/PL00012799. EDN ESGFJP.

9. Jäger, R., Kälber, S., & Oswald, M. (2006) GNSS/GPS/LPS based online control and alarm system (GOCA) mathematical models and technical realization of a system for natural and geotechnical deformation monitoring and analysis. In *GEO-Sibir-2006 [GEO-Siberia-2006]*, 32–44. Novosibirsk: SGUGiT Publ. EDN PCOECH [in Russian].
10. Jäger, R., Oswald, M. & Spohn, P. (2010) VirtualGOCA – A Google Earth based tool for the interactive design of virtual sensor networks, for model and software validation, and for the planning and analysis of geomonitoring scenarios. In *GEO-Sibir-2010 [GEO-Siberia-2010]*, 47–53. Novosibirsk: SGUGiT Publ. [in Russian].
11. Jäger, R., Spohn, P., Shaykhutdinov, T., Gorokhova, T., & Yankush, A. (2012) GNSS/LPS/LS based online control and alarm system (GOCA) - mathematical models and technical realization of a scalable system for natural and geotechnical deformation monitoring and analysis. In *GEO-Sibir-2012 [GEO-Siberia-2012]*, 9–32. EDN PIJDXB [in Russian].
12. Engel, Ph., & Schweimler, B. (2016) Development of an Open-Source Automatic Deformation Monitoring System for Geodetical and Geotechnical Measurements. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XL-5/W8, 25 – 30. – DOI:10.5194/isprs-archives-XL-5-W8-25-2016.
13. Engel, Ph., & Schweimler, B. (2016) Design and Implementation of a Modern Automatic Deformation Monitoring System: Towards an Open Source Software Platform for Geodetical and Geotechnical Measurements. *Journal of Applied Geodesy*, 10(1), 79–85. DOI: 10.1515/jag-2015-0024.
14. Mogilny, S. G., Sholomitskii, A. A., & Martynov, O. V. (2017) Real-time geodetic measurements of rotary machines. *17th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM*, 523–530. DOI: 10.5593/sgem2017/22/S09.065.
15. Product website «Vizir 3D» Retrieved from <https://sholomitskij.wixsite.com/sholomitskij/vizir-3d>.
16. Sholomitskii, A. A., & Lagutina E. K. (2023) Automation of measurements, processing and analysis in the monitoring of structures. In *GEO-Sibir-2023 [GEO-Siberia-2023]*, 162–168. Novosibirsk: SGUGiT Publ. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-162-168 EDN TKYXPW [in Russian].
17. Shevchuk, S. O., Kosarev, N. S., & Cheremisina, E. S. (2023) «Program for shifting geodetic points using GNSS measurements (RinMonitor)» Certificate of state registration of computer programs No. 2023667872 of October 17, 2023 in the register of computer programs [in Russian].
18. Sholomitskii, A. A., Mogilny, S. G., & Kosarev, N. S. (2023) Engineering geodetic and surveying works: theory and practice. *Saint-Peterburg: Lan` Publ.*, 312 p. [in Russian].
19. Karpik, A. P., Khoroshilov, V. S., & Komissarov, A. V. (2021). Analysis of methods and tools for studying the dynamics of displacement of landslides. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(6), 17–32. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-6-17-32 EDN GEQNTG [in Russian].
20. Kobeleva, N. N., & Khoroshilov, V. S. (2020) Analysis of input influencing factors when constructing a forecast model for studying the process of movements of the Sayano-Shushenskaya HPS Dam fulfilled in the period of 2013-2016 *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, № 3 (25), 53–62. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-53-62 EDN BTBPJJ. [in Russian].
21. Karpik, A. P., Mareev, A. V., Mamaev, D. S. (2022). Free software for geodetic monitoring Moncenter. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 5(27), 43–54. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-5-43-54 EDN MJXFOV [in Russian].

Author details

Nikolai S. Kosarev – Ph. D., Associate Professor of the Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 21.10.2024

© N. S. Kosarev, 2025

УДК 528.235/236

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-15-30

Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011

А. В. Котельников¹, В. И. Обиденко²✉

¹Общество с ограниченной ответственностью «Иркутская нефтяная компания»,
г. Иркутск, Российская Федерация

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

e-mail: ovi62@yandex.ru

Аннотация. В статье излагается опыт разработки и практического применения в интересах крупного недропользователя трех местных систем координат «гибридного» вида, покрывающих площадь 328 827,8 км², в качестве целевых систем координат, в которых выступали действующие единые МСК субъектов Российской Федерации, основанные на СК-42, уточненные относительно ГСК-2011. Приводятся технологические особенности разработки «гибридных» местных систем координат, касающиеся точности преобразования плоских прямоугольных координат между зонами такой МСК, а также новая методология образования зон «гибридной» МСК и осуществления пересчета плоских прямоугольных координат между ними. Показано, что единое координатное пространство, созданное вновь установленными «гибридными» МСК-ИНК-14/24/38, решает главную проблему заказчика – обеспечение возможности точного определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, которые часто имеют существенную протяженность. В процессе исследований установлено, что после уточнения МСК субъектов РФ относительно ГСК-2011 их точность сохранилась на уровне точности материнской системы координат СК-42, существенно не приблизившись по этому показателю к ГСК-2011. По этой причине совпадение плоских прямоугольных координат во вновь созданных «гибридных» МСК с целевыми МСК произошло лишь с СКП порядка $\pm 1,2$ м, при этом отдельные их расхождения достигают величины 5,7 м.

Ключевые слова: «гибридная» местная система координат, государственная геодезическая система координат 2011 года, ГСК-2011, единое координатное пространство, преобразование пространственных данных, СК-42

Для цитирования:

Котельников А. В., Обиденко В. И. Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 15–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-15-30

Введение

Проблематике построения и развития глобальных, национальных, региональных и местных систем координат, а также выработки методологии адаптации к ним действующей инфраструктуры геодезического обеспечения процессов создания пространственных данных в интересах различных сфер деятельности посвящено множество работ как отечественных

[1–9], так и зарубежных исследователей [10–12]. Одним из вариантов такой адаптации действующих местных систем координат (МСК) к установленной в нашей стране государственной системе координат 2011 года (ГСК-2011) (Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы : Постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240. –

URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) является применение «гибридных» МСК.

В работах [13–16] приведены теоретическое обоснование и методология создания, а также изложены возможности и перспективы применения «гибридных» местных систем координат, устанавливаемых в виде пространственных систем координат. В них показано, что такие «гибридные» МСК_2011 (ЦСК), создаваемые от ГСК-2011, имеют два достоинства: а) за счет использования в качестве параметров перехода (ключей) от ГСК-2011 к «гибридной» МСК элементов пространственного ортогонального семипараметрического трансформирования, точность координат в МСК_2011(ЦСК) соответствует точности ГСК-2011; б) за счет специального вида таргетирования при определении параметров перехода (ключей) от ГСК-2011 к «гибридной» МСК последняя обеспечивает совпадение плоских прямоугольных координат в ней и в целевой системе координат (ЦСК) даже при использовании в них разных эллипсоидов: эллипсоида ГСК-2011 в МСК_2011 (ЦСК) и эллипсоида Красовского в ЦСК. При этом подчеркивается, что точность определения параметров перехода от ГСК-2011 к «гибридной» МСК и степень совпадения вычисленных с их использованием плоских прямоугольных координат в МСК_2011(ЦСК) и в ЦСК зависит от взаимной точности ГСК-2011 и ЦСК. Так, при выборе СК-95 или созданной от нее местной системы координат (МСК_95/МСК-NN_95, где NN – код субъекта РФ в общероссийском классификаторе) в качестве целевой системы координат точность совпадения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и ЦСК может достигать СКП $\pm 5-7$ см для субъекта Российской Федерации, простирающегося по долготе до 12° [15, 16].

В то же время вышеуказанные достоинства «гибридной» МСК имеют ценность не только при максимальном срабатывании обоих вышеуказанных а) и б) факторов, но и в случае, когда точность совпадения координат в «гибридной» МСК и ЦСК низкая, например, когда создается «гибридная» МСК_2011(42)/МСК_2011(МСК-NN_42)/-

МСК_2011(МСК_42), где в качестве ЦСК выступает система координат 1942 г. (СК-42) (О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР: Постановление Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года № 760. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) или созданные от нее МСК-NN_42/МСК_42 соответственно. В этом случае приоритетной ценностью «гибридной» МСК для потребителя выступает тот факт, что она имеет точность ГСК-2011, а фактор совпадения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и ЦСК становится для него дополнительным «бонусом», который хорош настолько, насколько на территории «гибридной» МСК взаимно точны и согласованы ГСК-2011 и СК-42.

Целью настоящей работы является изложение практического опыта разработки, установления и введения в действие в интересах крупного недропользователя трех «гибридных» МСК, образованных от ГСК-2011, целевыми в которых взяты единые МСК-NN_42 субъектов Российской Федерации.

Материалы и методы

В настоящее время в субъектах Российской Федерации действуют установленные Приказом Роснедвижимости от 18.06.2007 № П/0137 (Об утверждении Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации : Приказ Роснедвижимости от 18.06.2007 № П/0137. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) единые местные системы координат регионов МСК-NN, в которых в соответствии с (О государственной регистрации недвижимости : федеральный закон Российской Федерации от 03.07.2015 N 218-ФЗ. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) осуществляется ведение Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН), согласно (Об утверждении свода правил «Инженерные изыскания при планировке территорий. Общие требования» : Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 25.02.2019 № 127/пр. – URL: [16](http://www.con-</p>
</div>
<div data-bbox=)

sultant.ru. – Текст : электронный), производятся инженерно-геодезические работы в строительстве, создаются многие виды пространственных данных в интересах социально-экономического развития регионов. Общество с ограниченной ответственностью «Иркутская нефтяная компания» (ООО «ИНК»), являясь крупным недропользователем, с целью постановки на кадастровый учет инфраструктурных объектов, возводимых на лицензионных участках для обустройства месторождений, также выполняет работы в МСК-NN_42.

Постановка возводимых объектов инфраструктуры на кадастровый учет – важная, но не единственная цель использования МСК в ООО «ИНК». Для текущей деятельности компании критически важно, чтобы используемая местная система координат обеспечивала возможность точного определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, которые часто имеют существенную протяженность. Однако действующие в зоне расположения лицензионных участков недр компа-

нии МСК-NN_42, основанные на СК-42, в которых ведется ЕГРН, и за неимением альтернативы вынуждено осуществлять свою деятельность ООО «ИНК», из-за существенных и неоднородных деформаций материнской системы координат СК-42 такой возможности не обеспечивают: вычисленные по координатам в МСК-NN_42 геометрические параметры объектов инфраструктуры и их пространственное положение существенно не совпадает с теми результатами, что получаются из геодезических измерений современными средствами спутниковой геодезии и ГНСС в ГСК-2011.

В этой связи ФГБОУ ВО «СГУГиТ» по заказу ООО «ИНК» были разработаны 3 местных системы координат «гибридного» вида на территории расположения объектов инфраструктуры компании, находящихся в Красноярском крае, Иркутской области и Республике Саха (Якутия), в совокупности покрывающих площадь 328 827,8 км²; схема расположения МСК показана на рис 1.



Рис. 1. Схема расположения разработанных «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38

Данный «гибридный» вид местной системы координат был выбран заказчиком исходя из декларируемых разработчиком (СГУГиТ) ее возможностей – обеспечение идентичной точности в МСК и ГСК-2011, что является для ООО «ИНК» приоритетной целью. Кроме того, для максимального приближения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в МСК-NN_42, действующих в зоне установления МСК, в качестве целевых в «гибридной» МСК были взяты

версии МСК-NN_42, уточненные в 2016–2022 гг. ППК «Роскадастр» относительно ГСК-2011. Обозначим их далее «МСК-NN_42_уточн».

Исходя из общих правил обозначения «гибридной» местной системы координат – МСК_2011(ЦСК), где «ЦСК» – это целевая система координат, в качестве которых на объекте работ выступали действующие здесь МСК-14_уточн, МСК-24_уточн, МСК-38_уточн, разрабатываемые МСК должны

были получить формальные наименования МСК_2011 (МСК-14_уточн), МСК_2011 (МСК-24_уточн), МСК_2011 (МСК-38_уточн) соответственно. Однако такие названия, показывая морфологию строения «гибридных» МСК, неудобны в использовании, поэтому МСК были названы МСК-ИНК-14, МСК-ИНК-24, МСК-ИНК-38 соответственно. Это делает их отличными по наименованию от действующих единых региональных МСК-NN_42, при этом указывает на заказчика-инициатора разработки МСК.

В соответствии с общей методологией создания «гибридной» МСК [13–16] схема создания таковой на объекте работ показана на примере создания зоны 3 гибридной МСК-ИНК-24, которая является самой вытянутой по длине МСК, создаваемой на объекте (см. рис. 1). Следует отметить, что в зоне создания МСК-ИНК-24 для ведения ЕГРН непосредственно МСК-24 не используется, а для этого применяются 3° МСК: МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171. Поэтому для каждой из зон № 1–5 МСК-ИНК-24 в качестве ЦСК выбиралась соответствующая (территориально совпадающая с ней) действующая МСК, уточненная относительно ГСК-2011: МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн соответственно.

В соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, плоские прямоугольные координаты $x_{МСК169}$, $y_{МСК169}$ опорных пунктов ГГС,

расположенных в зоне создания «гибридной» МСК-ИНК-24, полученные из Федерального фонда пространственных данных (ФФПД) в МСК-167_уточн – МСК-171_уточн, были преобразованы в единую для всей зоны действия «гибридной» МСК – МСК-169_уточн. Для такого пересчета (максимальное удаление от осевого меридиана зоны составляет 12°) использовалось ПО «Кредо Траскор». В [15] показано, что погрешность преобразования координат из геодезических в плоские прямоугольные в этом ПО при удалении от осевого меридиана зоны до 9° не превышает 1 см, а в документации для ПО [17, стр. 47] декларируется, что эта точность выдерживается при таком удалении до 40° . С целью проверки этой декларируемой точности в работе выполнено сравнение результатов пересчета координат из геодезических в плоские прямоугольные координаты в этом ПО и по формулам для «широкой полосы» из [18, стр. 253] при удалении от осевого меридиана зоны до 20° . Как показано в [19], при существенном удалении от осевого меридиана зоны применение формул проекции Гаусса – Крюгера «для широкой полосы» из [18], выведенных в [20, с. 11] путем разложения в ряды Фурье с применением круговых и гиперболических тригонометрических функций, наиболее целесообразно. Результаты сравнения приведены в табл. 1, 2.

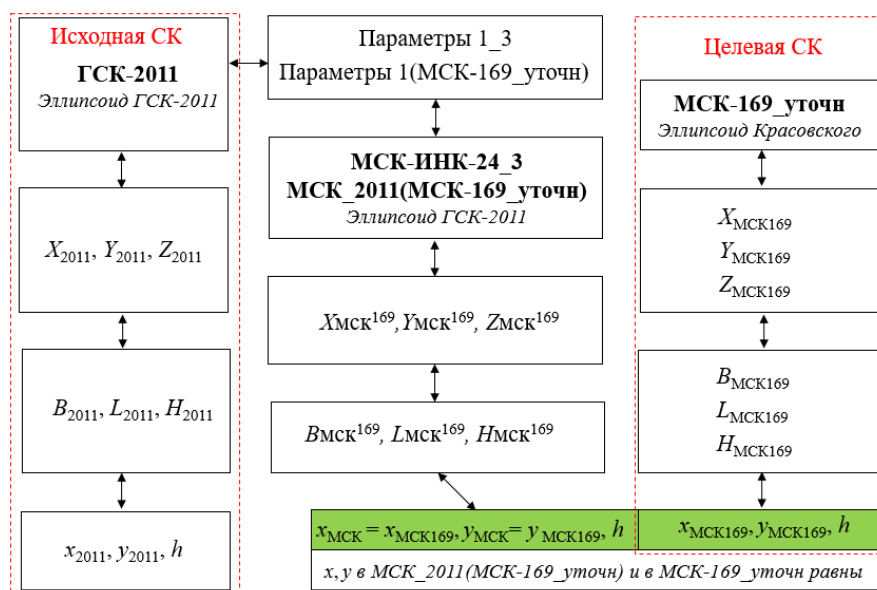


Рис. 2. Схема создания «гибридной» МСК-ИНК-24, зона 3 (МСК-ИНК-24_3)

Таблица 1

Сравнение результатов пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 СК-42/СК-95

Удаление, l°	«Кредо Транскор»		В. П. Морозов (формулы)		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
5	3 330 721,2514	482 747,8773	3 330 721,2516	482 747,8772	–0,2	0,1
10	3 362 653,5123	967 342,8837	3 362 653,5125	967 342,8837	–0,2	0,0
20	3 494 787,8219	1 949 353,0793	3 494 787,8221	1 949 353,0792	–0,2	0,1

Примечание: * – ордината дана без условного смещения на восток и без номера зоны.

Таблица 2

Сравнение результатов пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 ГСК-2011

Удаление, l°	«Кредо Транскор»		В. П. Морозов (формулы)		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
5	3 330 661,7515	482 739,7246	3 330 661,7517	482 739,7246	–0,2	0,0
10	3 362 593,4736	967 326,5493	3 362 593,4738	967 326,5493	–0,2	0,0
20	3 494 725,5601	1 949 320,1784	3 494 725,5604	1 949 320,1783	–0,3	0,1

Примечание: * – ордината дана без условного смещения на восток и без номера зоны.

Как видно из табл. 1, 2, ПО «Кредо Транскор» обеспечивает погрешность пересчета геодезических координат в плоские прямоугольные менее 1 см при удалении от осевого меридиана зоны до 20° , что гарантированно обеспечивает такую точность при создании всех «гибридных» МСК на объекте.

Далее плоские прямоугольные координаты $x_{МСК169}$, $y_{МСК169}$ опорных пунктов ГГС в МСК-169_уточн, находящихся на территории МСК-ИНК-24 (формально они переименовываються в координаты $x_{МСК}$, $y_{МСК}$ уже в «гибридной» МСК, поскольку по условиям создания такой МСК они равны), были преобразованы (по параметрам эллипсоида ГСК-2011, используемого в «гибридной» МСК и по параметрам проекции, применяемой в целевой системе координат МСК-169_уточн) в «гибридные» геодезические координаты $B_{МСК}^{169}$, $L_{МСК}^{169}$, $H_{МСК}^{169}$ и далее в «гибридные» же пространственные прямоугольные координаты $X_{МСК}^{169}$, $Y_{МСК}^{169}$, $Z_{МСК}^{169}$ в МСК-ИНК-24_3 (см. рис. 2).

Координаты опорных пунктов ГГС в ГСК-2011 были получены установленным образом из ФФПД в виде плоских прямоугольных координат x_{2011} , y_{2011} и нормальной высоты h , которые стандартным путем в ПО «Кредо Транс-

кор» были преобразованы в пространственные прямоугольные координаты X_{2011} , Y_{2011} , Z_{2011} (см. рис. 2). Следует отметить, что при преобразовании плоских прямоугольных координат в геодезические в ГСК-2011 и в МСК-ИНК-24 нормальная высота h опорных пунктов ГГС была принята в качестве геодезической H . Как показано в [14–16], такое игнорирование ондуляции квазигеоида (на объекте она составляет величину порядка 30 м) приводит к повышению погрешности определения высотной компоненты определяемых Параметров 1(МСК-169_уточн), однако не влияет на точность вычисления по ним плановых (плоских прямоугольных и геодезических) координат.

Вопрос оптимальности выбора опорных пунктов ГГС для определения параметров преобразования между ГСК-2011 и «гибридной» МСК является важным, и в общем случае это должно быть достаточное количество пунктов ГГС, равномерно покрывающих территорию создания МСК, координаты которых в ГСК-2011 определены с высокой точностью из спутниковых наблюдений. Однако в связи с тем, что на территории создания гибридных ГСК такие (спутниковые) пункты ГГС отсутствовали, в качестве опорных были выбраны все имеющиеся в границах создава-

емых МСК пункты ГГС. При этом также преследовалась цель получить на каждом пункте ГГС величину несовпадения координат в «гибридной» МСК и в ЦСК.

Оценка точности определения параметров преобразования между ГСК-2011 и «гибридной» МСК_2011(МСК-NN_42_уточн) заключалась в том, что с их использованием от координат опорных пунктов ГГС в ГСК-2011 вычислялись плоские прямоугольные координаты в «гибридной» МСК, которые сравнивались с их каталожными плоскими прямоугольными координатами в целевой системе координат МСК-NN_42_уточн, полученными из ФФПД.

Важным аспектом в разработке «гибридной» МСК является то, что преобразование плоских прямоугольных координат между ее зонами в связи со спецификой такой МСК имеет технологические особенности. Так, преобразование плоских прямоугольных координат из зоны 1 в зону 2 в плоских многозональных системах координат (СК) является рутинной операцией и осуществляется путем пересчета: x_1, y_1 в зоне 1 $\rightarrow$ геодезические координаты относительно осевого меридиана зоны 1 $\rightarrow$ геодезические координаты относительно осевого меридиана зоны 2 $\rightarrow x_2, y_2$ в зоне 2. Однако для создания «гибридной» МСК (покажем это на примере МСК-ИНК-24) применен новый вид пространственной, таргетированной МСК. МСК-ИНК-24 является промежуточной между ГСК-2011 (используется эллипсоид ГСК-2011) и МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171 (используется эллипсоид Красовского) и нацелена на обеспечение совпадения плоских прямоугольных координат в ней и в целевых системах координат МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171. При этом в самой МСК-ИНК-24 используется тот же эллипсоид, что и в ГСК-2011, т. е. эллипсоид ГСК-2011. Таким образом, если попробовать пересчитать плоские прямоугольные координаты, относящиеся, например, к зоне № 3 МСК-ИНК-24 (совпадают с плоскими прямоугольными координатами в МСК-169) в смежную зону № 4 (в которой плоские прямоугольные координаты должны совпадать с плоскими прямоугольными координатами в МСК-170), используя при этом для задания зоны № 4 МСК-ИНК-24 параметры МСК-170, то полученный результат даст плоские прямоугольные координаты, не совпадающие с аналогичными координатами в МСК-170 на суще-

ственные величины (от 1 до 10 м по осям абсцисс и ординат соответственно). Так получается потому, что для пересчета в смежную зону в МСК-ИНК-24 будут использоваться параметры эллипсоида ГСК-2011, в то время как для зоны МСК-170, смежной по отношению к МСК-169, применяется эллипсоид Красовского. Указанная разница в 1–10 м в плоских прямоугольных координатах является следствием использования в формулах для пересчета координат из одной зоны в другую разных геометрических параметров эллипсоидов ГСК-2011 и Красовского.

Для получения плоских прямоугольных координат в зоне № 4 МСК-ИНК-24, совпадающих с плоскими прямоугольными координатами в ЦСК – МСК-170, на объекте применен инновационный подход. Технология создания «гибридной» МСК предполагает для определения параметров перехода от ГСК-2011 к «гибридной» МСК преобразование плоских прямоугольных координат в единую зону целевой системы координат (ЦСК) для дальнейшего их проецирования на эллипсоид ГСК-2011 по законам проекции Гаусса – Крюгера по параметрам этой единой зоны с целью получения геодезических, а затем и пространственных прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 (см. рис. 2). Таким образом, выбор зоны целевой МСК, которая станет единой зоной для МСК-ИНК-24, и определит ту зону, в которой будет создана МСК-ИНК-24. При выборе для МСК-ИНК-24 МСК-169_уточн в качестве ЦСК будут определены Параметры 1(МСК-169_уточн) перехода между ГСК-2011 и МСК-ИНК-24, зона 3 (обозначим ее МСК-ИНК-24 3) (см. рис. 2). При выборе для МСК-ИНК-24 в качестве целевой другой МСК (МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн) будут определены параметры перехода между ГСК-2011 и другими зонами МСК-ИНК-24 (зоны 1, 2, 4, 5 с обозначением МСК-ИНК-24 1, МСК-ИНК-24 2, МСК-ИНК-24 4, МСК-ИНК-24 5 соответственно).

Таким образом, в отличие от плоских МСК, «гибридная» МСК-ИНК-24 имеет для каждой своей зоны отдельный датум, в котором используется один и тот же эллипсоид ГСК-2011, однако его положение в пространстве будет разным. То есть чтобы компенсировать различие в размерах эллипсоидов ГСК-2011 и Красовского, применяемых в МСК-ИНК-24 и в целевых МСК (МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171), при переходе от одной зоны «гибридной»

МСК к другой ее зоне следует так изменить пространственное положение эллипсоида ГСК-2011 в МСК-ИНК-24 относительно эллипсоида ГСК-2011 в ГСК-2011 (и определить 7 параметров этого положения эллипсоида в «гибридной» МСК относительно эллипсоида в ГСК-2011), чтобы вычисленные по этим параметрам плоские прямоугольные координаты в данной зоне МСК-ИНК-24 и в соответствующей зоне целевой МСК совпали.

В связи с вышеизложенным отличием понятия зон в традиционной (плоской) МСК от трактовки зон в «гибридной» МСК, для каждой зоны «гибридной» МСК должны быть вычислены свои параметры перехода к ГСК-2011, что и сделано на объекте работ: определены Параметры 1_1, Параметры 1_2, Параметры 1_3, Параметры 1_4, Параметры 1_5 преобразования между ГСК-2011 и зонами № 1-5 МСК-ИНК-24 соответственно, которые обозначаются МСК-ИНК-24_1, МСК-ИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5. Плоские прямоугольные координаты в этих зонах МСК-ИНК-24 совпадают соответственно с плоскими прямоугольными координатами в МСК-167, МСК-168, МСК-169, МСК-170, МСК-171, уточненными относительно ГСК-2011 (МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн) (рис. 3). Следует при этом отметить, что Параметры 1 для каждой из зон МСК-ИНК-24 будут отличаться, однако точность их получения будет идентичной, поскольку для определения этих параметров

использован единый набор из 1 829 опорных пунктов ГГС, расположенных на территории МСК-ИНК-24, координаты которых для этого в виде плоских прямоугольных координат были преобразованы в каждую из соответствующих зон целевых МСК.

Таким образом, с учетом наличия у каждой из зон МСК-ИНК-24 своих параметров связи с ГСК-2011, преобразование между ГСК-2011 и зонами МСК-ИНК-24 осуществляется по схеме, показанной на рис. 3. Пользоваться такой технологией преобразования между ГСК-2011 и зонами МСК-ИНК-24 очень просто. Для этого каждая из зон МСК-ИНК-24 описывается в соответствующем ПО ГИС как отдельная МСК: ей задается свой датум (желательно во избежание путаницы его наименование давать идентичным самой зоне МСК-ИНК-24) и описываются свои параметры картографической проекции. Преобразование из ГСК-2011 в соответствующую зону МСК-ИНК-24 осуществляется в ПО ГИС выбором нужной целевой системы координат: МСК-ИНК-24_1, МСК-ИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5. То есть называемые зонами МСК-ИНК-24 (МСКИНК-24_1, МСКИНК-24_2, МСК-ИНК-24_3, МСК-ИНК-24_4, МСК-ИНК-24_5) фактически являются самостоятельными СК с полным набором атрибутов СК: эллипсоидом, его датумом и параметрами картографической проекции с эллипсоида на плоскость.

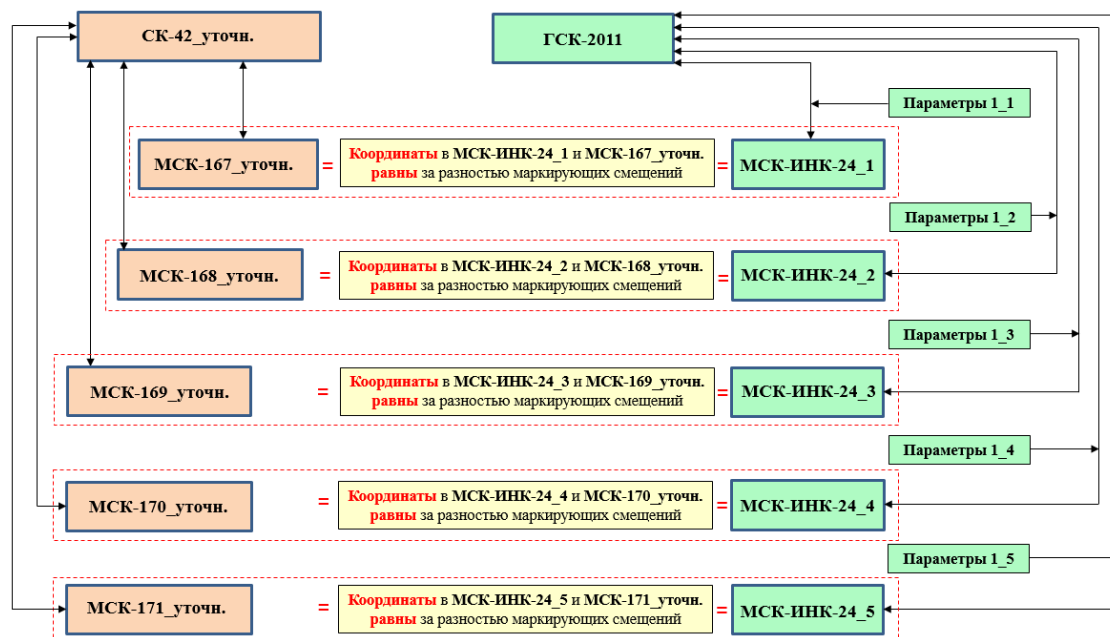


Рис. 3. Схема координатных преобразований между ГСК-2011 и зонами № 1–5 «гибридной» МСК-ИНК-24 с использованием инновационного подхода

Использование разработанных «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38 в текущей деятельности заказчика является очень удобным, так как они позволяют сохранить все ранее созданные в МСК-NN 42 уточн пространственные данные (ПД) без необходимости их пересчета: будучи представленными в виде плоских прямоугольных координат в обеих СК, эти ПД легко интегрируемы между собой. Вместе с тем, понимая, что ПД, создаваемые в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, имеют точность ГСК-2011, т. е. существенно выше, чем ПД, созданные ранее в МСК-NN_42 уточн, заказчик счел необходимым ввести в параметры проекции вновь разработанных МСК маркирующие смещения, делающие плоские прямоугольные координаты в МСК-ИНК-14/24/38 визуально отличимыми от используемых на объекте МСК-NN 42 уточн. Такие маркирующие смещения легко убираются в любом ПО ГИС при необходимости интеграции ПД, представленных в виде плоских прямоугольных координат в МСК-ИНК-14/24/38 и в МСК-14 уточн, МСК167 уточн, МСК168 уточн, МСК169 уточн, МСК170 уточн, МСК171 уточн, МСК 38 уточн. Однако эти ПД по виду плоских прямоугольных координат можно различить по их происхождению и по точности.

Результаты и обсуждение

По вышеуказанной методологии на объекте работ определены Параметры 1 преобразования между ГСК-2011 и каждой из 11 зон

вновь установленных трех «гибридных» МСК с использованием следующего количества опорных пунктов ГГС: 809 в МСК-ИНК-14, 1 829 в МСК-ИНК-24, 1 724 в МСК-ИНК-138 (рис. 4–6). Величины расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, вычисленных путем преобразования из ГСК-2011 с использованием этих Параметров 1, с их каталожными значениями в МСК-14_уточн/МСК-24_уточн/МСК-38_уточн соответственно, полученными из ФФПД, приведены в табл. 3–8 и рис. 4–6.

Таблица 3

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,0–0,5	194	10,6
0,5–1,0	579	31,7
1,0–1,5	587	32,1
1,5–2,0	386	21,1
2,0–2,5	60	3,3
2,5–3,0	13	0,7
3,0–3,407	10	0,5

Таблица 4

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	1,63	2,88	3,41
Минимальное	–2,69	–2,34	0,01
Среднее	0,00	0,02	1,14
СКП совпадения	0,84	0,94	1,26

Как видно из табл. 3, 4 и рис. 4, только 10,6 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 м и 1,0–1,5 м попадают 31,7 и 32,1 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 3,0–3,407 м (таковых 10 или 0,5 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн составила $\pm 1,26$ м (см. табл. 4).

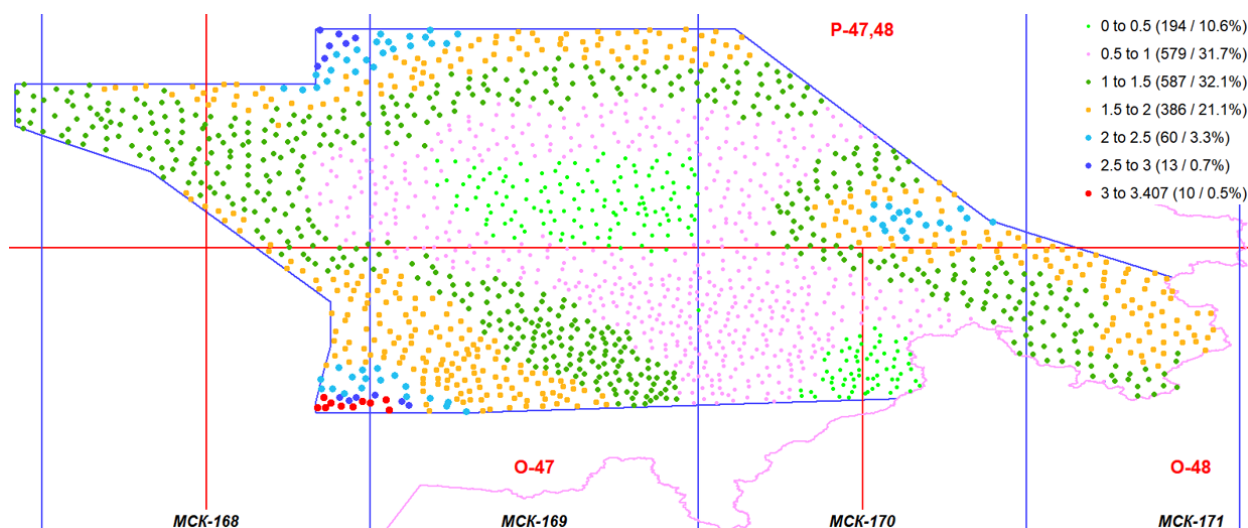


Рис. 4. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-24 и в МСК-24_уточн

Таблица 5

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,061–0,5	224	27,7
0,5–1,0	269	33,3
1,0–1,5	188	23,2
1,5–2,0	87	10,8
2,0–2,5	17	2,1
2,5–3,0	9	1,1
3,0–3,5	9	1,1
3,5–5,701	6	0,7

Таблица 6

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	2,58	5,69	5,70
Минимальное	–2,75	–2,39	0,06
Среднее	0,01	0,00	0,95
СКП совпадения	0,74	0,92	1,18

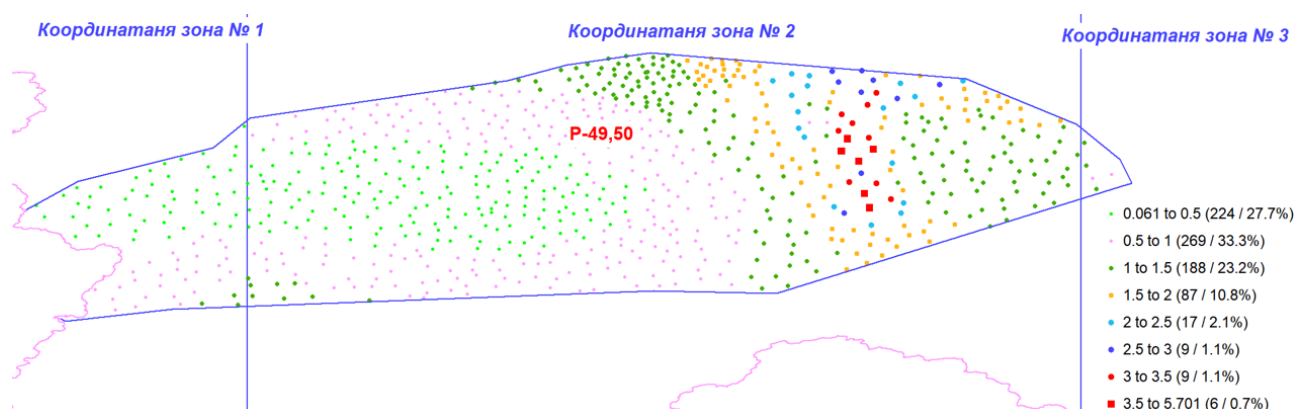


Рис. 5. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн

Как видно из табл. 5, 6 и рис. 5, только 27,7 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 и 1,0–1,5 м попадают 33,3 и 23,2 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 3,5–5,701 м (таковых 6 или 0,7 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-14 и в МСК-14_уточн составила $\pm 1,18$ м (см. табл. 6).

Таблица 7

Статистические данные по расхождениям плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Диапазон расхождений координат (в плане), м	Количество, шт.	Количество, %
0,028–0,5	438	25,4
0,5–1,0	629	36,5
1,0–1,5	405	23,5
1,5–2,0	140	8,1
2,0–2,5	84	4,9
2,5–2,923	28	1,6

Таблица 8

Оценка точности совпадения плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Расхождение	По x (см)	По y (см)	В плане (см)
Максимальное	1,21	2,69	2,92
Минимальное	–1,68	–2,11	0,03
Среднее	0,01	0,00	0,94
СКП совпадения	0,52	0,95	1,09

Как видно из табл. 7, 8 и рис. 6, только 25,4 % расхождений координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн находятся в пределах до 0,5 м, при этом в диапазон разностей 0,5–1,0 и 1,0–1,5 м попадают 36,5 и 23,5 % соответственно, а максимальные расхождения достигают 2,5–2,923 м (таких 28, или 1,6 %). СКП совпадения координат опорных пунктов ГГС в МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн составила $\pm 1,09$ м (см. табл. 8).

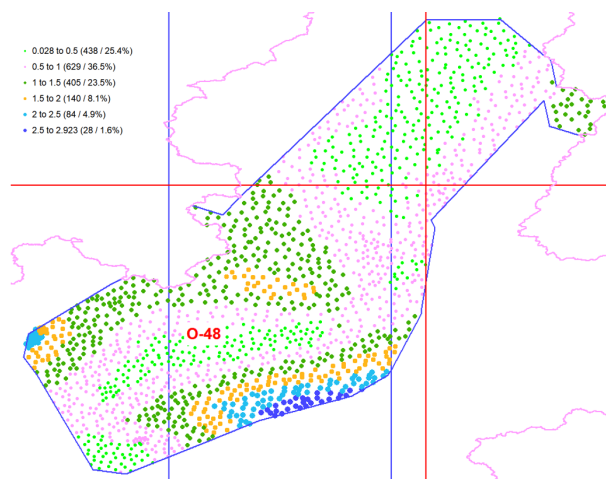


Рис. 6. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн

Очевидно, что причиной вышеуказанных различий плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридных» МСК-ИНК-14/24/38, имеющих точность ГСК-2011, с координатами в действующих МСК ведения ЕГРН, уточненных относительно ГСК-2011 (МСК-14_уточн, МСК-167_уточн, МСК-168_уточн, МСК-169_уточн, МСК-170_уточн, МСК-171_уточн, МСК-38_уточн) являются деформации последних, которые и после уточнения остались на уровне, близком к точности материнской системы координат СК-42. Можно себе представить те сложности, которые испытывает потребитель, который проектирует и строит единый протяженный объект (допустим, трубопровод длиной 1 000 км) в таком низкоточном и неоднородном координатном пространстве, базирующемся на действующих МСК ведения ЕГРН. При определении размеров такого протяженного линейного сооружения и выноске его в натуру из проектного положения в действующих МСК-NN_42_уточн, ошибки пространственного положения и геометрических параметров подобного объекта инфраструктуры могут достигать 3–5 м на всем его протяжении и величин 0,5–1 м при расстоянии 50 км.

Как показали проведенные исследования, действующие МСК-NN_42, применяе-

мые для ведения ЕГРН на объекте работ, даже после их уточнения относительно ГСК-2011 не удовлетворяют требованиям по точности пространственного размещения и определения геометрических параметров протяженных линейных сооружений. В этой связи применение разработанных СГУГиТ «гибридных» МСК-ИК-14/24/38, обеспечивающих создание на территории расположения инфраструктурных объектов ООО «ИНК» единого координатного пространства, соответствующего точности ГСК-2011, является решением вышеуказанных проблем.

Если на карте расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн (см. рис. 6) выделить пункты ГГС 1-го класса (рис. 7), то на примере МСК-ИНК-38 можно видеть, что зоны большого отличия координат приурочены к стыкам блоков триангуляции 1-го класса. Только на севере МСК-ИНК-38 стык блоков триангуляции 1-го класса не сопровождается существенными деформациями, в то время как оставшиеся 3 стыка порождают локальные деформации координат, достигающие 1,5–3 м. Это дополнительно свидетельствует о том, что причиной низкой сходимости плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС во вновь установленных «гибридных» МСК с аналогичными координатами в действующих МСК-NN_42_уточн являются именно погрешности и деформации последних. Таким образом, аннотация ППК «Роскадастр» введения новой версии МСК субъектов Российской Федерации, уточненных относительно ГСК-2011 (МСК-NN_уточн), приведенная на сайте [21] («В ходе уравнивания минимизированы локальные деформации МСК субъектов, вызванные как случайными ошибками, так и технологией блочного уравнивания СК-42»), на объекте работ, к сожалению, не подтверждается фактическими данными: МСК-NN_42 регионов, уточненные относительно ГСК-2011, и после такого уточнения существенно не приблизились по своей точности к точности ГСК-2011.

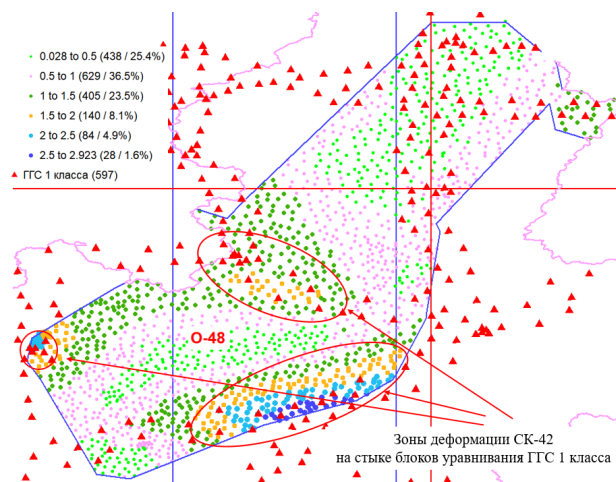


Рис. 7. Карта расхождений плоских прямоугольных координат опорных пунктов ГГС в «гибридной» МСК-ИНК-38 и в МСК-38_уточн, с выделением пунктов ГГС 1-го класса

С другой стороны, вышеприведенный материал иллюстрирует, насколько вновь установленные «гибридные» МСК-ИНК-14/24/38 точнее действующих МСК-NN_42_уточн, и каких погрешностей действующих МСК-NN_42_уточн удастся избежать с их применением при решении задач определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры ООО «ИНК», расположенных в Иркутской области, Красноярском крае и Республике Саха (Якутия).

Для удобства заказчика при постановке объектов инфраструктуры на кадастровый учет подрядчиком были переданы ведомости погрешностей преобразования координат из МСК-ИНК-14/24/38 в действующие МСК-NN_42_уточн, содержащие фактические значения расхождений координат во вновь установленных «гибридных» МСК с координатами в действующих МСК-NN_42_уточн на каждом из опорных пунктов ГГС, участвовавшем в определении Параметров 1. Такие данные наряду с приведенными картами (см. рис. 4–6) представляют собой детальную информацию о деформации координат действующих МСК-NN_42_уточн по отношению к МСК-ИНК-14/24/38 на каждом из пунктов ГГС и будут использованы заказчиком при анализе и согласовании координат в действующих МСК-

NN_42_уточн и вновь установленных МСК на этапе учета объектов инфраструктуры в ЕГРН.

Заключение

Построение единого высокоточного координатного пространства в зоне деятельности ООО «ИНК» являлось для него актуальной проблемой в свете того, что действующие на данной территории местные системы координат субъектов Российской Федерации (МСК-NN_42_уточн) не решали эту задачу. Деформации координат пунктов ГГС в МСК-NN_42_уточн на территории лицензионных участков компании достигают нескольких метров, что не соответствует требованиям по точности определения пространственного положения и геометрических параметров объектов инфраструктуры, имеющих существенную протяженность.

В этой связи «гибридные» МСК-ИНК-14/24/38, разработанные СГУГиТ и в соответствии с (Об утверждении порядка установления местных систем координат : Приказ Росреестра 20.10.2020 № п/0387. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный), введенные в действие в 2024 г., решают эту задачу полноценно, поскольку точность создаваемого этими МСК единого координатного пространства соответствует точности ГСК-2011 и все вновь создаваемые в них пространственные данные будут соответствовать точности этой ГСК. Кроме того, приближение плоских прямоугольных координат в «гибридных» МСК к действующим МСК-NN_42_уточн, которое на 27,7, 10,6, 25,4 % территории установленных МСК-ИНК-14/24/38 соответственно не превышает установленной в (Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного

участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23.10.2020 № П/0393. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный) СКП (0,5 м) определения координат характерных точек границ недвижимого имущества на землях промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, землях для обеспечения космической деятельности, землях обороны, безопасности и землях иного специального назначения, на которых находятся объекты инфраструктуры ООО «ИНК», позволяет здесь пользоваться этими СК как идентичными.

На остальной площади «гибридных» МСК для постановки объектов недвижимости на кадастровый учет ООО «ИНК» вынуждено будет искажать их пространственное описание, сделанное в МСК-ИНК-14/24/38 с точностью ГСК-2011, до степени деформированности действующих МСК-NN_42_уточн до тех пор, пока действующие МСК-NN_42_уточн не будут полноценно адаптированы к ГСК-2011, с повышением их точности до точности ГСК-2011. Для этих целей предполагается использование методов нелинейного преобразования координат с использованием цифровых моделей в соответствии с Руководством (Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). ГКИНП (ГНТА)-06-278-04, утверждено приказом Роскартографии от 01.03.2004 № 29-пр. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горобец В. П., Ефимов Г. Н., Столяров И. А. Опыт Российской Федерации по установлению государственной системы координат 2011 года // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 24–37. – EDN UJYBOV.
2. Карпик А. П., Дорогова И. Е. Анализ мирового опыта ввода полудинамических систем координат и территориальных реализаций систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–26. – DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30. – EDN ULUZWW.

3. Кафтан В. И., Побединский Г. Г., Савиных В. П., Столяров И. А. Государственные системы координат: анализ состояния и перспективы // Науки о земле. – 2022. – № 1. – С. 51–62. – EDN ALCMQQ.
4. Мареев А. В. Результаты исследования матриц деформации координатной основы СК-42 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 7. – С. 14–23. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23. – EDN UZUZFB.
5. Нейман Ю. М., Сугатинова Л. С. Строгие методы преобразования систем координат // Геодезия и картография. – 2022. – № 9. – С. 21–29. – DOI 10.22389/0016-7126-2022-987-9-21-29. – EDN OGISOE.
6. Нехин С. С. Основные проблемные вопросы перевода картографического обеспечения в систему координат ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 38–47. – EDN UJYBPF.
7. Обиденко В. И. Единое высокоточное гомогенное координатное пространство территорий и местные системы координат: пути гармонизации // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 46–62. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-46-62. – EDN ERGUDE.
8. Попадьев В. В., Ефимов Г. Н., Зубинский В. И. Геодезическая система координат 2011 года // В науч.-техн. сб. Астрономия, геодезия и геофизика. – М. : Центр геодезии, картографии и ИПД, 2018. – С. 139–228. – EDN LYOZUI.
9. Шендрик Н. К. Методика преобразования трехмерных положений пунктов между геоцентрическими и референсными системами координат для региональных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–26.
10. Kotsakis C., Chatzinikos M. (2023) Terrestrial reference frames and their internal accuracy at coordinate system level. *Journal of Geodesy*, 97, 107. DOI: 10.1007/s00190-023-01801-6. – EDN BRSGHD.
11. Michael Dennis, U.S.A., The Future is Here: Introducing the State Plane Coordinate System of 2022, FIG Working Week 2023 Protecting Our World, Conquering New Frontiers Orlando, Florida, USA, 28 May–1 June 2023. – URL: https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2023/papers/cinema03/CINEMA03_dennis_12044.pdf.
12. Zeng H., Chang G., He H., Li K. WTLS iterative algorithm of 3D similarity coordinate transformation based on Gibbs vectors // *Earth, Planets and Space*. – 2020. – Vol. 72, No. 1. – P. 1–12. – DOI 10.1186/s40623-020-01179-1. – EDN NKRUWL.
13. Обиденко В. И. О сохранении фондов пространственных данных, созданных в СК-95, при переходе к ГСК-2011 // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 30–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43. – EDN NGXIUU.
14. Обиденко В. И. Новые возможности местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 3. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-993-3-2-13. – EDN SHOXUM.
15. Обиденко В. И. Перспективы применения гибридных местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 8. – С. 2–12. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-2-12. – EDN PAEYIF.
16. Обиденко В. И. Уточнение на базе ГСК-2011 местных систем координат субъектов Российской Федерации с применением методики создания гибридной местной системы координат // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 6. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-2-13. – EDN DAVKVS.
17. International Association of Oil & Gas Producers, OGP Publication 373-7-2. – *Geomatics Guidance Note number 7, part 2*. – July 2012 Coordinate Conversions and Transformations including Formulas <https://epsg.org/home.html>.
18. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии – М. : Недра, 1979. – 296 с.
19. Медведев П. А., Новодворская М. В. Анализ математических моделей вычисления прямоугольных координат в расширенных зонах проекции Гаусса – Крюгера // Геодезия

и картография. – 2017. – Т. 78, № 3. – С. 14–19. – DOI 10.22389/0016-7126-2017-921-3-14-19. – EDN YLMDRH.

20. Kruger L. Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene. Veroff des Preus. Geod. Inst., N. F., 52, Potsdam, 1912. – 172 s.

21. Сайт ППК «Роскадастр». – URL: <https://cgkipd.ru/press-office/news/stali-dostupny-dlya-predostavleniya-utochnennye-koordinaty-punktov-ggs-v-msk/>.

Об авторах

Арте́м Влади́мирович Котельников – директор департамента маркшейдерских работ Управления маркшейдерско-геодезических работ.

Влади́мир Ива́нович Обиде́нко – кандидат технических наук, проректор по СПО, директор техникума.

Получено 15.04.2025

© А. В. Котельников, В. И. Обиденко, 2025

Experience of practical application of «hybrid» local coordinate systems created on the basis of SCS-2011

A. V. Kotelnikov¹, V. I. Obidenko^{2✉}

¹Limited Liability Company Irkutsk Oil Company, Irkutsk, Russian Federation

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

e-mail: ovi62@yandex.ru

Abstract. The article presents the experience of development and practical application in the interests of a large subsoil user of 3 local coordinate systems of the “hybrid” type, covering an area of 328,827.8 sq. km, in which the target coordinate systems were the current unified LCSs of the subjects of the Russian Federation, based on SK-42, clarified in relation to GSK-2011. The paper presents the technological features of the development of “hybrid” local coordinate systems, concerning the accuracy of the transformation of flat rectangular coordinates between zones of such a local coordinate system, as well as a new methodology for the formation of zones of a “hybrid” local coordinate system and the recalculation of flat rectangular coordinates between them. It is shown that the unified coordinate space created by the newly installed “hybrid” LCS-INK-14/24/38 solves the customer’s main problem – ensuring the ability to accurately determine the spatial position and geometric parameters of infrastructure objects, which often have a significant length. During the research it was established that after the clarification of the LCS of the subjects of the Russian Federation in relation to the GSK-2011, their accuracy remained at the level of the parent coordinate system SK-42, without significantly approaching this indicator in relation to the GSK-2011. For this reason, the coincidence of flat rectangular coordinates in the newly created “hybrid” LCS with the target LCSs occurred only with a RMSE of about ± 1.2 m, while their individual discrepancies reached 5,7 m.

Keywords: «hybrid» local coordinate system, state geodetic coordinate system of 2011, GSK-2011, unified coordinate space, transformation of spatial data, SK-42

REFERENCES

1. Gorobets V. P., Efimov G. N., Stolyarov I. A. (2015). Experience of the Russian Federation in establishing the state coordinate system of 2011 *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 24–37 EDN UJYBOV [in Russian].

2. Karpik, A. P., Dorogova, I. E. (2024). Analysis of world experience in introducing semi-dynamic coordinate systems and territorial implementations of coordinate systems *Vestnik SGUGiT*

[*Vestnik SSUGT*], 4(29), 16–26 DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30. EDN ULUZWW [in Russian].

3. Kaftan, V. I., Pobedinskiy, G. G., Savinikh, V. P., Stolyarov, I. A. (2022). State coordinate systems: analysis of the state and prospects *Nauki o zemle [Earth Sciences]*. 1, pp. 51–62 EDN ALCMQQ [in Russian].

4. Mareev, A. V., (2023). Results of the study of deformation matrices of the coordinate base SK-42 *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 7, 14–23. DOI 10.22389/0016-7126-2023-997-7-14-23. EDN UZUZFB [in Russian].

5. Neiman, Yu. M., Sugaipova, L. S. (2022) On the coordinate systems transformation. *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 83 (9), pp. 21–29 DOI 10.22389/0016-7126-2022-987-9-21-29. EDN OGISOE [in Russian].

6. Nekhin, S. S. (2015). The main problematic issues of transferring cartographic support to the GSK-2011 coordinate system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(30), 38–47 EDN UJYBPF [in Russian].

7. Obidenko, V. I. (2020). Unified high-precision homogeneous coordinate space of territories and local coordinate systems: ways of harmonization *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(25), 46–61 DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-46-62. EDN ERGUDE [in Russian].

8. Popad'ev, V. V., Efimov, G. N., & Zubinskii, V. I. (2018). The geodetic coordinate system of 2011. *V nauch.-tekhn. sb. Astronomiya, geodeziya i geofizika. – M.: Izd-vo FGBU «Tsentr geodezii, kartografii i IPD» [In scientific and technical collection Astronomy, geodesy and geophysics. Moskva: Izdatel'stvo FGBU «Tsentr geodezii, kartografii i IPD»]*, 139–228 EDN LYOZUI [in Russian].

9. Shendrik, N.K., (2024). Methodology for converting three-dimensional positions of points between geocentric and reference coordinate systems for regional territories *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(29), 16–26 [in Russian].

10. Kotsakis C., Chatzinikos M. (2023) Terrestrial reference frames and their internal accuracy at coordinate system level. *Journal of Geodesy*, 97, 107. DOI: 10.1007/s00190-023-01801-6. EDN BRSGHD.

11. Michael Dennis, U. S. A., The Future is Here: Introducing the State Plane Coordinate System of 2022, FIG Working Week 2023 Protecting Our World, Conquering New Frontiers Orlando, Florida, USA, 28 May–1 June 2023. Retrieved from https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2023/papers/cinema03/CINEMA03_dennis_12044.pdf.

12. Zeng H., Chang G., He H., Li K. (2020) WTLS iterative algorithm of 3D similarity coordinate transformation based on Gibbs vectors. *Earth, Planets and Space*, 72, 53. DOI: 10.1186/s40623-020-01179-1 EDN NKRUWL.

13. Obidenko, V. I., (2022). On the preservation of spatial data funds created in SK-95 during the transition to GSK-2011 *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(27), 30–43 DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43. EDN NGXIUU [in Russian].

14. Obidenko V. I., (2023). New capabilities of local coordinate systems created on the basis of GSK-2011 // *Geodezia i Kartografiya*, 84 (3), pp. 2–13 DOI 10.22389/0016-7126-2023-993-3-2-13. – EDN SHOXYM [in Russian].

15. Obidenko, V. I., (2023). Prospects for the application of hybrid local coordinate systems created on the basis of GSK-2011 *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 84 (8), pp. 2–12 DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-2-12. EDN PAEYIF [In Russian].

16. Obidenko, V. I., (2022). Refinement of local coordinate systems of subjects of the Russian Federation based on GSK-2011 using the methodology for creating a hybrid local coordinate system *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 85 (6), pp. 2–13 DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-2-13. EDN DAVKVS [in Russian].

17. International Association of Oil & Gas Producers, OGP Publication 373-7-2. – Geomatics Guidance Note number 7, part 2. – July 2012 Coordinate Conversions and Transformations including Formulas Retrieved from <https://epsg.org/home.html>.

18. Morozov, V. P. Course in spheroidal geodesy / V. P. Morozov. – M. : Nedra, 1979. – 296 p. [in Russian].
19. Medvedev P. A., Novodvorskaya M. V. (2017). Analysis of mathematical models for calculating rectangular coordinates in extended zones of the Gauss-Kruger projection *Geodezija i kartografija [Geodesy and cartography]*, 3, pp. 14–19 DOI 10.22389/0016-7126-2017-921-3-14-19. EDN YLMDRH [in Russian].
20. Kruger L. Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene. Veroff des Preus. Geod. Inst., N. F., 52, Potsdam, 1912. – 172 s.
21. Website of PPK «Roskadastr» Retrieved from <https://cgkipd.ru/press-office/news/stali-dostupny-dlya-predostavleniya-utochnennye-koordinaty-punktov-ggs-v-msk/>.

Author details

Artem V. Kotelnikov – Director of the Surveying Department of the Surveying and Geodetic Works Directorate.

Vladimir I. Obidenko – Ph. D., Vice-rector for Secondary Professional Education, Director of Novosibirsk Technical School of Geodesy and Cartography.

Received 15.04.2025

© *A. V. Kotelnikov, V. I. Obidenko, 2025*

УДК 622

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40

Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах

А. А. Токин^{1✉}, А. А. Шоломицкий²

¹Центр маркшейдерско-геодезических инноваций, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

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

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

Аннотация. В условиях современного экономического развития России отмечается значительный рост объема товарооборота и развитие логистических процессов. Среди всех компонентов логистической цепи склад играет ключевую роль в организации поставок и распределении товаров. Точность и своевременность учета материальных ценностей являются фундаментом для бесперебойного функционирования логистической цепи, обеспечивая непрерывное производство и удовлетворение потребностей клиентов. Поэтому внимание к процессу учета и контроля складских запасов будет увеличиваться, так как умение эффективно управлять объемами материалов на складе не только повышает уровень комфорта, но и является ключом к успешному развитию. Статья посвящена вопросам автоматизации процесса подсчета объемов сыпучих материалов на складах. Использование специализированных технологий и программного обеспечения помогает значительно упростить и ускорить процесс инвентаризации и учета запасов на складе. В статье рассматривается новый подход к выполнению фотограмметрической съемки складов на основе движущихся погрузочных механизмов. Авторам удалось полностью автоматизировать процесс фотограмметрической съемки и ее обработки, что в свою очередь уменьшило нагрузку на маркшейдерско-геодезическую службу, позволило значительно сократить время как полевых работ, так и камеральной обработки. Автоматизация подсчета объемов сыпучих материалов на складах является важным шагом к оптимизации логистических процессов и повышению эффективности складского хозяйства.

Ключевые слова: логистика, IP-камера, фотограмметрия, лазерное сканирование, подсчет объемов, складское хранение, автоматизация

Для цитирования:

Токин А. А., Шоломицкий А. А. Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 31–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40

Введение

Склад – это место, предназначенное для приемки, хранения и передачи различных материальных ценностей потребителю без прерывания. Важным аспектом эффективного управления складом является учет поступления и расхода материалов. Особенно

это важно для сыпучих материалов, где точное определение объемов необходимо для эффективного управления запасами [1].

Традиционные методы съемки не всегда могут обеспечить необходимую точность и скорость учета запасов. Современные подходы, такие как фотограмметрия и использование лазерных сканирующих систем,

становятся ключевым инструментом для выполнения съемки поверхности сыпучих материалов с высокой точностью [2]. Фотограмметрические методы с различными типами камер обеспечивают точность, сравнимую с лазерными сканирующими системами [3, 4].

Результатом съемки при использовании лазерных сканирующих систем или фотограмметрических методов является облако точек [5, 6]. Расчет объемов по облаку точек выполняется с применением геометрических методов, вертикальных и горизонтальных сечений, но чаще всего композитным методом по призмам [7, 8]. Современные методы съемки требуют времени и высокой квалификации исполнителей для выполнения измерений и обработки данных, автоматизированные системы могут обеспечить оперативность и точность съемочных работ, исключая человеческий фактор [9].

Методы и материалы исследований

Традиционно для подсчета объемов на складах выполняют съемку нулевой поверхности и съемку поверхности сыпучих материалов. Для съемки применяют различные технологии и оборудование: тахеометры, GNSS, БПЛА, лазерные сканирующие системы [10–12].

В зависимости от условий хранения материалов склады имеют разную конструкцию и функциональность. Их можно разделить на три вида: открытые, крытые (рис. 1, а, б) и закрытые склады (рис. 2).

На складах для подъема и перемещения сыпучего груза используют различное подъемно-транспортное оборудование. На рис. 2 представлено изображение закрытого склада нефтяного кокса длиной 120 м и шириной 30 м. Сырье на складе разделено на фракции перегородками на 4 секции.

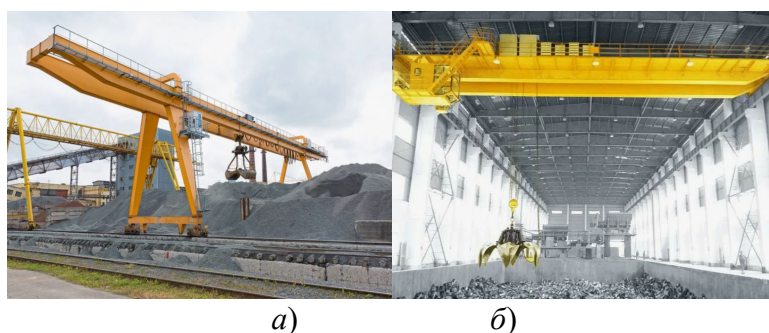


Рис. 1. Примеры конструкции складов хранения сыпучих материалов:
а) открытый склад: <https://uleoparda.ru/proizvodstvo/kran/kozlovoy/>;
б) закрытый склад: <https://ru.pinterest.com/pin/99290366764308624/>

По всей длине склада проходит железнодорожное полотно для разгрузки железнодорожных вагонов. Перемещение и погрузка сырья на складе осуществляется мостовым грейферным краном, который перемещается по всей длине склада по подкрановым путям.

Топографическая съемка сыпучих материалов на данном складе представляет собой сложную задачу, сопряженную с рядом трудностей. Пыль, поднимаемая при перемещении материалов, создает не только сложные условия для работы, но и затрудняет процесс съемки. Сложности перемещения персонала по поверхности склада, которая представлена сыпучим материалом под углом естественного откоса, также яв-

ляются фактором, замедляющим процесс съемки и делающим его небезопасным. Поэтому учет объемов таких складов осуществляется зачастую линейными промерами, а вычисления производятся довольно приближенно по простейшим геометрическим фигурам: трапециям, пирамидам и обелискам.

Были попытки автоматизировать съемку складов сыпучих материалов с помощью статически расположенных камер на конструкциях [13], однако такую схему можно применить на небольших крытых складах. Для больших складов потребуется большое количество камер, чтобы обеспечить необходимое перекрытие снимков, пригодное для автоматических методов обработки.



Рис. 2. Закрытый склад нефтяного кокса

Для автоматизации съемочных работ на данном складе было решено использовать мостовой грейферный кран, который имеет возможность перемещаться линейно по одной оси с постоянной скоростью по всей длине склада. Эти особенности позволяют имитировать аэрофотосъемку, размещая IP-камеры на самом грейферном кране, тем самым повышая безопасность, скорость и точность выполнения съемочных работ [14]. Также на грейферном кране разместили сервер для обработки снимков и подсчета объемов сыпучих материалов.

После размещения оборудования на грейферном кране и выполнения предварительных операций по калибровке камер и геодезическим работам по привязке центров фотографирования, определении нулевой поверхности и контуров подсчета объемов в цикле выполняется автоматизированная съемка и подсчет объемов склада согласно схеме (рис. 3).

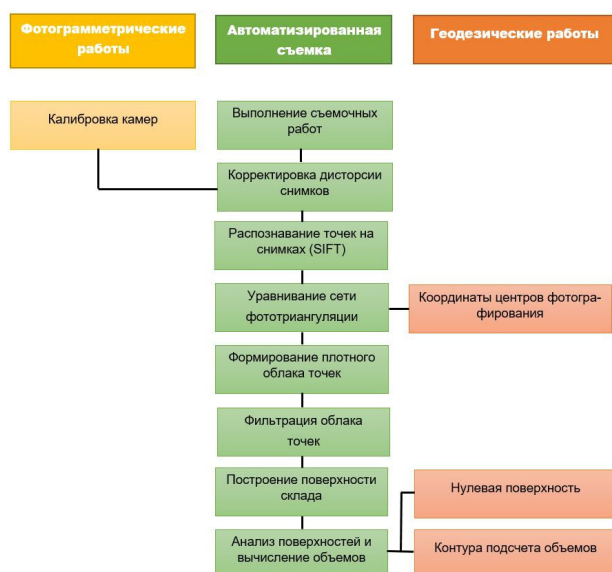


Рис. 3. Схема этапов методики

В качестве съемочного оборудования было решено использовать IP-камеры с углом обзора 160° и разрешением матрицы 8 Мп. В сборе такая IP-камера получает качественные снимки, управляется удаленно с помощью программных средств, данные передаются как по локальной сети, так и через интернет [15, 16].

С учетом рекомендаций руководства Agisoft Metashape [17] было собрано 6 экземпляров IP-камер [18, 19] (рис. 4).

IP-камеры размещены по 3 спереди и 3 сзади грейферного крана (см. рис. 4), что позволило добиться 80 % поперечного перекрытия и 90 % продольного.

Для управления всей системой создано мобильное приложение Sklad.apk [20], которое устанавливается на смартфон. В мобильном приложении для управления системой используются три кнопки: «Настройка и проверка подключения», «Старт» и «Стоп». В настройках устанавливается необходимая частота съемки и электронная почта пользователя, которому будет отправлен результат подсчета объемов в виде справки об объемах.

Подготовительные работы

На складе была создана и закреплена локальная система координат, где ось X параллельна грейферному крану, а ось Y – подкрановым путям грейферного крана. За нулевую отметку взяли отметку пола склада.



Рис. 4. Размещение IP-камер на грейферном кране

В начале и в конце склада обозначены точки «Старт» и «Стоп», с которых будет начинать и заканчивать движение грейферный кран во время проведения съемочных работ. Электронным тахеометром определены координаты положения камер в этих точках [21].

Также тахеометром выполнена съемка контуров подсчета объемов и съемка нулевой поверхности. Калибровка камер выполнена в соответствии с рекомендациями Agisoft Metashape по шахматной доске [17].

В результате подготовительных работ получены:

- файл привязки снимков (координаты центров фотографирования в начале и в конце склада);
- файлы калибровки камер;
- файл данных нулевой поверхности;
- файл контуров подсчета объемов.

Эти файлы сохранены на сервере в качестве исходных данных.

Подготовительные работы выполняются один раз.

Съемочные работы

После размещения элементов системы и выполнения подготовительных работ съемка выполняется в соответствии с приведенной ниже последовательностью (рис. 5):

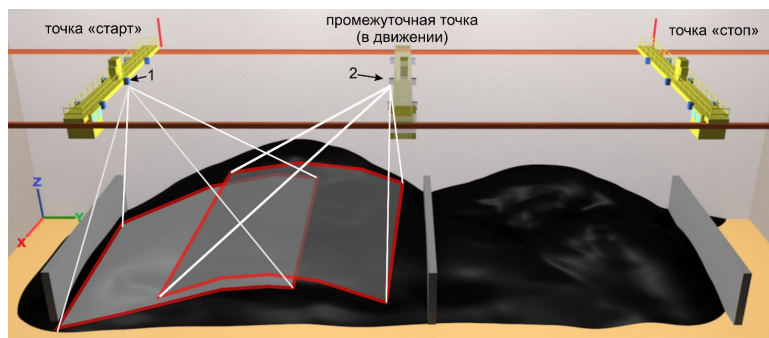


Рис. 5. Схема проведения съемочных работ (на снимке позицией 1 показана средняя камера «вперед», а позицией 2 – средняя камера «назад»)

- удаление старого проекта Agisoft Metashape;
- создание нового проекта Agisoft Metashape;
- импорт снимков в проект;
- импорт параметров калибровки камер;
- импорт центров фотографирования в точках «Старт» и «Стоп»;
- предварительная обработка снимков (исправление дисторсии);
- распознавание характерных точек на снимках (SIFT);
- уравнивание сети;
- формирование плотного облака точек;

– грейферный кран размещается в начале склада, в точке «Старт»;

– оператор крана нажимает на кнопку «Старт» на контроллере, тем самым запускает серийную съемку на IP-камерах, и начинает движение грейферного крана в конец склада, выполняя по таймеру съемку, к точке «Стоп»;

– по достижении точки «Стоп» оператор останавливает кран и нажимает на кнопку «Стоп» на контроллере. IP-камеры, получив от контроллера команду «Стоп», завершают серийную съемку и передают полученные снимки на сервер.

На данном складе за 2,5 минуты съемочных работ получается около 180 снимков с шести IP-камер, которые образуют три маршрута по 60 снимков в каждом.

Обработка фотосъемки

Обработка снимков выполняется в API Agisoft Metashape, который использует Python 3 в качестве языка сценариев. Сценарий обработки содержит следующие этапы:

- фильтрация облака точек;
- экспорт облака точек.

Результатом обработки снимков является облако точек поверхности склада в формате $X Y Z$ (рис. 6).

Подсчет объемов

Результатом подготовительных, съемочных работ и обработки снимков являются три файла: точек нулевой поверхности, точек поверхности склада и точек контуров подсчета объемов. Эти данные используются для автоматизации подсчета объемов.

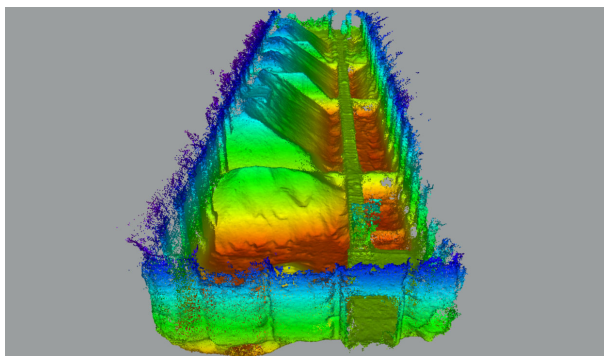


Рис. 6. Облако точек модели поверхности склада

Файл точек съемки часто содержит недостоверные данные, которые могут повлиять на точность подсчета объемов. К таким данным можно отнести точки ограждения, нависающие над сырьем и неправильно распознанные точки. Фильтрация точек осуществляется специальными методами, учитывающими угол естественного откоса материала.

Далее по точкам съемки строится регулярная сетка $(0,1 \times 0,1)$, представляющая собой поверхность сыпучих материалов. Также на основе файлов точек нулевой поверхности формируется регулярная сетка $(0,1 \times 0,1)$. Из файла точек контуров считываются полигоны, которые используются для вычисления объемов. Отдельно для каждого полигона рассчитыва-

ется объем между двумя поверхностями. По завершении расчетов формируется справка о подсчете объемов, которая передается пользователю на электронную почту, указанную в настройках контроллера.

На обработку съемки и расчет объемов требуется около 40 минут.

Анализ методики

Для анализа точности остановки грейферного крана в заданных точках и оценки привязки IP-камер в этих точках была выполнена съемка центров камер при двух остановках грейферного крана. В качестве геодезического обоснования использовалась условная система координат склада, состоящая из двух точек, с которых выполнялись измерения для определения координат центров фотографирования полярным способом. Методика и схема измерений электронным тахеометром Nikon NPL-352 обеспечивали ошибку определения координат точек и центров фотографирования не более 2,5 мм. Результаты приведены в табл. 1. По результатам замеров видно, что грейферный кран останавливается в заданных точках с погрешностью около ± 30 мм.

Для оценки точности подсчета объемов был выполнен замер объемов склада, с помощью данной методики и с помощью наземного лазерного сканера Riegl LMS Z620 (рис. 7)

Таблица 1

Отклонения привязки камер в повторных замерах

№	1-й замер			2-й замер			Разница		
	X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м	Z, м	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
1_K	19,170	120,491	9,868	19,201	120,497	9,854	-0,031	-0,006	0,014
1_N	19,175	6,550	9,870	19,205	6,542	9,860	-0,030	0,008	0,010
2_K	12,611	119,966	9,856	12,644	119,957	9,876	-0,033	0,009	-0,020
2_N	12,616	6,025	9,858	12,642	6,020	9,852	-0,026	0,005	0,006
3_K	2,645	118,869	9,851	2,676	118,856	9,853	-0,031	0,013	-0,002
3_N	2,650	4,928	9,852	2,681	4,916	9,851	-0,031	0,012	0,001
4_K	18,193	115,167	10,054	18,176	115,156	10,047	0,017	0,011	0,007
4_N	19,198	1,226	10,056	19,177	1,214	10,060	0,021	0,012	-0,004
5_K	12,858	115,141	10,036	12,843	115,130	10,032	0,015	0,011	0,004
5_N	12,863	1,200	10,037	12,844	1,204	10,032	0,019	-0,004	0,005
6_K	2,701	115,121	10,038	2,676	115,129	10,037	0,025	-0,008	0,001
6_N	2,706	1,181	10,039	2,690	1,188	10,035	0,016	-0,007	0,004
Среднее							0,006	0,005	0,002
Максимальное							0,033	0,013	0,014

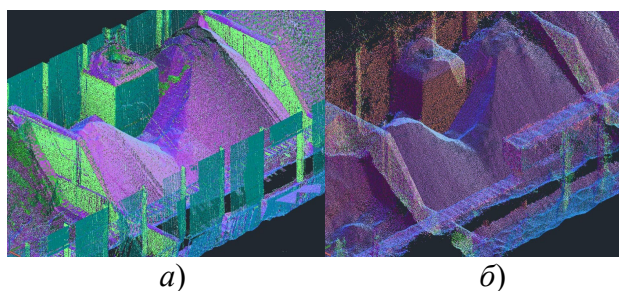


Рис. 7. Облака точек: а) результаты лазерного сканирования; б) автоматизированной системы

По результатам съемок видно, что облако точек, полученное с помощью лазерного сканирования, более плотное и детальное. Данные лазерного сканирования приняты за эталон.

Подсчет объемов по данным лазерного сканирования произведен в программном обеспечении Autodesk Civil 3D композитным методом по призмам. Анализ результатов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Анализ результатов подсчета объемов двумя способами

Отделение	$V_0, \text{м}^3$	$V_1, \text{м}^3$	$\Delta_v = V_1 - V_0 , \text{м}^3$	$V_{\text{ср}}, \text{м}^3$	$\Delta_v/V_{\text{ср}}, \%$
1	2 905	2 972	67	2 938,5	2,3
2	1 745	1 826	81	1 785,5	4,5
3	1 132	1 151	19	1 141,5	1,7
4	228	226	2	227,0	0,9

Примечание. V_0 – объем, полученный автоматизированной системой; V_1 – объем, полученный по данным лазерного сканирования.

Расхождения между результатами двух методов съемки и подсчета объемов по четырем отделениям составили не более 4,5 %.

В соответствии с п. 43 (РД 07-604-03 «Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом» Сер. 07. Вып. 13. – М. : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 32 с.), если объем склада составляет менее 20 тыс. м^3 , то разница

между двумя независимыми определениями объема не должна превышать 12 %. Однако в новых правилах осуществления маркшейдерской деятельности (Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». – URL: <http://pravo.gov.ru> – Текст : электронный) дается допуск 2 % независимо от величины объема. Величина допуска в этом документе никак не аргументирована и не связана с используемыми методами съемки и объемами складов, что по мнению авторов является недостатком этого документа.

Также на данном складе был проведен сравнительный анализ времени съемочных работ и подсчета объемов различными методами. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Анализ времени съемки и подсчета объемов

Метод съемки	Полевые работы	Камеральные работы	Всего
Тахеометрическая съемка	4 часа	3 часа	7 часов
Лазерное сканирование	1,5 часа	3 часа	4,5 часов
Автоматическая система	2,5 минуты	40 минут	42,5 минуты

Заключение

Авторами разработана автоматизированная методика аэрофотосъемки с помощью передвижного грузоподъемного механизма, которая позволяет полностью автоматизировать процесс съемки и ее обработки и определять объемы материалов на складах. Все аппаратные и программные элементы методики объединяются в мобильном приложении Sklad.ark, которое имеет простой интерфейс и может управляться машинистом крана без привлечения специалистов маркшейдерской или геодезической службы предприятия.

Разработанная методика позволяет не только значительно сократить расходы на съемку, но и гарантирует безопасность персонала во время проведения работ. Время съемки и подсчета объемов по данной методике практически в 10 раз меньше времени выполнения работ традиционными методами, но при этом обеспечивается высокая точностьчисления объемов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смольянинова Е. Н., Полищук Е. В. Проблемы современной складской логистики // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2019. – Т. 8. № 2 (27). – С. 292–294. – DOI 10.26140/anie-2019-0802-0071. – EDN LIXJEZ.
2. Джанизакович Х. Н. Современные геодезические технологии в городском строительстве // Механика и технологии. – 2022. – № 2 (2). – С. 226–229.
3. Рогова Н. С. Применение неметрических цифровых камер для контроля объемов перемещенного грунта при выполнении земляных работ на строительных площадках // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 356–359. – EDN KJCPID.
4. Kiriak N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods // Nuclear Engineering and Design 16 July 2021. – DOI 10.1016/j.nucengdes.2021.111366. – EDN HKDIFP.
5. Тайлаков О. В., Коровин Д. С. Особенности фотограмметрической обработки аэрофотоснимков открытого угольного склада при использовании беспилотных летательных аппаратов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 5. – С. 3–5. – EDN YJUWER.
6. Ержанкызы А., Шульц Р., Левин Е., Орынбасарова Э. О. Использование данных аэрофотосъемки для наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 69–74.
7. Сальников В. Г., Басаргин А. А., Астапов А. М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 203–211. – DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211. – EDN HAKNJJ.
8. Циношкин А. Г., Редькин В. А. Создание 3D-модели месторождения и подсчет объемов горных работ при календарном планировании с использованием программного обеспечения AutoCad Civil 3D, на примере Апсатского каменноугольного месторождения // Уголь. – 2017. – С. 66–69. – DOI 10.18796/0041-5790-2017-3-66-69. – EDN YHTMBV.
9. Комиссаров А. В., Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Хлебникова Е. П. Сравнение точности определения объемов сыпучих материалов по данным съемки с беспилотных летательных аппаратов и геодезическим измерениям // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 70–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77. – EDN CCMBMW.
10. Kim I. H., Lim D. W., Jung J. W. Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket // Multimedia Tools Appl. – 2019. – No. 78. – Pp. 5493–5522. – DOI 10.1007/s11042-019-7225-0.
11. Мустафин М. Г., Шокер Х. М. Оценка влияния линейно-угловых параметров лазерно-сканирующей съемки на точность построения модели объекта // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 6 (139). – С. 42–50. – EDN RSDQPI.
12. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Расчет параметров наземного лазерного сканирования промышленных объектов // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 26–39. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. – EDN EJJPI.
13. Пат. RU2788655C1. Система автоматического расчета объемов сыпучего материала на складах закрытого типа [Текст] / Пастухова Г. В., Зотин Д. А. Торопов И. С. ; заявл. 2021.08.02 ; опубл. 2023.01.24.
14. Тутанова М. С., Леонов Н. Н., Рымкулова А. Б. Применение цифровой фотограмметрии на открытых горных работах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 1. – С. 145–148. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-145-148. – EDN YWHUNJ.

15. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying // Remote Sens. – 2019. – 11 (12). – P. 1471. – DOI 10.3390/rs11121471.
16. Тайлаков О. В., Макеев М. П., Коровин Д. С. Верификация пространственно-цифровых моделей открытых угольных складов, построенных по результатам аэрофотосъемки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5 (123). – С. 68–73. – DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-68-72. – EDN ZTSKZR.
17. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 2.1. 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf (дата обращения: 29.02.2024).
18. Михеева А. А., Ялтыхов В. В., Волков Д. О. Оценка возможности применения обзорной цифровой камеры, встроенной в электронный тахеометр для целей фотограмметрии // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2017. – С. 166–173. – EDN ZVZDBT.
19. Yusheng Yang, Jun Xu, Willemijn S. Elkhuisen, Yu Song. The development of a low-cost photogrammetry-based 3D hand scanner // HardwareX21 June 2021 – 2021. – DOI 10.1016/j.ohx.2021.e00212.
20. Программа «Лис-Объем». Автор: Токин А. А. Номер регистрации (свидетельства): 2024617179. Дата регистрации: 29.03.2024. Бюл. № 4.
21. Alessandro Pozzebon, Marco Benini, Cristiano Bocci, Ada Fort, Stefano Parrino, Fabio Rappallo. Grid-layout ultrasonic LoRaWAN-based sensor networks for the measurement of the volume of granular materials // Measurement. – 2023. – 220. – 113404. – DOI 10.1016/j.measurement.2023.113404. – EDN LCDHJT.

Об авторах

Александр Алексеевич Токин – научный сотрудник.

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

Получено: 14.11.2024

© А. А. Токин, А. А. Шоломицкий, 2025

The methodology of automated survey and calculation of bulk materials in warehouses

A. A. Tokin^{1✉}, A. A. Sholomitskii²

¹Center for Surveying and Geodetic Innovations Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

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

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

Abstract. In the conditions of modern economic development of Russia, there is a significant growth in the volume of goods turnover and the development of logistics processes. Among all the components of the logistics chain, the warehouse plays a key role in organizing supplies and distributing goods. Accuracy and timeliness of accounting for material assets are the foundation for the smooth functioning of the logistics chain, ensuring continuous production and meeting customer needs. Therefore, attention to the process of accounting and control of warehouse stocks will increase, since the ability to effectively manage the volumes of materials in the warehouse not only increases the level of comfort, but is also the key to successful development. The article is devoted to the automa-

tion of the process of counting the volumes of bulk materials in warehouses. The use of specialized technologies and software helps to significantly simplify and speed up the process of inventory and accounting of stocks in the warehouse. A new approach to performing photogrammetric survey of warehouses based on moving loading mechanisms is proposed. The authors managed to fully automate the process of photogrammetric survey and its processing. This in turn reduced the load on the mine surveying and geodetic service and made it possible to significantly reduce the time of both "field" work and office processing. Automation of bulk material volume calculation in warehouses is an important step towards optimizing logistics processes and increasing the efficiency of warehouse management as a whole.

Keywords: logistics, IP cameras, photogrammetry, laser scanning, volume calculation, warehousing, automation of work

REFERENCE

1. Smolyaninova, E. N., & Polishchuk, E. V. (2019). Problems of modern warehouse logistics *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravleniye* [Azimut nauchnih issledovaniy: ekonomika i upravlenie], 2019. T. 8. №2(27). P. 292–294 EDN LIXJEZ [in Russian].
2. Djanizakovich, H. N. Modern geodetic technologies in urban construction (2022) *Mehanika i tehnologii* [Mechanics and technology] 2022, №2 (2) C. 226–229. [in Russian].
3. Rogova N. S. (2018). The use of non-metric digital cameras to control the volume of displaced soil during excavation work on construction sites *Innovacii i investicii*. [Innovation and investment] № 4. 2018. P. 356–359 EDN KJCPID [in Russian].
4. Kiriak N. (2021). Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods *Nuclear Engineering and Design* 16 July 2021 DOI <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111366>. EDN HKDIFP.
5. Tailakov, O. V., Korovin, D. S. (2016). Features of photogrammetric processing of aerial photographs of an open coal warehouse using unmanned aerial vehicles *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Kuzbass State Technical University] №5. C. 3–5 [in Russian].
6. Erjankizi A., Shults R., Levin E., Orinbasarova E. O. (2018). Using aerial photography data for ground-based laser scanning *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia] 69–74 [in Russian].
7. Salnikov V. G., Basargin A. A., Astapov A. M. (2019). Analysis of methods for calculating bulk materials stack volumes *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia] P. 203–211. DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211 EDN HAKNJN [in Russian].
8. Cinoshkin A. G., Redkin V. A. (2017). Creation of a 3D model of the deposit and calculation of mining volumes during calendar planning using AutoCAD Civil 3D software, using the example of the Apsat coal deposit. *Ugol* [Ugol], P. 66-69. DOI 10.18796/0041-5790-2017-3-66-69. EDN YHTMBB [in Russian].
9. Komissarov A. V., Avrunev E. I., Yambaev H.K, Hlebnikova E. P. (2019). Comparison of exact definitions of volumes with Canberrans and geodesics *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] T. 24, № 4, P. 70-77. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77. EDN CCMBWM [in Russian].
10. Kim I. H., Lim D. W., Jung J. W. (2019). Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket *Multimedia Tools Appl.*, 78 pp. 5493-5522/ DOI <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7225-0>.
11. Mustafin M. G. , Shoker H. M. (2020). Assessment of the influence of linear-angular parameters of laser scanning on the accuracy of constructing an object model *Marksheiderskii Vestnik* [Surveyor's Bulletin], 2020-№6 (139). 42–50. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. EDN RSDQPI [in Russian].

12. Sharafutdinava A. A., Brin M. Ya. (2023). Calculation of parameters of ground-based laser scanning of industrial facilities *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 28, №2, 2023, 26–39. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. EDN EJPIM [in Russian].
13. Patent RF «System for automatic calculation of bulk material volumes in closed warehouses» (2023) RU2788655C1. Pastuhova G. V., Zotin D. A. Toropov I., 2023 [in Russian].
14. Tutanova M. S., Leonov N. N., Rimkulova A. B. (2023). Application of digital photogrammetry in open-pit mining, *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* T. 1. № 1. C. 145-148. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-145-148. EDN YWHUNJ [in Russian].
15. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. (2019). Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying *Remote Sens.*, 11 (12), p. 1471.
16. Tailakov O.V., Makeev M. P., Korovin D. S. (2017). Verification of spatial-digital models of open-pit coal depots built according to the results of aerial photography *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]*. № 5 (123). C. 68–73. DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-68-72. EDN ZTSKZR [in Russian].
17. Agisoft Metashape User's Guide: Professional Edition, version 2.1. 2024. Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf 02.29.24. [in Russian].
18. Miheeva A. A., Yaltihov V. V., Volkov D. O. (2017). Assessment of the possibility of using an overview digital camera integrated into an electronic total station for photogrammetry purposes *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta [Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta]* 166–173 [in Russian].
19. Yusheng Yang, Jun Xu, Willemijn S. Elkhuizen, Yu Song (2021). The development of a low-cost photogrammetry-based 3D hand scanner (2021) *HardwareX21 June 2021* DOI <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00212>.
20. Program "Fox-Volume" Author: Tokin A. A. Registration number (certificate): 2024617179 Registration date: 03/29/2024 Bulletin No. 4 [in Russian].
21. Alessandro Pozzebon, Marco Benini, Cristiano Bocci, Ada Fort, Stefano Parrino, Fabio Rappallo (2023). Grid-layout ultrasonic LoRaWAN-based sensor networks for the measurement of the volume of granular materials *Measurement* 220 113404. DOI 10.1016/j.measurement.2023.113404 EDN LCDHJT.

Author details

Alexander A. Tokin – Researcher.

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

Received 14.11.2024

© A. A. Tokin, A. A. Sholomitskii, 2025

УДК 528.482

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-41-52

Деформационный мониторинг системы «турбоагрегат – фундамент – основание»

Г. А. Уставич¹✉, А. А. Шоломицкий¹, И. Ю. Васютинский², А. М. Астапов¹

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

² Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: ystavich@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения нормальной работы системы «турбоагрегат – фундамент – основание» (ТФО) требуется сохранение в процессе ее эксплуатации центровок роторов линии валопровода (линия роторов), которые были установлены на стадии монтажа точной части турбоагрегата. Нарушение установленных значений центровок роторов приводит к увеличению вибрации фундамента при работающем турбоагрегате. Эта вибрация передается на линию валопровода и в случае возникновения недопустимых значений приводит к аварийной остановке турбоагрегата. Изменение установленных значений центровок роторов происходит вследствие тепловых деформаций колонн фундамента, которые приводят к изгибу верхнего строения фундамента, а затем к изгибу нижней части цилиндров турбоагрегата. Так как роторы располагаются в нижней части цилиндров, то также изгибаются линии роторов. Определение тепловых деформаций колонн фундамента производится высокоточным геометрическим нивелированием короткими лучами при следующих режимах работы турбоагрегата: «останов – пуск – работа» и «работа – останов». По полученным результатам вертикальных тепловых деформаций колонн фундамента производится расчет изменений значений центровок роторов. От правильной интерпретации полученных результатов тепловых деформаций фундамента и последующего выполнения расчета их параметров зависит величина значений центровок роторов, установленных во время проведения ремонта турбоагрегата. Задачей геодезических измерений является получение суммарной величины тепловых деформаций всей системы ТФО. В настоящее время величина этой деформации определяется только по результатам нивелирования верхней плиты. Поэтому для повышения информативности полученных значений тепловых деформаций колонн фундамента в статье предлагается создавать 3D-модели для каждого цикла измерений в зависимости от режима работы системы ТФО. При создании 3D-модели для последующего расчета центровок учитываются величины тепловых деформаций по оси линии роторов.

Ключевые слова: осадочные марки, верхнее строение фундамента, система «турбоагрегат – фундамент – основание», центровки роторов, линия роторов, 3D-модель, тепловые деформации

Для цитирования:

Уставич Г. А., Шоломицкий А. А., Васютинский И. Ю., Астапов А. М. Деформационный мониторинг системы «турбоагрегат – фундамент – основание» // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 41–52. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-41-52

Введение

Основным технологическим оборудованием атомных и тепловых электростанций, наряду с реакторами и котлами, являются

быстроходные (скорость вращения ротора 3 000 оборотов в минуту) и тихоходные (скорость вращения ротора 1 500 оборотов в минуту) турбоагрегаты мощностью от 100 до 1 000 МВт. При монтаже и последующей

эксплуатации турбоагрегатов производится целый комплекс работ по обеспечению установленных согласно требованиям завода-изготовителя геометрических параметров.

В связи с тем, что возведение фундамента, монтаж турбоагрегата и его дальнейшая эксплуатация является сложным процессом, необходимо строго выполнять общую технологическую схему проведения геодезических работ различной точности на стадиях проектирования, строительства, монтажа и последующей эксплуатации системы «турбоагрегат – фундамент – основание» (ТФО).

На всех стадиях возведения системы ТФО применяются высокоточные инженерно-геодезические измерения, к которым относятся (СО 153-34.21.322–2003 «Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформаций зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. – М. : Орггрэс, 2003. – 63 с.) [1–3]:

- вынос продольной (линия валопровода) и поперечной (опоры подшипников) осей турбоагрегата на верхнее строение фундамента со средней квадратической ошибкой (СКО) измерений 0,5–1,0 мм;

- определение высотного положения складных частей под цилиндры и генератор турбоагрегата со СКО измерений 0,2–0,3 мм;

- определение деформационного состояния системы ТФО на этапах возведения фундамента турбоагрегата, его монтажа и последующих режимов эксплуатации со СКО измерений порядка 0,08–0,10 мм.

Одновременно с производством геодезических работ, выполняемых при возведении фундамента и последующего монтажа турбоагрегата, с заданной цикличностью необходимо выполнять высокоточные геодезические измерения, связанные с определением деформационного состояния системы ТФО на следующих основных этапах [4]: при возведении фундамента; при первом пуске и останове турбоагрегата; при режиме «пуск – работа – останов – пуск» (СО 153-34.21.322–2003 «Методические указания по организации и проведению наблюдений за

осадкой фундаментов и деформаций зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. – М. : Орггрэс, 2003. – 63 с.).

Основная часть

Надежность работы системы ТФО в значительной мере зависит от ее деформационного состояния. Это обусловлено тем, что установленные при монтаже турбоагрегата значения центровок роторов (цепная линия валопровода) с течением времени изменяются по следующим основным причинам:

- деформации (прогиба) нижней плиты фундамента турбоагрегата;

- тепловых деформаций колонн фундамента;

- тепловых деформаций корпуса турбоагрегата.

В связи с этим с целью определения величин этих деформаций необходимо выполнять комплекс высокоточного инженерно-геодезического нивелирования короткими лучами по осадочным маркам, заложенным на разных горизонтах фундамента (нижняя и верхняя плиты, отметка +0,6–0,8 м, колонны) и на нижнем разъеме цилиндров (высокого, среднего и нижнего давлений) турбоагрегата.

Высокоточное нивелирование первого цикла по маркам нижней плиты производится сразу после ее возведения, и данный цикл нивелирования принимается за исходный. После установки колонн фундамента и заливки верхней плиты измерения продолжают и при монтаже турбоагрегата. В период монтажа турбоагрегата на нижней части цилиндров (горизонтальном разъеме) также устанавливаются осадочные марки. Так как эти марки находятся на уровне линии роторов, то полученные по ним величины деформаций будут в полной мере отражать действительную картину изгиба линии валопровода [5].

Цикличность выполнения измерений на данном этапе возведения системы ТФО дана в табл. 1.

Таблица 1

Последовательность циклов высокоточного нивелирования при возведении фундамента турбоагрегата и его монтаже

Этапы возведения фундамента турбоагрегата	Число циклов измерений и их последовательность
Установка нижней плиты	Один цикл по маркам нижней плиты (исходный цикл нивелирования)
Установка колонн фундамента, заливка верхней плиты	Один цикл измерений в месяц по маркам нижней и верхней плит в течение всего периода возведения. Передача отметки на верхнюю плиту
Установка нижних частей цилиндров и марок на горизонтальный разъем	Один цикл измерений в месяц по маркам нижней и верхней плит, а также горизонтальному разъему в течение всего периода монтажа
Укладка роторов и центровка прочной части турбоагрегата	После завершения укладки роторов и центровки роторов один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента и горизонтальному разъему
Установка верхней части цилиндров	Один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента и горизонтальному разъему
Окончательная центровка роторов валопровода	Один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента и горизонтальному разъему
Связь элеватором высот отм. +0,8 с верхней плитой	Один цикл измерений по маркам на отм. +0,8 и верхней плите фундамента
Пуск турбоагрегата	За сутки до пуска один цикл измерений по маркам верхней плиты и горизонтальному разъему

После завершения возведения системы ТФО производится высокоточное нивелирование с целью определения деформационного состояния системы ТФО при режимах работы турбоагрегата «пуск – работа – останов – пуск». Полученные результаты геодезических измерений позволяют:

- получить реальное положение в пространстве (деформационное состояние) верхней плиты и линии роторов;
- уточнить значения центровок полумуфт линии роторов и внести их в формуляр паспорта завода-изготовителя;
- при последующем ремонте турбоагрегата выполнить центрирование линии роторов с использованием новых значений центровок;

– с учетом введения уточненных значений центровок уменьшить вибрацию турбоагрегата, а также температуру масла и подшипников, на которые опираются роторы.

Цикличность выполнения высокоточного нивелирования дана в табл. 2.

Таблица 2

Число и последовательность циклов измерений при эксплуатации системы ТФО («пуск – работа – останов – пуск»)

Этапы эксплуатации системы ТФО	Число циклов измерений и их последовательность
Набор вакуума и веса воды в конденсаторах	Один цикл измерений по маркам верхней плиты и маркам горизонтального разъема
Турбоагрегат на валоповороте	Один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента
Начало пуска турбоагрегата, плавный набор мощности	Один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента
Турбоагрегат в работе	Один цикл измерений по маркам верхней плиты
Турбоагрегат в работе 7–8 суток	Ежедневные циклы измерений по маркам верхней плиты фундамента. По окончании один цикл измерений по маркам горизонтального разъема. Установление характера и величины теплового удлинения (деформаций) колонн фундамента. Вычисление значений центровок роторов по результатам нивелирования
Проектный режим работы турбоагрегата	Один цикл измерений по маркам верхней плиты и маркам горизонтального разъема в квартал
Подготовка турбоагрегата к остановке. Остановка	Один цикл измерений по маркам горизонтального разъема и маркам верхней плиты
Турбоагрегат остановлен 7–8 суток	Ежедневные циклы измерений по маркам верхней плиты фундамента. Цикл измерений по маркам горизонтального разъема. Установление характера и величины сжатия (деформаций) колонн фундамента после его остывания
Турбоагрегат в ремонте	Учет значений центровок роторов по результатам определения тепловых деформаций колонн здания турбины и колонн фундамента турбоагрегата. Один цикл измерений по маркам верхней плиты фундамента и маркам горизонтального разъема за период ремонта
Окончание ремонта. Пуск турбоагрегата	Последовательность и число измерений согласно п. 1–4

Важной задачей при монтаже и последующей эксплуатации системы ТФО является обеспечение своевременного анализа полученных значений деформаций. На данном этапе основной целью высокоточного нивелирования является определение начала стабилизации положения системы ТФО (а значит, и оси валопровода) и выдача рекомендаций по окончательной центровке роторов, а на стадии эксплуатации – слежение за изменением значений этих центровок. Стабилизация тепловых деформаций фундамента происходит на 7–8-е сутки после пуска турбоагрегата. Остывание фундамента зависит от температуры окружающего воздуха в турбинном зале, и в среднем оно происходит через 7–8 суток.

По результатам нивелирования марок верхней плиты определяются:

- величины тепловых деформаций верхнего строения фундамента;
- расчетные величины удлинения колонн, обусловленных качеством их изоляции от расположенных рядом паропроводов;
- разности расчетных и фактических величин тепловых деформаций стоек фундамента;
- величины прогиба верхней плиты;
- значения изменения центровок роторов, обусловленные тепловыми деформациями верхнего строения фундамента и нижней части цилиндров.

По маркам, заложенным на горизонтальном разъеме, определяются величины деформаций линии роторов (валопровода) на уровне горизонтального разъема.

Завершающим этапом производства инженерно-геодезических работ является расчет изменения центровок роторов по геодезическим данным.

Переход от возведения фундамента и монтажа турбоагрегата к постоянной эксплуатации системы ТФО приводит к изменению взаимного положения опор (подшипников) роторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Это изменение, в свою очередь, приводит к изменению значений центровок роторов: раскрытию полумуфт по торцу и их взаимному смещению по окружности. Суммарная величина изменения взаимного положения опор роторов в вертикальной плоскости на уровне горизонтального разъема, вследствие влияния различных факторов, выражается формулой

$$\Delta = \delta_{\text{ст}} + \delta_{(t)}^{\Phi} + \delta_{(t)}^{\Pi} + \delta_{\text{сез}} + \delta_{\text{дин}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{ст}}$ – статическая деформация, вызванная общей осадкой фундамента турбоагрегата;

$\delta_{\text{дин}}$ – динамическая (тепловая) деформация колонн фундамента, вызванная различными режимами работы турбоагрегата (валооборот, набор веса воды и вакуума, пуск, рабочий режим, останов и т. д.);

$\delta_{\Phi(t)}$ – деформация фундамента, обусловленная изменением температуры в турбинном цехе;

$\delta_{\Pi(t)}$ – деформация нижней части цилиндров, вызванная изменением их температуры при различных режимах работы турбоагрегата;

$\delta_{\text{сез}}$ – сезонные деформации, обусловленные сезонным оттаиванием грунтов и изменением режима вод в непосредственной близости к турбинному залу [6, 7].

Наибольшее влияние на положение опор роторов в вертикальной плоскости оказывает величина $\delta_{\text{дин}}$, которая для высоких колонн фундамента может достигать 4,5–5,8 мм.

Расчет величины $\delta_{\text{дин}}$ производится еще конструкторами на стадии проектирования фундамента. Однако расчетная величина $\delta_{\text{дин}}$ в подавляющем большинстве случаев не согласуется с фактическими из-за следующих основных факторов:

- отклонение фактического расположения паропроводов по отношению к колоннам фундамента от расчетного;
- нарушение теплоизоляции паропроводов во время эксплуатации турбоагрегата.

Фактическая величина изменения длин колонн фундамента определяется с применением элеваторов высот, основанных на применении следующих способов высокоточных инженерно-геодезических измерений [5]:

- геометрического нивелирования и стальной компарированной рулетки (инварной проволокой или лентой);
- высокоточного геометрического нивелирования короткими лучами;
- постоянно подвешенных возле колонн инварных стержней;
- высокоточного тригонометрического нивелирования короткими лучами;
- измерения вертикального расстояния между марками на отм. +0,80 м и марками на верхней плите высокоточным тахеометром.

В настоящее время наиболее широкое применение получили элеваторы высот, основанные на применении высокоточного гео-

метрического нивелирования короткими лучами, при реализации которого связь осадочных марок на отм. +0,60–0,80 и марок на верхней плите производится прокладыванием нивелирного хода с установкой нивелира на расположенные на разной высоте строительные конструкции. Достоинством данного способа является определение величины температурной деформации при различных режимах работы турбоагрегата с СКО порядка 0,25–0,30 мм.

Применение тригонометрического нивелирования короткими лучами при создании элеватора высот обеспечивает измерения превышения на станции в зависимости от влияния внешних условий с СКО порядка 0,05–0,12 мм.

При использовании данного способа высокоточное нивелирование выполняется при двух горизонтах инструмента. Для передачи превышения с отм. +0,60–0,80 на верхнюю плиту потребуется 4–5 станций. Затем после передачи отметки на марку верхней плиты производится нивелирование всех марок верхней плиты с вычислением их высотных отметок. Величина допустимой невязки при передаче превышения на верхнюю плиту вычисляется по формуле

$$m_h = 0,20 \text{ мм} \sqrt{n}, \quad (2)$$

где n – число станций в нивелирном ходе.

После выполнения очередного цикла наблюдений производится расчет изменения значений центровок (раскрытие δ полумуфт) роторов (по торцу полумуфт), полученных по результатам нивелирования, для данного режима работы турбоагрегата (рис. 1) [8, 9].

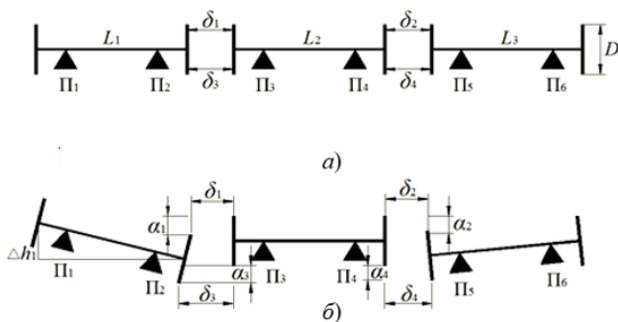


Рис. 1. Схема расположения роторов и подшипников валопровода: а) при отсутствии смещения и раскрытия полумуфт; б) при наличии смещения и раскрытия полумуфт

Установление нормативных значений центровок роторов производится при ремонте турбоагрегата. Величина этих перемещений вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} x_8 &= (\delta_1 - \delta_3) \frac{L-l}{D} + \frac{a_1 - a_3}{2}; \\ x_2 &= (\delta_2 - \delta_4) \frac{L-l}{D} + \frac{a_2 - a_3}{2}; \\ y_8 &= (\delta_1 - \delta_3) \frac{L-l}{D} + \frac{a_1 - a_3}{2}; \\ y_2 &= (\delta_2 - \delta_4) \frac{L-l}{D} + \frac{a_2 - a_3}{2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где L – расстояние от полумуфт до дальнего подшипника;

l – расстояние между осями подшипников;

δ – расстояние между торцами полумуфт;

a_1, a_2, a_3, a_4 – значение центровок (смещение полумуфт) по окружности, полученные при совместных поворотах ротора на 0, 90, 180 и 270°.

Завод-изготовитель задает допускаемое отклонение на раскрытие $\delta_1 - \delta_3$ и $\delta_2 - \delta_4$ полумуфт роторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, которое должно удовлетворять условию

$$\delta_1 - \delta_2 \leq \pm 0,03 \text{ мм}. \quad (4)$$

Величина раскрытия $\delta_1 - \delta_2$ полумуфт роторов в вертикальной определяется из результатов высокоточного нивелирования по маркам верхней плиты (рис. 2) [10]. В этом случае смещение (превышение) одного конца ротора валопровода относительно другого будет равно

$$h = \frac{\delta \cdot L}{D}, \quad (5)$$

где L – длина ротора;

D – диаметр полумуфты.

На рис. 2 приведена схема расположения марок на верхней плите турбоагрегата мощностью 500 МВт

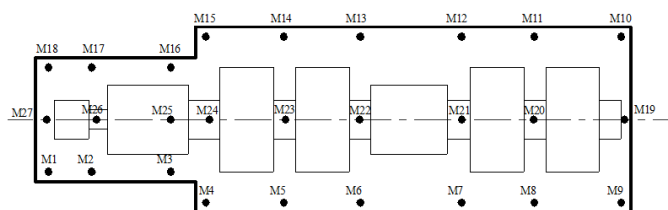


Рис. 2. Схема расположения марок на верхней плите

В табл. 3 приведены результаты тепловых деформаций верхней плиты турбоагрегата мощностью 500 МВт при различных режимах его работы.

Таблица 3

Величины деформаций марок для фундамента турбоагрегата № 4

№ марок	Координаты расположения марок, мм		Величины относительных осадок марок за 10 лет эксплуатации ТА № 4, мм			
	X	Y	ТА № 4 останов	ТА № 4 оста- нов – пуск (24 часа)	ТА № 4 работа (48 часов)	ТА № 4 работа (5 суток)
1	2	3	4	5	6	7
M1	1 500	500	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
M2	1 500	6 050	1,28 (-2,10)	1,06 (-2,10)	1,38 (-2,10)	1,53 (-2,10)
M3	1 500	12 100	-2,28 (-2,68)	1,14 (-2,68)	1,64 (-2,68)	1,83 (-2,68)
M4	500	15 800	-1,65 (-3,05)	1,35 (-3,05)	1,92 (-3,05)	2,15 (-3,05)
M5	500	23 100	-2,98 (-3,65)	2,08 (-3,65)	2,35 (-3,65)	2,62 (-3,65)
M6	500	30 300	-3,09 (-3,68)	2,88 (-3,68)	3,19 (-3,68)	3,44 (-3,68)
M7	500	39 800	-3,20 (-3,70)	3,00 (-3,70)	3,26 (-3,70)	3,42 (-3,70)
M8	500	46 950	-3,50 (-3,78)	3,10 (-3,78)	3,23 (-3,78)	3,36 (-3,78)
M9	500	54 500	-3,12 (-3,30)	3,02 (-3,30)	3,22 (-3,30)	3,41 (-3,30)
M10	6 300	54 500	-2,83 (-3,18)	2,33 (-3,18)	2,38 (-3,18)	2,67 (-3,18)
M11	6 300	46 900	-2,45 (-3,06)	2,45 (-3,06)	2,66 (-3,06)	2,75 (-3,06)
M12	6 300	39 800	-2,80 (-3,45)	2,90 (-3,45)	3,30 (-3,45)	3,50 (-3,45)
M13	6 300	30 400	-2,60 (-3,00)	3,10 (-3,00)	3,58 (-3,00)	3,73 (-3,00)
M14	6 300	23 050	-2,84 (-3,16)	2,80 (-3,16)	3,24 (-3,16)	3,36 (-3,16)
M15	6 300	15 800	-3,64 (-4,12)	2,16 (-4,12)	2,37 (-4,12)	2,46 (-4,12)
M16	5 300	12 150	-3,48 (-4,56)	1,68 (-4,56)	2,08 (-4,56)	2,23 (-4,56)
M17	5 300	6 050	-4,14 (-5,25)	1,14 (-5,25)	1,35 (-5,25)	2,45 (-5,25)
M18	5 300	500	-4,34 (-5,78)	1,34 (-5,78)	1,23 (-5,78)	1,51 (-5,78)

Примечание. Верхние цифры – верх фундамента; нижние – низ фундамента.

В табл. 4 приведены результаты тепловых деформаций верхней плиты турбоагрегата по его оси (оси валопровода).

Таблица 4

Величины деформаций марок для оси фундамента турбоагрегата № 4

№ марок	Координаты марок, мм		Величины относительных осадок марок за 10 лет, мм			
	X	Y	ТА № 4 останов	ТА № 4 оста- нов – пуск (24 часа)	ТА № 4 работа (48 часов)	ТА № 4 работа (5 суток)
1	2	3	4	5	6	7
M27	3 400	54 500	–2,17 (–2,89)	0,67 (–2,89)	0,62 (–89)	0,76 (–89)
M26	3 400	46 950	2,71 (–3,68)	1,10 (–3,68)	1,36 (–3,68)	1,99 (–3,68)
M25	3 400	39 800	–2,88 (–3,62)	1,41 (–3,62)	2,15 (–3,62)	2,29 (–3,62)
M24	3 400	30 300	–2,64 (–3,58)	2,08 (–3,58)	2,14 (–3,58)	2,19 (–3,58)
M23	3 400	23 100	–2,91 (–3,40)	2,24 (–3,40)	2,80 (–3,40)	2,99 (–3,40)
M22	3 400	15 800	–2,84 (–3,34)	2,99 (–3,34)	3,38 (–3,34)	3,58 (–3,34)
M21	3 400	12 100	–3,00 (–3,58)	2,95 (–3,58)	3,28 (–3,58)	3,46 (–3,58)
M20	3 400	6 050	–2,98 (–3,42)	2,78 (–3,42)	2,95 (–3,42)	3,06 (–3,42)
M19	3 400	500	–2,98 (–3,24)	2,68 (–3,24)	2,80 (–3,24)	3,04 (–3,24)

Примечание. Верхние цифры – верх фундамента; нижние – низ фундамента.

Для наглядного отображения характера тепловых деформаций целесообразно применять трехмерное представление деформированных при нагреве поверхностей фундамента (рис. 3), что позволяет лучше понять характер деформаций. Поверхности деформаций были построены по данным геодезических измерений (см. табл. 3 и 4) в программе SURFER, интерполяция в узлах сетки выполнена методом кригинга, который учитывает закономерности деформаций поверхности.

На рис. 3 (поверхность 1) показано высотное положение точек (см. табл. 3 и 4, нижнее значение в строке, колонка 4) относительно точки 1 для низа фундамента во время останова. Поверхность 2 – это высотное положение точек 1–27 относительно точки 1 верха

фундамента (верхнее значение в табл. 3 и 4, колонка 4) во время останова. На этом рисунке показаны крайние точки M19 и M27, расположенные на оси фундамента. Поверхности 3, 4 и 5 показывают температурные деформации верхней плиты фундамента при нагреве верхней части фундамента после 24, 48 и 120 часов работы, соответственно верхние значения деформаций в табл. 3 и 4, колонки 5, 6 и 7.

По мере работы агрегата температура верхней части фундамента изменяется неравномерно, что приводит к неравномерным температурным деформациям верхней части фундамента. На рис. 3 поверхности 3–4–5 показывают изменение высоты верхней части фундамента по оси агрегата по линии 24–25–26–27 (см. рис. 2) в большей мере, чем по ли-

нии 19-20-21-22 (примерно на 1,0 мм), и деформации возрастают в поперечном направлении от точек 21-22-23. Такие деформации необходимо учитывать при монтаже частей турбоагрегата в его холодном состоянии, чтобы при температурной деформации после начала работы турбины и ее нагреве ось вращения заняла горизонтальное положение.

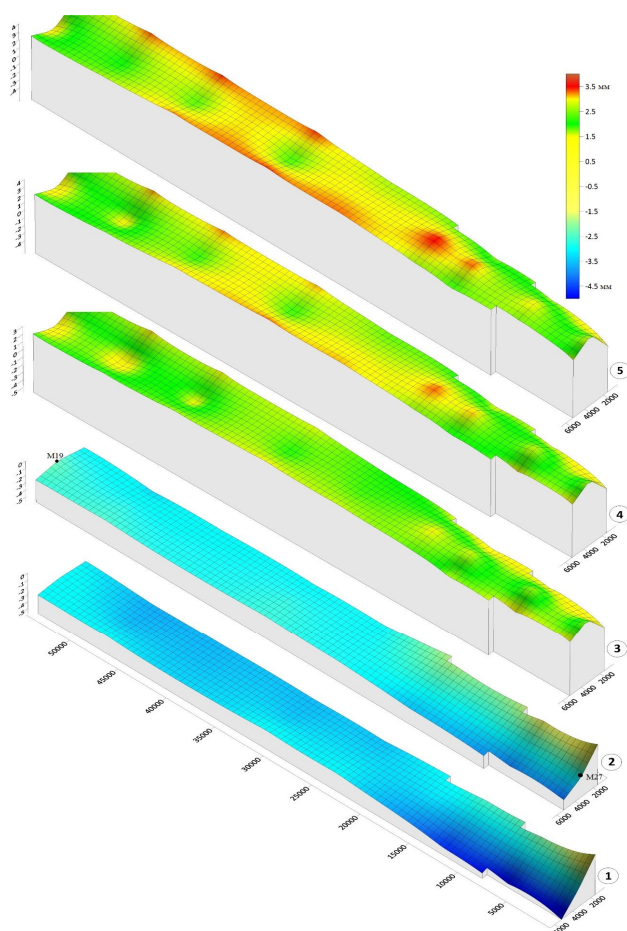


Рис. 3. Поверхности тепловых деформаций фундамента турбоагрегата

При расчете изменения (прогноза) значений центровок роторов валопровода необходимо знать прогнозное значение деформационного состояния системы «турбоагрегат – фундамент – основание» при различных режимах его работы, на которое влияют следующие основные факторы.

1. Качественное проведение строительно-монтажных работ и последующего монтажа турбоагрегата. На деформационное состояние системы «турбоагрегат – фундамент – основание» оказывает влияние каче-

ство возведения фундамента и монтаж турбоагрегата, особенно его проточной части.

Во время проведения этих работ высокоточное нивелирование выполняется с целью определения осадок фундамента в целом и прогиба верхней плиты с целью установления времени, когда их деформации минимальны и не приводят к заметному изменению значений центровок роторов. Результаты высокоточного нивелирования необходимы только для оценки деформационного состояния системы «основание – фундамент».

Остаточное влияние деформации системы «основание – фундамент» в значительной мере зависит и от времени монтажа турбоагрегата, который может производиться в теплый и холодный периоды года. При монтаже турбоагрегата, особенно его проточной части, в теплый период года тепловые деформации фундамента незначительны, и они практически не оказывают влияния на центровку роторов валопровода. Если же монтаж турбоагрегата производится в холодный период года, то разность температур наружного и внутреннего воздуха, а также его непрерывные колебания приводят к изменению положения уже установленных роторов, а значит, и центровок всей линии валопровода.

2. Точность и периодичность выполнения высокоточного геометрического нивелирования. Как показывает практика эксплуатации турбоагрегатов, наибольшие изменения положения линии роторов происходят в первые 5–6 дней после их пуска. Поэтому в период пуска турбоагрегата, а также в первые месяцы его работы необходимо выполнять измерение превышений с СКО, не превышающей 0,08 мм и с периодичностью не реже одного раза в месяц.

3. Продолжительность наблюдений за деформационным состоянием системы «турбоагрегат – фундамент – основание». Этот фактор относится к прогнозированию значений прогиба линии валопровода на последующий период между ремонтами турбоагрегата. За данный период имеется возможность сравнения прогнозного

и фактического значений прогиба линии валопровода, а значит, и с прогнозными и фактическими значениями центровок роторов. Это сравнение покажет правильность выбора прогнозной модели, а также проводимой в данный интервал времени периодичности наблюдений.

4. Правильность выполнения расчета центровок и выдача рекомендаций по установлению их значений в период эксплуатации. Смысл данного фактора заключается в том, что даже при качественно выполненном высокоточном нивелировании могут быть допущены ошибки в расчетах прогнозных значений центровок. В этом случае во время проведения ремонта турбоагрегата на роторах будут установлены ошибочные значения центровок и линия валопровода займет положение, которое не будет соответствовать прогнозируемому (эксплуатационному) значению. Тогда во время пуска турбоагрегата резко возрастает вибрация, что приведет к его экстренной остановке с последующей перецентровкой роторов валопровода.

5. Принятие в полной или частичной мере службой эксплуатации станции рекомендаций по установлению новых значений центровок, выданных геодезической организацией на основе полученных данных из высокоточного геометрического нивелирования. При ремонте турбоагрегата центрирование роторов валопровода может выполняться тремя вариантами:

- с использованием только рекомендаций, выданных заводом-изготовителем;
- с частичным использованием рекомендаций, полученных на основе результатов геодезических измерений и выданных в виде прогнозных значений на ближайшие 2–3 года работы турбоагрегата;
- с использованием в полном объеме рекомендаций, полученных на основе результатов геодезических измерений.

Здесь необходимо указать на следующее важное обстоятельство, которое заключается в том, что служба эксплуатации при центрировании роторов не всегда принимает во внимание рекомендуемые прогнозные значения центровок, которые получены по геодезическим данным. В подавляющем большинстве

случаев это относится к тем электростанциям, на которых должным образом не поставлены геодезические работы по определению деформационного состояния системы «турбоагрегат – фундамент – основание». На тех электростанциях, где на должном уровне поставлены высокоточные геодезические измерения, учет прогнозных значений центровок производится при ремонте каждого турбоагрегата.

Выводы

Результаты высокоточного геометрического нивелирования с рекомендуемой цикличностью за деформационным состоянием системы ТФО в части тепловой составляющей нижней плиты фундамента, его колонн, а также верхней плиты позволяют уточнить заводские значения центровок роторов. При этом построенная по результатам геодезических измерений 3D-модель системы ТФО позволяет получить результирующее значение тепловой деформации, которая будет отражать деформационное состояние верхней плиты турбоагрегата, а затем и всей линии валопровода. Правильный расчет и последующий учет этих деформаций позволяет турбоагрегату работать в нормальном эксплуатационном режиме без значительного, а порой и недопустимого увеличения вибрации роторов. Если не учитывать эти деформации и не изменять значения центровок роторов, установленные заводом-изготовителем, то происходит недопустимая величина раскрытия полумуфты. Вследствие этого повышается вибрация всей этой системы в целом и увеличивается температура подшипников, на которые опираются роторы валопровода. Учет значений изменения центровок роторов при проведении их перецентровки позволяет работать турбоагрегату в нормальном режиме, а также увеличить срок работы турбоагрегата без проведения их ремонтов, т. е. увеличить межремонтный период, что приведет к значительному увеличению выработки электроэнергии. Внеплановый ремонт турбоагрегата мощностью 500 МВт, вызванный изменением значений центровок роторов, занимает 7–8 суток,

а за сутки турбоагрегат вырабатывает 12 000 000 кВт/часов.

Другим достоинством построения в каждом цикле измерений 3D-модели деформации системы ТФО является возможность обнаружения мест некачественной теплоизоляции

паропроводов турбоагрегата, что приводит к неравномерному нагреванию колонн фундамента, а следовательно, к недопустимому раскрытию полумуфт валопровода. Это позволяет исправить места некачественной теплоизоляции колонн фундамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дон Э. А., Осоловский В. П. Расцентровка подшипников турбоагрегатов. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 192 с.
2. Уставич Г. А., Жуков Б. Н., Малиновский А. Л. Исследование деформаций верхнего строения фундаментов турбоагрегатов // Геодезия и картография. – 1978. – № 9. – С. 34–37.
3. Перепечкин А. А. Определение деформаций верхней плиты турбоагрегатах мощностью 800 МВт Славянской ГРЭС. Электрические станции. – 1974. – № 9. – С. 50–52.
4. Уставич Г. А., Рябова Н. М., Сальников В. Г. Технологическая схема геодезических работ при монтаже турбоагрегатов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 54. – С. 45–51. – EDN SXWWCH.
5. Уставич Г. А., Скрипников В. А., Рябова Н. М., Скрипникова М. А. Особенности применения элеваторов высот для определения тепловых деформаций системы «турбоагрегат-фундамент-основание» // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Вып. 4. – С. 110–127. – EDN YRJGAX.
6. Беспалов Ю. И., Мирошниченко С. Г. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13. – EDN YRJGAX.
7. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10. – EDN SNGVFB.
8. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34. – EDN VUAWSX.
9. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35. – EDN QIYSJJ.
10. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е., Никонов А. В., Бабасов С. А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22. – EDN SERMNF.

Об авторах

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

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

Игорь Юрьевич Васютинский – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии.

Андрей Михайлович Астапов – старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 06.06.2024

© Г. А. Уставич, А. А. Шоломицкий, И. Ю. Васютинский, А. М. Астапов, 2025

Improvement of the method of deformation monitoring of the “turbo unit-foundation-base” system

G. A. Ustavich^{1✉}, A. A. Sholomitsky¹, I. Y. Vasyutinsky², A. M. Astapov¹

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

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: ystavich@mail.ru

Abstract. To ensure normal operation of the “turbine unit-foundation-base” (TFO) system, it is necessary to maintain during its operation the alignments of the rotors of the shaft line (rotor line), which were installed at the stage of installation of the flow part of the turbine unit. Violation of the established rotor alignment values leads to an increase in vibration of the foundation when the turbine unit is operating. This vibration is transmitted to the shaft line and, if its values are unacceptable, leads to an emergency stop of the turbine unit. A change in the set values of the rotor alignments occurs due to thermal deformations of the foundation columns, which lead to bending of the upper structure of the foundation, and then to bending of the lower part of the turbine unit cylinders. Since the rotors are located at the bottom of the cylinders, the lines of the rotors also bend. Determination of thermal deformations of foundation columns is carried out by high-precision geometric leveling with short beams under the following operating modes of the turbine unit: “stop-start-work” and “work-stop”. Based on the obtained results of vertical thermal deformations of the foundation columns, changes in the rotor alignment values are calculated. The value of the rotor alignment values established during the repair of the turbine unit depends on the correct interpretation of the obtained results of thermal deformations of the foundation and the subsequent calculation of their parameters. To increase the information content of the obtained values of thermal deformations of foundation columns, the article proposes to create 3D models for each measurement cycle depending on the operating mode of the TFO system. When creating a 3D model for subsequent calculation of alignments, the magnitude of thermal deformations along the axis of the rotor line is taken into account.

Keywords: sedimentary marks, upper structure of the foundation, “turbine unit-foundation-foundation” system, rotor alignments, rotor line, 3D model, thermal deformations

REFERENCES

1. Don, E. A., & Osolovsky, V. P. (1994). *Rastsentrovka podshipnikov turboagregatov [Misalignment of turbine unit bearings.]*. Moscow: Energoatomizdat,. 192 p. [in Russian].
2. Ustavich, G. A., Zhukov B. N., & Malinovsky A. L. (1978). Study of deformations of the upper structure of turbine unit foundations. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. 9, 34 – 37 [in Russian].
3. Perepechkin, A. A. (1974). Determination of deformations of the upper plate of turbine units with a capacity of 800 MW at Slavyanskaya State District Power Plant. *Elektricheskie stantsii [Electrical stations]*. 9, 50–52 [in Russian].
4. Ustavich, G. A., Ryabova, N. M., & Salnikov, V. G. (2014). Technological diagram of geodetic work during the installation of turbine units. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*. S4, 45–51. EDN SXWWCH [in Russian].
5. Ustavich, G. A., Skripnikov, V. A., Ryabova, N. M., & Skripnikova, M. A. (2018). Features of the use of elevators to determine thermal deformations of the “turbine unit-foundation-foundation” system. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGiT]*. 4, 110–127. EDN YRJGAX [in Russian].

6. Bespalov, Yu. I. (2009). Study of the accuracy of measuring elevations with electronic tachometers. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. 3, 12–13. EDN YRJGAX [in Russian].
7. Bespalov, Yu. I., Dyakonov, L. P., Tereshchenko, T. Yu. (2010). Observation of settlements of buildings and structures using trigonometric leveling. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*. 8, 8–10. EDN SNGVFB [in Russian].
8. Nikonov, A. V. (2014). Study of the influence of vertical refraction on the results of trigonometric leveling with short rays using the method from the middle. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*. 1, 28–34. EDN VUAWSX [in Russian].
9. Nikonov, A. V. (2013) Study of the accuracy of trigonometric leveling using the method from the middle using electronic total stations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGiT]* 2 (22), 26–35. EDN QIYSJJ [in Russian].
10. Ustavich, G. A. (2013) Development and improvement of the technology of engineering-geodetic leveling using the trigonometric method *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. 6, 17–22. EDN SERMNF [in Russian].

Author details

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

Andrej A. Sholomitsky – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Igor Y. Vasyutinsky – D. Sc., Professor, Department of Geodesy.

Andrej M. Astapov – Assistant, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 06.06.2024

© G. A. Ustavich, A. A. Sholomitsky, I. Y. Vasyutinsky, A. M. Astapov, 2025

УДК 528.441.21

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-53-59

Методика проведения археологических и изыскательских работ при установлении границ объектов культурного наследия

Т. А. Хлебникова¹, М. В. Мурзинцева^{1✉}, Е. В. Минченко¹, М. Н. Мурзинцев²

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

² Общество с ограниченной ответственностью «Центропроект»,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: murzmv@mail.ru

Аннотация. При проектировании подземных коммуникаций возникает необходимость в обследовании территории на наличие объектов культурного наследия. На ранее необследованных территориях обязательно проведение историко-культурной экспертизы. Целью публикации является разработка методики для проведения археологического исследования и изыскательских работ при установлении границ объектов культурного наследия с последующей постановкой на кадастровый учет и включении объекта в Единый государственный реестр объектов культурного наследия с координатами точек границ местоположения обследуемого участка. Археологическое исследование проводилось в зоне проектирования строительства канализационного коллектора Сысертского городского округа. В результате работ был выявлен памятник археологии XIX – начала XX в., определена его категория и разработаны мероприятия по сохранности объекта при проведении проектно-изыскательских и строительных работ. Описана методика проведения инженерно-геодезических изысканий и даны рекомендации по сокращению сроков проектно-изыскательских работ при проектировании подземной коммуникации.

Ключевые слова: подземные коммуникации, проектно-изыскательские работы, объекты культурного наследия, разведывательно-археологическое исследование

Для цитирования:

Хлебникова Т. А., Мурзинцева М. В., Минченко Е. В., Мурзинцев М. Н. Методика проведения археологических и изыскательских работ при установлении границ объектов культурного наследия // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 53–59. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-53-59

Введение

Российская Федерация богата историческими памятниками, отражающими культуру и ее многовековую историю. Территория страны занимает огромную площадь, а археологические исследования на ней проведены неравномерно. Сохранение культурного наследия – это обязанность каждого гражданина страны, закрепленная в Конституции РФ (Конституция Российской Федерации (ред. от 01.07.2020). Статья 44. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс». – Текст : электронный).

В отношении объектов культурного наследия проектные и производственные

работы требуют получения специальной разрешительной документации. При проведении проектно-изыскательских работ на земельном участке на основании (О государственной охране объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) в Свердловской области (с вступившими в силу изменениями от 28.02.2019 г. № 19-ОЗ) : закон Свердловской области от 21.06.2004 № 12-ОЗ (ред. от 07.06.2023). – Доступ из справ. – правовой системы «Консультант Плюс». – Текст : электронный) возникает необходимость выполнения историко-культурной экспертизы.

Историко-культурная экспертиза позволяет выявить объект культурного наследия

и установить его границы, разработать меры по минимизации негативного воздействия [1], сохранить памятники истории и культуры [2].

Последовательность выполнения разведывательно-археологического исследования

На рис. 1 приведена блок-схема выполнения разведывательно-археологического исследования при проектировании подземных коммуникаций.

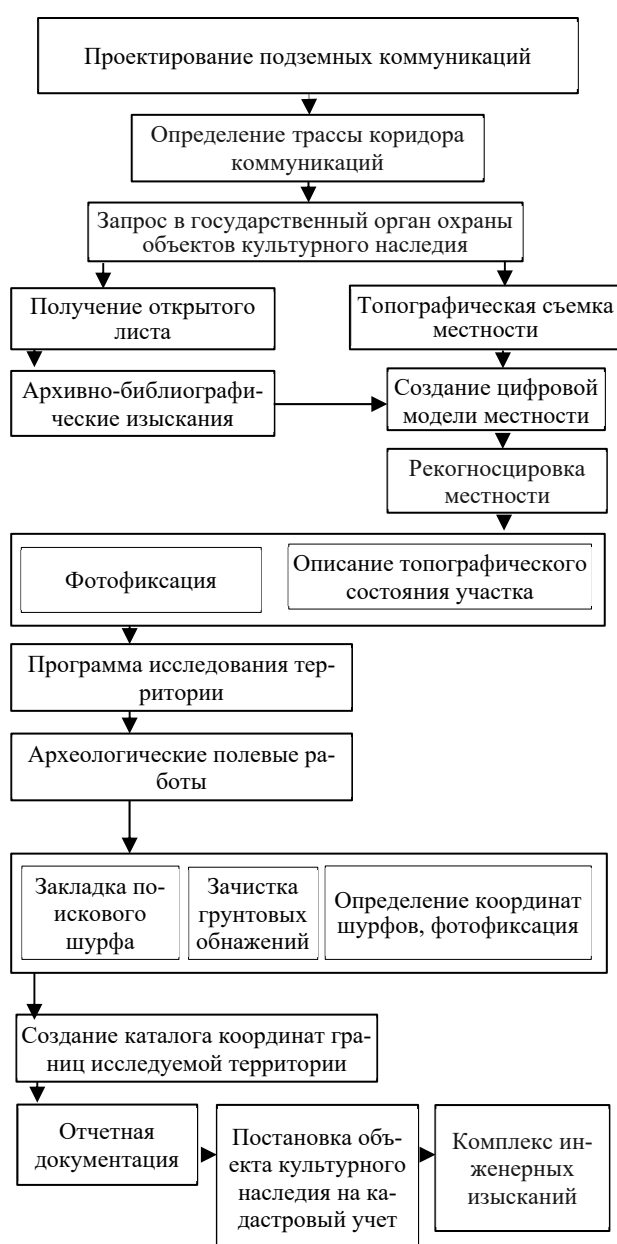


Рис. 1. Блок-схема разведывательно-археологического исследования

Основные технологические процессы проектирования подземных коммуникаций начинаются с определения трассы прохождения коммуникаций на архивно-топографических материалах. После утверждения коридора трассы коммуникаций направляется запрос в государственные органы охраны объектов культурного наследия о наличии выявленных охраняемых объектов в границах работ. На основании ответа принимают решение о необходимости проведения археологических мероприятий.

Перед началом проведения археологических полевых работ в федеральном органе охраны объектов культурного наследия (Министерство культуры РФ) необходимо получить открытый лист. Он дает право приступить к археологическому исследованию. Параллельно с этим целесообразно выполнить топографическую съемку и создать цифровую модель местности (ЦММ), что позволяет значительно сократить общие сроки выполнения археологического исследования и изыскательских работ при проектировании.

Полевые археологические исследования начинают с проведения архивно-библиографических изысканий, анализа исторической картографии территории, сбора архивных материалов о населении территорий в разные временные эпохи.

Далее выполняется рекогносцировка местности, при которой проводится визуальное обследование участка и сопредельных территорий. Осуществляется его фотофиксация и описание топографического состояния участка.

Составляется программа исследования территории, выполняется картографический анализ местности с закладкой будущих мест шурфов и зачисток.

Впоследствии приступают к полевым археологическим работам.

Целью археологического исследования выступает выявление ранее неизвестных историко-культурных объектов наследия на территории, попадающей в зону хозяйственного освоения, определение границ территории этих объектов [3] и классифика-

ция по категории историко-культурного значения (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема категорий объектов культурного наследия

Разведочному археологическому исследованию подверглась территория в зоне проектирования строительства канализационного коллектора Сысертского городского округа.

Исследования проводились в соответствии с требованиями следующих нормативно-правовых и методических документов (Об утверждении Правил выдачи, приостановления и прекращения действия разрешений (открытых листов) на проведение работ по выявлению и изучению объектов археологического наследия : Постановление от 20 февраля 2014 года № 127. – Доступ из справ.-правовой системы «Консорциум кодекс». – Текст : электронный). Методика определялась требованиями (Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации. Статья 45.1. Порядок проведения археологических полевых работ : федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 19.10.2023). – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс». – Текст : электронный).

Полевые работы проводились пешей группой методом сплошного визуального обследования и фотофиксации исследуемого участка (по точкам, указанным в картографических приложениях) с последующей закладкой поискового шурфа размером 1×1 м каждый и выполнением четырех зачисток грунтовых обнажений шириной 1 м каждая (рис. 3).



Рис. 3. Шурф в плане (вид сверху)

Места расположения рекогносцировочных шурфов были определены в непосредственной близости от проектируемого коллектора, а также на наиболее перспективных участках – вблизи исторической застройки. Графическая фиксация проводилась для четырех бортов всех шурфов, показавших наличие археологического материала. Места закладки шурфов фиксировались в системе глобальных координат WGS-84 приемником GPS Garmin Oregon 700t, проводилась фотофиксация места шурфовки до выполнения работ, шурфа в плане, по горизонтам, бортов шурфа, шурфа после рекультивации. Нивелировка глубин шурфов и находок проводилась в Балтийской системе высот, с фиксацией глубин от фактического уровня земли. В приложениях на плане указаны точки, зафиксированные GPS-приемником на участке исследования, в соответствии с нумерацией, приведенной на планах (рис. 4).

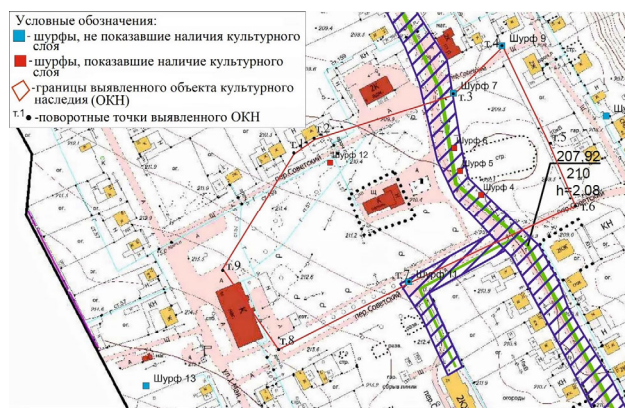


Рис. 4. Нанесенные шурфы и границы участка исследования

При натурных исследованиях осуществлялось описание современного топографического состояния участка обследования, сопровождаемое фотофиксацией.

Подготовка отчетной документации

Подготовка отчетной документации осуществлялась в соответствии с требованиями [4]. В научном отчете предоставлены фотоотчеты, составлены графические схемы, текстовый материал, выводы о выявленных историко-культурных объектах. Картографические приложения создавались на основе выполненной ранее ЦММ и архивной топографической съемки в программном комплексе nanoCad [5].

По итогам проведенного разведочного обследования были обнаружены следы сохранившегося культурного слоя и археологические объекты. В шурфах обнаружены следующие объекты: фрагмент каменного декоративного изделия от объекта малых архитектурных форм, фрагменты керамики (рис. 5), фрагменты каменной кладки на известковом растворе, фрагменты каменной кладки на глиняном растворе, фрагменты надгробий (рис. 6), могильные ямы.



Рис. 5. Фрагмент керамики

На основании данных, полученных в результате закладки шурфов, сделан вывод, что культурный слой начинается на глубине от 20 см, общая мощность культурного слоя составляет 80 см, объект культурного наследия относится к категории регионального значения.



Рис. 6. Фрагмент надгробия

Материалы, собранные при археологическом обследовании, подверглись лабораторной обработке и научному анализу. Все изъятые археологические предметы переданы в государственную часть Музейного фонда Российской Федерации.

В результате археологического обследования земельного участка был выявлен памятник археологии «Культурный слой центральной площади с. Бобровское XIX – начала XX в.» и памятник археологии «Культурный слой д. Вьюхина XIX – начала XX в.».

Выявленный объект включен в Единый государственный реестр объектов культурного наследия с координатами точек границ местоположения обследуемого участка (рис. 7) (ГКИНП-5. Инструкция по составлению технических отчетов о геодезических, астрономических, гравиметрических и топографических работах (ГКИНП-5) : нац. стандарт РФ.– М. : Недра, 1971. – 239 с.). Выполнены кадастровые работы по установлению границ территории культурного объекта. Разработаны мероприятия по сохранности объекта при проведении проектно-изыскательских и строительных работ.

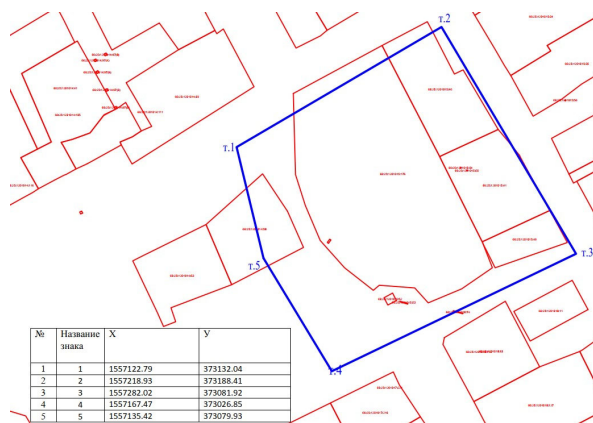


Рис. 7. Каталог координат границ объекта культурного наследия

После проведения историко-культурной экспертизы приступают к инженерным изысканиям.

При выполнении инженерно-геодезических изысканий и составлении отчета согласно требованиям нормативного документа (СП 17.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 : нац. стандарт РФ. – М. : МИНСТРОЙ, 2018. – 182 с.) целесообразно руководствоваться материалами и наработками, полученными при проведении разведочно-археологического исследования.

Методика и технология выполнения инженерно-геодезических изысканий

При выполнении геодезических работ создается планово-высотное обоснование, выполненное в соответствии с основными положениями действующих нормативных документов [6], (ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS : нац. стандарт РФ. – М. : ЦНИИГАиК, 2002 г. – 151 с.).

Топографическая съемка масштаба 1 : 500 производится с применением глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) [7]. Спутниковые наблюдения на пунктах локальной спутниковой геодезической сети (ЛСГС) осуществляются двухчастотными ГЛОНАСС/GPS-приемниками [8]. Наблюдения выполняются с контролем точности в режиме реального времени (RTK). Измерения регистрируются во внутренней памяти контроллера.

На каждой станции составляется абрис, в котором показана ситуация и пикеты. Выполняется съемка элементов ситуации, контуров местности, элементов рельефа, растительного покрова. Одновременно с топографической съемкой участка производится съемка, обследование и нивелирование подземных и надземных коммуникаций.

Методика и технология съемки подземных коммуникаций заключается:

- в сборе и анализе имеющихся материалов о подземных сооружениях (исполнительных

чертежей, инженерно-топографических и кадастровых планов, материалов исполнительной и контрольной геодезических съемок и др.) [9];

- рекогносцировочном обследовании (отыскание на местности сооружений, определение назначения);

- составлении плана, схемы сооружений с их техническими характеристиками.

План подземных коммуникаций составляется в масштабе 1 : 500 и совмещается с топографическим. Полнота отображения и правильность нанесения подземных коммуникаций сверяется с эксплуатирующими организациями.

Камеральное трассирование производится путем разбивки пикетажа мест соединений и подключений, углов поворота, мест пересечений с другими подземными коммуникациями, а также прямолинейных участков не реже чем через 100 м по планам топографической съемки масштаба 1 : 500. Места переходов, начальные, конечные и поворотные точки согласовываются с заказчиком.

В процессе камеральных работ составляются топографические планы масштаба 1 : 500, отчет по инженерно-геодезическим изысканиям. Топографические планы вычерчиваются в соответствии с [10].

Срок выполнения инженерных изысканий составил 76 рабочих дней, а археологических мероприятий от момента направления запроса в государственные органы охраны объектов культурного наследия до получения открытого листа – 42 рабочих дня. Параллельное выполнение топографической съемки с созданием ЦММ и получение открытого информационного листа на проведение археологических работ позволило сократить в 1,5 раза общий срок выполнения археологического исследования и изыскательских работ.

Заключение

Сохранение культурной и исторической ценности территорий – важная задача. Проведение историко-культурной экспертизы при проектировании подземных коммуникаций является одним из этапов ее решения. Историко-культурная экспертиза позволяет выявить памятники археологии и разработать мероприятия по сохранности объектов при про-

ведении проектно-изыскательских и строительных работ, а также осуществлении другой хозяйственной деятельности.

В рамках исследования представлены технология, последовательность, ключевые аспекты археологических и геодезических работ при выявлении объекта культурного наследия.

Сделан вывод о целесообразности параллельного выполнения топографической съемки и получения открытого информационного листа на проведение археологических работ. Одновременное выполнение этих процессов позволяет сократить общие сроки проектно-изыскательских работ приблизительно на 30 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tarapon M. Yu., Kozhukhina O. N. On the possibility of application of cultural heritage objects to modern use // The world of science without borders. – 2020. – P. 231–233.
2. Тодика М. В., Деткина Д. А., Савченко А. П. Проблемы и перспективы сохранения и использования историко-культурного наследия в цифровой экономике // Вестник Академии знаний. – 2022. – Т. 6, № 53. – С. 267–270.
3. Крупочкин Е. П., Суханов С. И., Воробьев Д. А. Съемка археологических памятников с использованием беспилотных летательных аппаратов на примере Горного Алтая // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 56–64.
4. Габидулин В. М. Основы работы в nanoCAD. – М. : ДМК-Пресс, 2018. – С. 176.
5. Афонин К. Ф. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 112 с.
6. Leick A. GPS Satellite Surveying. – New York : A Willey-Interscience Publication, 2004. – 435 p.
7. Косарев Н. С., Щербаков А. С. Статистический анализ точности определения положений спутников систем ГЛОНАСС и GPS // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 9–18.
8. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 : нац. стандарт РФ. – М. : Недра, 1989. – 416 с.
9. Гатина Н. В., Козина М. В., Соина К. В., Аврунев Е. И., Пьянков С. В. Проблемы информационного обеспечения инженерных коммуникаций в условиях цифровизации сферы земельно-имущественных градостроительных отношений // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 117–128.
10. Большаков В. Д., Ключин Е. Б., Васютинский Ю. И. Геодезия. Изыскания и проектирование инженерных сооружений. – М. : Недра, 1991. – С. 68–94.

Об авторах

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

Маргарита Владимировна Мурзинцева – ассистент кафедры картографии и геоинформатики.

Елена Валерьевна Минченко – зав. лабораторией кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Михаил Николаевич Мурзинцев – главный архитектор.

Получено 26.03.2024

© Т. А. Хлебникова, М. В. Мурзинцева, Е. В. Минченко, М. Н. Мурзинцев, 2025

Methodology of design and survey works in establishing the boundaries of cultural heritage objects

T. A. Khlebnikova¹, M. V. Murzintseva^{1✉}, E. V. Minchenko¹, M. N. Murzintsev²

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

² Limited Liability Company «Centroproekt», Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: murzmv@mail.ru

Abstract. When designing underground utilities there is a need to survey the territory for the presence of cultural heritage objects. In previously unexplored areas, it is obligatory to carry out historical and cultural expertise. The purpose of the publication is the development for methodology of archaeological investigation and survey work in establishing the boundaries of cultural heritage objects with the subsequent placement on cadastral registration and inclusion of the object in the Unified State Register of Cultural Heritage with the coordinates points boundary location surveyed site. The archaeological survey was conducted in the area design construction the sewage collector the Sysert Urban District. As a result of the works the archaeological monument of XIX – beginning of XX centuries was revealed, its category was determined and measures for the object preservation during design and survey and construction works were developed. The methodology of engineering-geodetic surveys is described and recommendations were given to shorten the terms of design and survey works terms for underground communication design are given.

Keywords: underground communications, design and survey work, cultural heritage sites, reconnaissance and archaeological research

REFERENCES

1. Tarapon M. Yu., Kozhukhina O. N. (2020). On the possibility of application of cultural heritage objects to modern use *The world of science without borders*. 231–233.
2. Todika M. V., Detkina D. A., Savchenko A. P. (2022). Problems and prospects of preservation and use of historical and cultural heritage in the digital economy *Vestnik Akademii znaniy [Vestnik of the Academy of Knowledge]* Vol. 6, No. 53, 267–270 [in Russian].
3. Krupochkin E. P., Sukhanov S. I., Vorobyov D. A. (2021). Survey of Archaeological Sites of Gorny Altay Using UAV. *Vestnik SGSUiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2). – P. 56–64 [in Russian].
4. Gabidulin V. M. (2018). Fundamentals of work in nanoCAD *Moscow : DMK-Press*, P. 176 [in Russian].
5. Afonin K. F. (2020). Higher geodesy. Coordinate systems and transformations between them *Novosibirsk : SGUGiT*. 112 p. [in Russian].
6. Leick A. GPS Satellite Surveying. *New York : A Willey-Interscience Publication*, 2004. – 435 p. [in Russian].
7. Kosarev N. S., Shcherbakov A. S. (2014) Statistical analysis of GLONASS and GPS satellite positioning accuracy. *Vestnik SGSUiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 9–18 [in Russian].
8. Symbols for topographic plans of 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 scales : national standard of the Russian Federation. (1989) *M., Nedra*, 416 p. 13. [in Russian].
9. Gatina N. V., Kozina M. V., Soina K. V., Avrunov E. I., Pyankov S. V. (2021). Problems of Information Support of Engineering Communications in the Conditions of Digitalization of the Land-Property Relations Sphere. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26 (6), 117 – 128 [in Russian].
10. Bolshakov V. D., Klyushin E. B., Klyushin Yu., Vasyutinsky Yu. I. (1991). Geodesy. Surveying and design of engineering structures *M.: Nedra*. – P. 68–94 [in Russian].

Author details

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

Margarita V. Murzintseva – Assistant at the Department of Cartography and Geoinformatics.

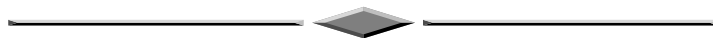
Elena V. Minchenko – Head of the Laboratory of the Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Mikhail N. Murzintsev – Chief Architect.

Received 26.03.2024

© T. A. Khlebnikova, M. V. Murzintseva, E. V. Minchenko, M. N. Murzintsev, 2025

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.8 (470.620)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-60-68

Исследования строения и динамики косы Камышеватской (Азовское море) по материалам дистанционного зондирования

В. В. Крыленко¹✉, М. В. Крыленко¹

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Аннотация. Мониторинг динамики береговых геосистем, в том числе изменений рельефа и положения береговой линии, является необходимой составляющей комплексного управления береговой зоной. Цель исследования – охарактеризовать строение косы Камышеватской (Азовское море), определить величины современной динамики береговой линии. Анализ строения и динамики косы Камышеватской выполнен с использованием картографических и литературных источников, данных дистанционного зондирования (в том числе материалов аэрофотосъемки с БПЛА), результатов натурных исследований. Основным методом изучения динамики береговой линии стал анализ исторических карт, архивных и современных космических снимков. Установлено, что коса Камышеватская состоит из надводной и подводной части. Динамика конфигурации и рельефа надводной части отличается высокой пространственно-временной изменчивостью, обусловленной многообразием действующих факторов. Конфигурация и структура рельефа аккумулятивной формы указывают на наличие в прошлом неоднократных резких изменений гидролитодинамических условий. Анализ имеющихся материалов показал, что подобные явления имеют место и в настоящее время. Полученная информация о современной динамике косы Камышеватской должна быть учтена при прогнозировании опасных природных явлений и планировании хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: Азовское море, аккумулятивная форма, дистанционные методы, динамика берега, мониторинг

Для цитирования:

Крыленко В. В., Крыленко М. В. Исследования строения и динамики косы Камышеватской (Азовское море) по материалам дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 60–68. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-60-68

Введение

В настоящее время морские берега испытывают повышенную нагрузку, обусловленную климатическими изменениями и антропогенным воздействием. К опасным природным процессам, развивающимся в береговой зоне Азовского моря, относятся оползневые и абразионные разрушения коренных берегов, размывы аккумулятивных тел [1–3]. Повышение уровня

моря, рост повторяемости и высоты штормовых нагонов, сокращение твердого стока рек, изъятие наносов, строительство гидротехнических сооружений привели к тому, что отступление берегов интенсифицируется, в том числе в пределах крупных аккумулятивных береговых форм.

Крупные аккумулятивные береговые формы являются результатом динамического равновесия между различными природными и антропогенными процессами. Обилие дей-

ствующих факторов обуславливает высокую изменчивость данных природных объектов [2]. Исследование строения и динамики крупных аккумулятивных форм позволяет выявить механизмы их образования и эволюции, оценить состав и значимость действующих факторов, предсказать возможные реакции на изменение внешних условий. Прогноз динамики крупных береговых аккумулятивных форм, в первую очередь изменений положения береговой линии, невозможен без достоверной информации о предшествующей эволюции берега.

Коса Камышеватская – крупная морская береговая аккумулятивная форма, расположенная в восточной части Азовского моря (рис. 1). Коса примыкает с юга к Ейскому полуострову, где конфигурация линии берега и наличие однонаправленного вдольберегового потока наносов способствуют образованию аккумулятивной формы свободного типа. Коса Камышеватская имеет статус природного парка регионального значения. Основными видами хозяйственного использования являются неорганизованная рекреация, выпас скота и рыболовство. Ранее в пределах косы производилась добыча ракушки, незаконные изъятия ракушки отмечаются и в настоящее время.

Цель представленного исследования – на основе анализа натурных данных, материалов дистанционного зондирования, картографических и литературных источников изучить строение косы Камышеватской, выявить направление и величины современной динамики ее береговой линии.

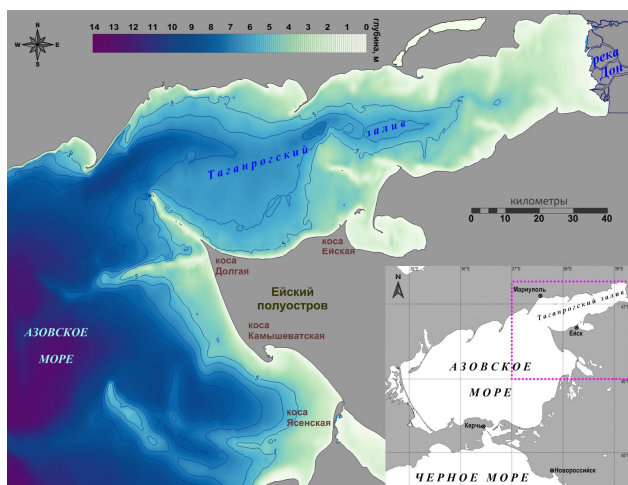


Рис. 1. Географическое положение косы Камышеватской (подводный рельеф показан на основе данных SonarChart™, <https://webapp.navionics.com>)

Материалы и методы

Аккумулятивные берега постоянно изменяются, и для выявления тенденций их развития следует анализировать данные за максимально возможный срок. Анализ динамики косы Камышеватской основан на изучении исторических и современных географических карт, данных дистанционного зондирования (архивных и современных космических снимков).

До середины XX в. основным источником данных о положении береговой линии служили географические карты. Для берегов Азовского моря набор карт, достоверно отображающих конфигурацию аккумулятивных форм на определенный момент времени, невелик. К сожалению, была широко распространена практика издания карт (в том числе навигационных) без проведения новой актуальной съемки реального положения берегов, в качестве картографической основы в таких случаях использовались предшествующие карты. Кроме того, наносимая на карты информация по объективным и субъективным причинам зачастую искажалась. Поэтому большая часть имеющихся исторических карт является источником информации только о наличии или взаимном расположении тех или иных объектов. Некоторые карты позволяют получить относительно достоверные количественные данные. Для таких карт с использованием ПО Global Mapper была проведена геометрическая коррекция. В качестве базовых снимков, к которым производилась привязка, использовались космические снимки с известными параметрами. В качестве контрольных точек были использованы сохранившиеся до настоящего времени здания, линейные объекты [4]. Привязки по формам рельефа не было, так как за прошедшее время они могли трансформироваться.

Материалы космической съемки являются ценным источником информации о динамике быстро изменяющихся природных объектов, поскольку снимок является фактографической моделью местности в конкретный момент времени [5]. На сегодняшний день спутниковые снимки разнообразны по разрешению, спектральному диапазону, технологии получения и другим свойствам. Нами были

использованы космические снимки 1960–1980 гг. [6], а также снимки с известной датой съемки, размещенные на открытых картографических сервисах. В большинстве случаев с использованием ПО Scanex Image Processor делалась геометрическая корректировка снимков, поскольку точные параметры съемочной аппаратуры неизвестны. Геометрическая трансформация проводилась по полиномиальной модели третьей степени. Оцениваемая точность плановой привязки космических снимков лежит в пределах 5–10 м, этого достаточно для оценки величин долгопериодной динамики морского берега [7]. После привязки карт, снимков и векторных данных снималась количественная информация. Дальнейшая обработка и визуализация данных осуществлялась в ПО Microsoft Excel и Golden Software.

Для изучения геосистемы косы Камышеватской, включающей разномасштабные и различные по своей природе компоненты, использовался комплекс методов исследования. С учетом большой площади и наличия труднодоступных участков приоритет отдавался дистанционным методам. Анализ строения косы выполнен с использованием данных дистанционного зондирования (в том числе материалов аэрофотосъемки с БПЛА), результатов натурных и камеральных исследований. Для изучения ландшафтно-морфологической структуры объекта и оценки ее изменчивости использовались серии снимков со спутников Sentinel-2 [7, 8].

Результаты и обсуждение

Первое графическое изображение косы имеется на карте Питера Бергмана 1702 г. (рис. 2, а) [9]. На «Карте Кубанской степи или земли Войска Донского и Черноморского», созданной в 1773–1774 гг. [9] впервые передана характерная конфигурация косы, в пределах аккумулятивного тела обозначены лагуны (рис. 2, б). Первые гидрографические сведения о косе Камышеватской приведены в Лоции И. М. Будищева (1808 г.) [10], иллюстрированной картой 1803 г. (рис. 2, в). В Лоции 1854 г. А. М. Сухомлина [11], иллюстрированной картой 1833 г. Е. П. Манганари (рис. 2, г) уточнены контуры и размеры косы:

в сравнении с 1808 г. ее длина увеличилась. На карте Черномории 1857 г. [12] (рис. 2, д) детально отражено строение косы, в том числе характерный дистальный вал, хорошо различимый на современных топографических картах (рис. 2, е), что позволило оценить масштаб произошедших с того времени изменений.

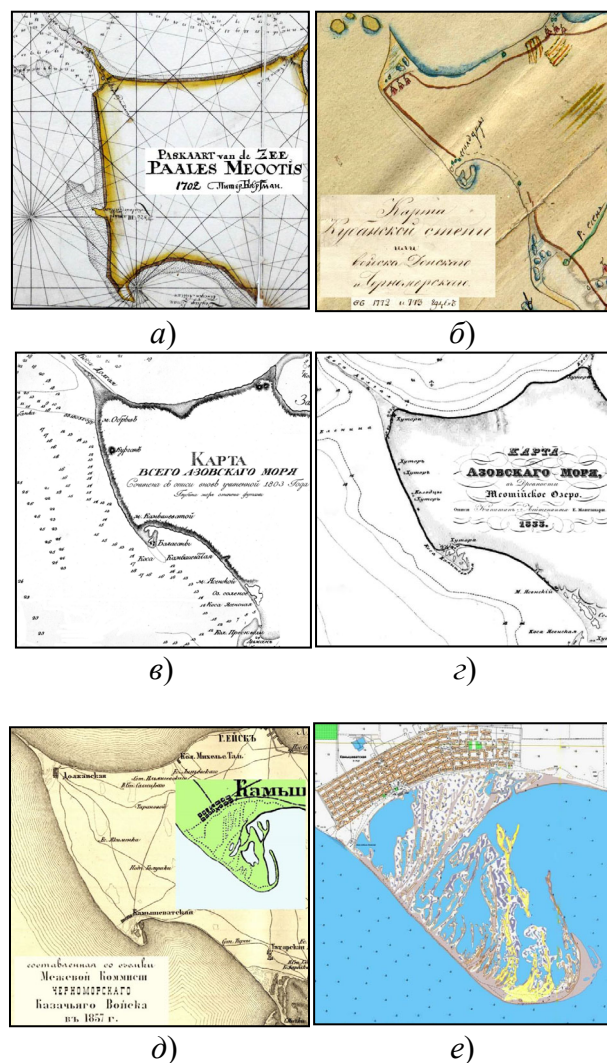


Рис. 2. Коса Камышеватская: а) карта П. Бергмана (1702 г.); б) «Карта Кубанской степи...» (1773–1774 гг.); в) Гидрографическая карта 1803 г.; г) карта Е. П. Манганари (1833 г.); д) карта Черномории (1857 г.); е) современная топографическая карта

Современная длина косы Камышеватской около 7 км, ширина в корневой части 4 км. Коса примыкает к коренным берегам абразионно-обвального типа, сложенным лессовид-

ными суглинками, местами подстилаемыми скифскими глинами [13]. Высота берегового обрыва к северо-западу от косы составляет 7–11 м, к юго-востоку – 8–18 м. Подводный склон отмельный, с уклонами в пределах 0,001–0,1 м. Глубже 0,5 м изобаты появляется мало-мощный (0,1–0,2 м) слой мелкоалевритовых и глинистых илов.

Коса Камышеватская – сравнительно молодое (большая часть ее отложений имеет возраст не более 1 500 лет) аккумулятивное тело, включающее в себя надводную и подводную части. Ракуша (преимущественно створки отмерших двустворчатых моллюсков *Cerastoderma glaucum*) составляет 80–95 % объема слагающих надводную часть косы наносов. Минеральная часть отложений представлена кварцевым песком, гравием и небольшим количеством гальки [14, 15]. Мощность вдольберегового потока наносов составляет 12–13 тыс. м³/год [13]. Динамика аккумулятивной формы определяется сочетанием двух основных факторов: объемом поступающих наносов и интенсивностью гидродинамических процессов. В некоторые годы на развитие косы оказывает влияние дрейфующий лед.

Коса Камышеватская состоит из прикорневой реликтовой аккумулятивной террасы, активного морского берегового вала, активной дистальной нарастающей части, а также сложной системы вытянутых полуостровов, островов и отмелей на месте отмерших дистальных частей разного возраста. Полузамкнутая мелководная акватория к северу от косы и отчлененные от моря лагуны постепенно заиливаются и зарастают водной растительностью. Внутренний рельеф косы представлен реликтовыми береговыми валами, образующими сложную систему более или менее обособленных от моря лагун или заболоченных понижений.

Прикорневая северо-западная часть косы является преимущественно зоной транзита поступающих с северо-запада наносов, но строение аккумулятивного тела на этом участке указывает на наличие поперечного движения наносов. На этом участке основой рельефа является мощный, ориентированный параллельно морскому урезу береговой вал (рис. 3), поперечный разрез которого близок к строению пляжа полного профиля. При преоблада-

нии волн западного и северо-западного направления на этих участках наблюдается вдольбереговое движение наносов на юго-восток, в сторону дистали. Однако при наиболее сильных штормах юго-западного направления, сопровождающихся нагоном, наблюдается отступление морского уреза и поперечное перемещение наносов в сторону лагуны с образованием эрозионных ложбин и соответствующих им конусов на тыльной стороне берегового вала (см. рис. 3).

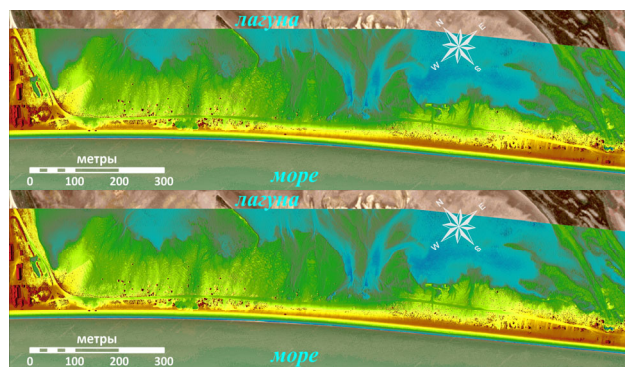


Рис. 3. Прикорневая часть косы Камышеватской: сверху – космический снимок 23.06.2020, внизу – цифровая модель на 14.05.2021 (по съемке с БПЛА)

Многолетняя динамика прикорневой части определяется скоростью размыва коренного берега, зависящей от интенсивности и направления волнового воздействия. В работах [1, 16, 17] показано, что периоды 1980–2002 и 2006–2010 гг. характеризуются снижением темпов абразии, 2003–2006 и 2010–2014 гг. отличаются ее интенсификацией. По нашим данным, к северо-западу от косы Камышеватской коренной берег за 55 лет отступил на 145 м (средняя скорость 2,6 м/год), к востоку от косы, в Ясенском заливе – на 80 м (1,45 м/год). Следует отметить, что средние скорости не отражают реальную динамику развития берега. Активное разрушение берега происходит преимущественно во время сильных штормов. К примеру, во время штормов 1992 и 2007, 2013–2014 гг. [1, 16] абразионные берега отступали на 3–6 м, на отдельных участках отмечались еще большие величины. При этом в межштормовой период берег может быть стабилен несколько лет. По мере аб-

разнонаправленного разрушения вдоль коренных берегов образовались широкие (до 400 м) полосы глинистого бенча, в пределах которого из алевроитов и мелких песков формируются маломощные подводные валы с быстро меняющейся конфигурацией (рис. 4).



Рис. 4. Подводные формы рельефа вблизи косы Камышеватской

Рельеф дистальной части представлен системой береговых валов и понижений, ориентированных вблизи моря с юго-запада на северо-восток, а глубже в залив – с юга на север. Абсолютные отметки гряд 0,5–1,5 м, ложбин от –0,2 до 0,5 м. Образующиеся на этой части косы аккумулятивные формы имеют сложную и быстро изменяющуюся конфигурацию, что объясняется мелководностью акватории, в которой под действием волн и течений по устойчивым к размыву подстилающим породам перераспределяется сравнительно небольшой объем наносов (ракушка). В течение года здесь наблюдается образование, трансформация или размыв разнообразных по форме и размерам (рис. 5) аккумулятивных выступов.

Как показывает математическое моделирование на основе данных глобального атмосферного реанализа ERA-Interim [18], к востоку от Камышеватской косы часто образуется течение, направленное из Ясенского залива (с северо-востока) и огибающее южную оконечность косы. Оно формирует подводную аккумулятивную форму, ориентированную противоположно надводной косе (см. рис. 4). Поскольку в Ясенском заливе отсутствуют источники пляжеобразующих наносов, подводная коса сложена мелкими фракциями, выносимыми течением с абрадируемых коренных берегов. Подводная коса частично обнажается при сильных сгонах (см. рис. 4). При взаимодействии упомянутого

выше течения с направленным с северо-запада вдольбереговым потоком наносов у южного края Камышеватской косы образуются формы рельефа сложной конфигурации, с чередованием зон размыва и аккумуляции (см. рис. 5).

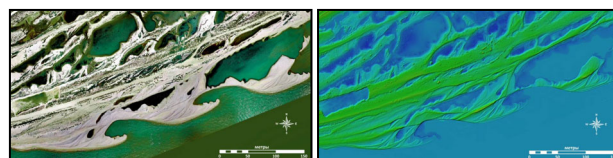


Рис. 5. Надводные береговые формы рельефа дистальной части косы Камышеватской: слева – ортофотоплан, справа – цифровая модель

Не менее сложна многолетняя динамика дистальной части. Наиболее характерны изменения протяженности и ширины активной дистальной части, происходящие в результате флуктуаций объема и направления вдольберегового перемещения наносов. Изменения интенсивности или направлений преобладающих в тот или иной период времени волн или течений приводят к изменению скорости поступления ракушки со дна моря к берегу или же ее перемещение вдоль берега. В ходе сильных штормов отмечаются эпизоды сокращения длины или образование разрывов дистальной оконечности.

Наиболее интригующим является периодическое резкое изменение направления роста дистали. В 2015 г. начала формироваться новая дистальная оконечность, длина которой к настоящему времени превысила 2 км (рис. 6). Моменты, когда направление роста дистали резко менялось, подобно показанному на рис. 6, в истории косы Камышеватской отмечались неоднократно (рис. 7). Предыдущие генерации дистальных валов заметны в структуре косы в виде протяженных валов, полуостровов и островов в центральной и северной частях косы. Характерный раздвоенный дистальный вал, различимый на карте Черномории 1857 г. (см. рис. 2, д), позволил оценить периодичность образования новых дистальных оконечностей в последние два столетия (рис. 8).

На рис. 8 заметно, что развитие дистали косы Камышеватской носит циклический характер, указывающий на периодическое изменение одного или нескольких действующих

факторов. Также следует отметить, что частота повторения указанных циклов возрастает.

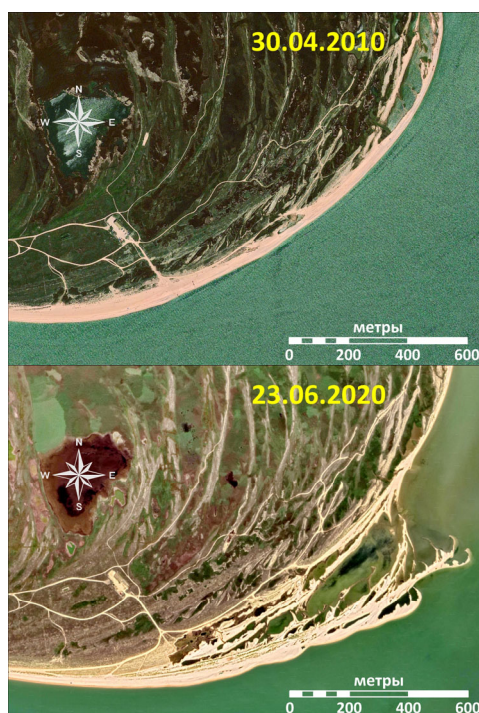


Рис. 6. Изменение направления роста дистальной части косы Камышеватской

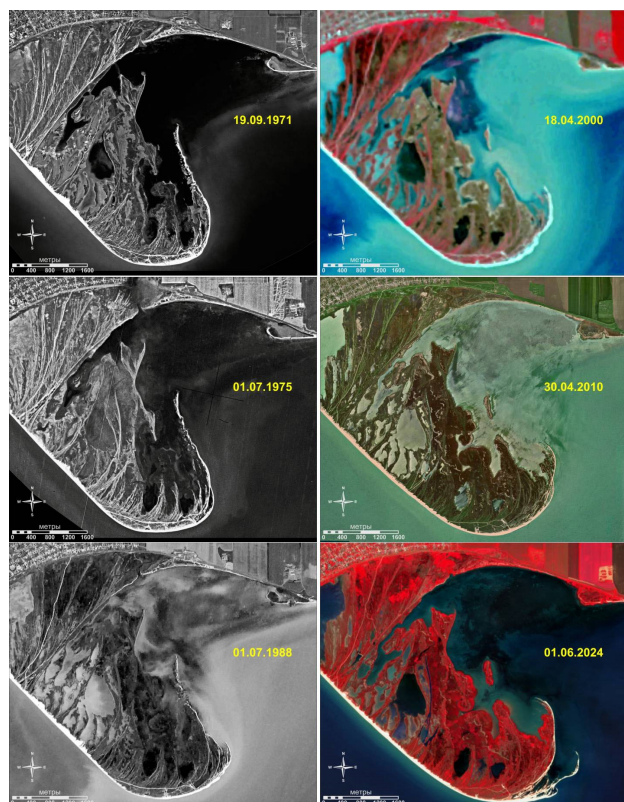


Рис. 7. Динамика дистальной части косы Камышеватской в 1971–2024 гг.



Рис. 8. Динамика дистальной части косы Камышеватской с 1857 г.

Заключение

Конфигурация косы Камышеватской и коренных абразионных берегов, структура рельефа аккумулятивной формы, состав отложений указывают на наличие в прошлом природных событий, приводивших к кардиналь-

ной смене гидролитодинамических условий ее формирования. Анализ исторических карт, архивных и современных космических снимков показал, что подобные явления имеют место и в настоящее время, их частота увеличивается. Данное обстоятельство необходимо учитывать при планировании хозяйственной деятельности, прогнозировании опасных

природных явлений и разработке природоохранных и берегоукрепительных мероприятий.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № FMWE-2024-0027.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матишов Г. Г., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 47, № 4. – С. 483–486. – DOI 10.7868/S086956521634020X. – EDN XGWGOX.
2. Косьян Р. Д., Крыленко В. В., Крыленко М. В. Разработка прогноза развития аккумулятивных берегов бесприливных морей России // Вестник Краснодарского регионального отделения РГО. – 2020. – Вып. 10. – С. 104–109. – EDN WKTIVB.
3. Хорошев О. А., Меринова Ю., Хаванский А. Д., Латун В. В. Оценка социально-экономического ущерба проявления абразионных и оползневых процессов в береговой зоне Азовского моря // Труды Южного научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 8. – С. 300–311. – DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-300-311. – EDN CODGCS.
4. Крыленко В. В., Крыленко М. В., Алейников А. А. Возможности изучения рельефа и динамики береговой линии крупных морских аккумулятивных форм по данным дистанционного зондирования на примере косы Долгая // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 58–70. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-58-70. – EDN FIDMQL.
5. Бямба О., Касьянова Е. Л. Использование ДЗЗ и ГИС при создании географических основ для тематических карт // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 119–125. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. – EDN BRFBYM.
6. U. S. Department of the Interior U. S. Geological Survey (USGS) [Электронный ресурс]. – URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 01.02.2024).
7. Sentinel Online technical website [Электронный ресурс]. – URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2/msi/level-1c/product-formatting> (дата обращения: 12.12.2023).
8. MultiSpectral Instrument (MSI) [Электронный ресурс]. – URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload> (дата обращения: 12.12.2023).
9. Папакома (Карты) [Электронный ресурс]. – URL: <http://papacoma.narod.ru/maps-index.htm> (дата обращения: 13.11.2023).
10. Будищев И. М. Лоция и морской путеводитель по Азовскому морю. Санкт-Петербург. – 1808. – 78 с.
11. Сухомлин А. М. Лоция Азовского моря и Керченского пролива. – Николаев : Черноморское гидрографическое депо, 1854. – 96 с.
12. Etomesto (Карты) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.etomesto.com/map-kuban_1857-1858/ (дата обращения: 12.12.2023).
13. Мамыкина В. А., Хрусталева Ю. П. Береговая зона Азовского моря. – Ростов н/Д : РГУ, 1980. – 176 с.
14. Паспорт памятника природы регионального значения «Коса Камышеватская», 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://admkrasnodar.ru/upload/iblock/ff8/m0pz3oqd06yikvsoorn1trdaxi7xw4e.pdf> (дата обращения: 15.05.2024).
15. Kosyan R. D., Krylenko M. V. Modern state and dynamics of the Sea of Azov coasts // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2019. – V. 224. – P. 314–323. – DOI 10.1016/j.ecss.2019.05.008/. – EDN ALPBKS.
16. Скрипка Г. И., Косолапов А. Е., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В. Мониторинг опасных экзогенных процессов в береговой зоне Азовского моря с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. – 2017. – С. 531–536. – EDN ZRZJJT.

17. Беспалова Л. А., Цыганкова А. Е. Абразионные процессы и их последствия // Труды Южного научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 8. – С. 97–110. – DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-97-110. – EDN VZXXIV.

18. Divinsky B., Kosyan R. Conditions of sand spits formation at the Northern Sea of Azov coast // Regional Studies in Marine Science. – 2022. – V. 52. – P. 102373. – DOI 10.1016/j.rsma.2022.102373. – EDN WZHHJH.

Об авторах

Вячеслав Владимирович Крыленко – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии.

Марина Владимировна Крыленко – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории литодинамики и геологии.

Получено 24.09.2024

© В. В. Крыленко, М. В. Крыленко, 2025

Research of the structure and dynamics of the Kamyshevatskaya spit (Sea of Azov) based on remote sensing data

V. V. Krylenko[✉], M. V. Krylenko

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russian Federation

e-mail: krylenko.slava@gmail.com

Abstract. Monitoring the dynamics of coastal geosystems, including changes in the position of the coastline and relief is a necessary component of integrated coastal zone management. The aim of the study is to characterize the structure of the Kamyshevatskaya Spit (Sea of Azov) and determine the magnitude of modern dynamics of the coastline. The study was carried out on the basis of literary sources, remote sensing data (including aerial photography materials from UAV) and the results of field studies. The main method for studying the coastline dynamics has become the analysis of historical maps, archival and modern space images. It has been established that the dynamics of the configuration and relief of the above-water part are characterized by high spatio-temporal variability, caused by a variety of acting factors. The configuration and structure of the accumulative relief indicate the presence of repeated abrupt changes in hydro-lithodynamic conditions in the past. Analysis of maps and space images has shown that similar phenomena are occurring at present. The information obtained about the current dynamics of the Kamyshevatskaya spit should be taken into account when forecasting dangerous natural phenomena and planning economic activities.

Keywords: Sea of Azov, accumulative form, remote methods, coastal dynamics, monitoring

REFERENCE

1. Matishov, G. G., Беспалова, Л. А., Ивлиева, О. В. (2016). The Sea of Azov: modern abrasion processes and problems of coastal protection. *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 471(4), 483–486 DOI 10.7868/S086956521634020X EDN XGWGOX [in Russian].

2. Kosyan, R. D., Krylenko, V. V., Krylenko, M. V. (2020). Development of a forecast for the development of accumulative shores of Russian tidal seas. *Vestnik Krasnodarskogo regional'nogo otdeleniya RGO [Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society]*, 10, 104–109 EDN WKTIVB [in Russian].

3. Horoshev, O. A., Merinova, Yu. Havanskij A. D., Latun, V. V. (2020). Assessment of the socio-economic impact of abrasion and landslide processes in the coastal zone of the Azov Sea. *Trudy Yuzhnogo*

nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences], 8, 300–311 DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-300-311. EDN CODGCS [in Russian].

4. Krylenko, V. V., Krylenko, M. V., Alejnikov, A. A. (2021). Possibilities of studying the relief and dynamics of the coastline of large marine accumulative forms using remote sensing data using the example of the Dolgaya Spit. *Vestnik SGUGiT [Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)]*, 3, 58–70 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-3-58-70. EDN FIDMQL [in Russian].

5. Byamba, O., Kas'yanova, E. L. (2021). Use of Remote Sensing and GIS in the construction of geographic bases for thematic maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)]*, 26(5), 119–125 DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. EDN BRFBYM [in Russian].

6. U. S. Department of the Interior U. S. Geological Survey (USGS) Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov> (date of the application: 01.02.2024).

7. Sentinel Online technical website Retrieved from <http://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting> (date of the application: 12.12.2023).

8. MultiSpectral Instrument (MSI) Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload> (date of the application: 12.12.2023).

9. Papakoma (Maps) Retrieved from <http://papakoma.narod.ru/maps-index.htm> (date of the application: 13.11.2023).

10. Budishchev I. M. (1808) *Locija i morskoy putevoditel po Azovskomu morju [Sailing directions and sea guide to the Sea of Azov]*. St. Petersburg, 78 p. [in Russian].

11. Suhomlin A. M. (1854). *Locija Azovskogo morja i Kerchenskogo proliva [Sailing Directions of the Sea of Azov and the Kerch Strait]*. Mykolaiv: Chernomorskoe gidrograficheskoe depo [Black Sea Hydrographic Depot], 96 p. [in Russian].

12. Etomesto (Maps) Retrieved from http://www.etomesto.com/map-kuban_1857-1858/ (date of the application: 12.12.2023).

13. Mamykina V. A., Hrustalev Ju. P. (1980). *Beregovaja zona Azovskogo morja [Coastal zone of the Azov Sea]*. Rostov-on-Don: ID RFU [in Russian]. DOI 10.31857/S0030157420010165.

14. Passport of the natural monument of regional significance "Kamyshevatskaya Spit", 2023. Retrieved from <https://admkrain.krasnodar.ru/upload/iblock/ff8/m0pz3oqd06yikvsoorn1trdaxi7xw4e.pdf> (date of application: 05/15/2024).

15. Kosyan R. D., Krylenko M. V. (2019). Modern state and dynamics of the Sea of Azov coasts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 314–323. DOI 10.1016/j.ecss.2019.05.008 EDN ALPBKS.

16. Skripka G. I., Kosolapov A. E., Bespalova L. A., Ivlieva O. V. (2017). Monitoring of dangerous exogenous processes in the coastal zone of the Azov Sea using remote sensing data and GIS technologies. *Vodnye resursy: novye vyzovy i puti reshenija [Water resources: new challenges and solutions]*, pp. 531–536 EDN ZRZJJT [in Russian].

17. Bespalova L. A., Cygankova A. E. (2020). Abrasion processes and their consequences. *Trudy Juzhnogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]*, 8, 97–110 DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-97-110. EDN VZXXIV [in Russian].

18. Divinsky B. V., Kosyan R. D. (2022). Conditions of sand spits formation at the Northern Sea of Azov coast. *Regional Studies in Marine Science*, 52, 102373. DOI 10.1016/j.rsma.2022.102373 EDN WZHHJH.

Author details

Viacheslav V. Krylenko – Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Ecology.

Marina V. Krylenko – Ph. D., Leading Researcher of the Laboratory of Lithodynamics and Geology.

Received 24.09.2024

© V. V. Krylenko, M. V. Krylenko, 2025

УДК 528.8:551.2/.3

DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-3-69-76

Определение негативного воздействия вулканических извержений на прилегающие территории по материалам дистанционного зондирования Земли

В. А. Мелкий ¹, С. С. Янкелевич ²

¹ Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

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

e-mail: vamelkiy@mail.ru

Аннотация. Моделирование динамики вулканических процессов в целях определения их воздействия на окружающие земли во время извержений необходимо начинать с выявления характера деятельности вулкана, который целесообразно определить по материалам дистанционного зондирования Земли, на которых отображены изменения окружающей среды в результате вулканического воздействия. Негативное воздействие, которое оказывает вулкан на прилегающие территории, может быть отнесено лишь к определенному типу вулканической деятельности: эффузивному, эксплозивному или экструзивному. Характер деятельности обусловлен проницаемостью земной коры, в которой располагаются магматические очаги. Магматический расплав на земную поверхность может поступать либо напрямую из верхней мантии, либо пройти через промежуточные очаги в коре (мантийного (М) или корового (К) типов). Условия прохождения газонасыщенной магмы через земную кору определяют объем извергаемой тefры. Энергетической характеристикой мощности извержения служит индекс вулканической эксплозивности (VEI), который предопределяет высоту выброса эруптивной колонны. Существует большое количество математических выражений для вычисления подъема горячей газопепловой массы в атмосфере. Проверка гипотез выполнялась на различных вулканах во время извержений. Работа в этом направлении продолжается, потому как различные коэффициенты уточняются при исследовании разноплановой вулканической деятельности. Эруптивная деятельность вызывает значительные изменения экосистем, восстановление которых происходит на протяжении очень длительного времени. Динамику состояния экосистем хорошо демонстрируют индексные изображения, отражающие состояние растительного покрова, которые получают при обработке мультиспектральных аэрокосмических снимков различного пространственного разрешения, выполняя математические операции с характеристиками в красной и ближней инфракрасной зонах электромагнитного спектра. Использование вегетационных индексов дает возможность выявить сомкнутость покрытия земной поверхности вокруг вулканов растительностью и создавать карты состояния растительного покрова. Оценка негативного воздействия дает возможность определить диаметр площадного распространения вулканогенного материала и провести зонирование земель, подверженных вулканопасности в рамках установленного круга.

Ключевые слова: моделирование, космические снимки, индекс вулканической эксплозивности, вегетационный индекс, эруптивная колонна, вулканопасные земли

Для цитирования:

Мелкий В. А., Янкелевич С. С. Определение негативного воздействия вулканических извержений на прилегающие территории по материалам дистанционного зондирования Земли // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 69–76. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-69-76

Введение

Освоение территорий, расположенных вокруг активных вулканов, всегда связано с определенными рисками. Последствия извержений вулканов изучаются достаточно активно, а результаты исследований представлены в многочисленных работах [1–7]. При этом проблемы рационального и безопасного землепользования в районах активного вулканизма в научных публикациях, а также в нормативно-правовых рекомендациях проработаны недостаточно [8]. Цель настоящей работы – показать взаимосвязи в системе «вулкан определенного типа – эруптивные процессы – земли, подверженные воздействию тефры в границах окружности, диаметр которой зависит от высоты изверженной колонны».

Методы и материалы

Сведения об эксплозивности вулканов получены из каталога «Volcanoes of the World» [9]. В статье проведено изучение методов измерения расстояний, которые преодолевают обломки тефры при обрушении эруптивной колонны, а также исследовались возможности использования данных дистанционного зондирования Земли для получения информации о дальности распространения вулканогенного материала, поражающего в первую очередь растительный покров, который служит хорошим индикатором состояния.

Результаты

Моделирование динамики вулканических процессов в целях определения их воздействия на окружающие земли во время извержений следует начинать с выявления характера деятельности вулкана, который можно определить по космическим снимкам территорий, отображающим изменения окружающей среды в результате вулканического воздействия. Воздействие, которые вулканы оказывают на окрестные земли, всегда можно отнести к определенному типу вулканической деятельности: эффузивному, эксплозивному или экструзивному. Характер деятельности обусловлен проницаемостью земной коры,

в которой располагаются магматические очаги. Магматический расплав может поступать на земную поверхность либо напрямую из верхней мантии, либо пройти через промежуточные очаги (мантийного (М) или корового (К) типов) [10]. Условия прохождения газонасыщенной магмы через земную кору определяют объем тефры, которую вулкан выбрасывает во время извержения.

Энергетической характеристикой мощности извержения служит индекс вулканической эксплозивности [11, 12]. Масштабы VEI для вулканов различного типа наглядно представлены на шкале, где показаны масштабы наиболее известных извержений в мире и России (рис. 1) [13, 14]. Интервалы шкалы вулканической эксплозивности (0–8) выбраны с шагом десятикратного увеличения объемов выброса тефры.

Оценка суммарного геологического эффекта вулканического выброса определяется массой горных пород, вынесенных при извержении. Известные методики подсчета массы пород основаны на определении тепловой мощности извержения, которую вычисляют исходя из данных о наблюдаемых высотах эруптивных колонн и пепловых шлейфов в атмосфере, либо построении изолиний мощности отложений исходя из данных отбора площадных проб [15].

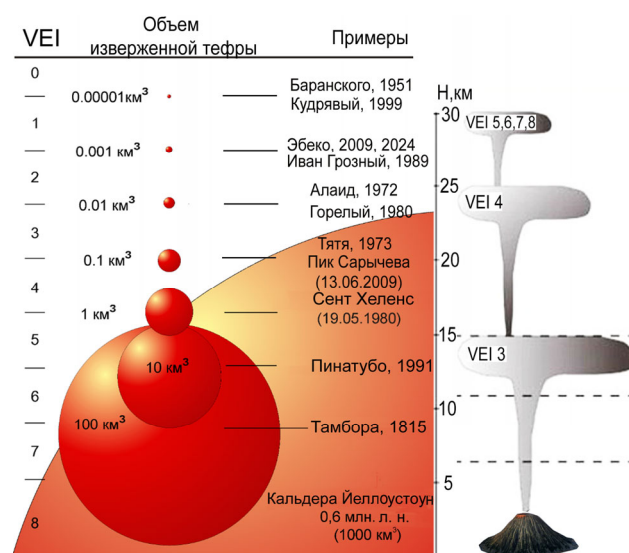


Рис. 1. Энергетика вулканов: слева показан объем выброшенной тефры при различном индексе вулканической активности, а справа – высота выброса эруптивной колонны и величина пеплового шлейфа

Турбулентная конвекция струй (размерность – м) при устойчивом состоянии атмосферы (рис. 2) от длительно действующего источника может быть выражена формулой

$$\Delta h_T = 31 \cdot \left(1 - \frac{G}{G_0}\right)^{-\frac{3}{8}} \cdot Q^{\frac{1}{4}}, \quad (1)$$

где Q – тепловая мощность жерла (размерность – кВт); $G = \Delta T / \Delta z$ – средний вертикальный градиент температуры окружающего воздуха и $G_0 = 9,8$ °C/км [16].

В случае стандартного градиента температуры в атмосфере $G = -6,5$ °C/км формула (1) приобретает вид

$$\Delta h_T = 46 \cdot Q^{\frac{1}{4}} \quad \text{или} \quad Q = \left(\frac{\Delta h_T}{46}\right)^4. \quad (2)$$

Для определения высоты средней линии шлейфа используется формула, выведенная Международной рабочей группой защиты чистого воздуха и воды CONCAWE (Западная Европа) [17]:

$$\Delta h_T \approx 4,7 \cdot Q^{0,45} \cdot u^{-0,7}, \quad (3)$$

где u – скорость ветра.

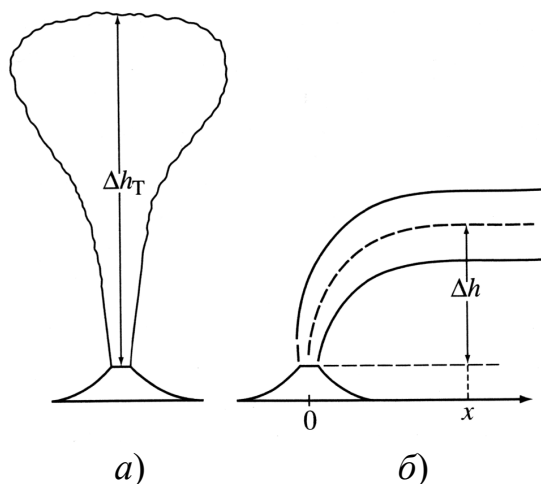


Рис. 2. Схематическое представление эруптивной колонны: а) при штиле; б) при ветре

С. А. Федотовым [15] обнаружена закономерность роста превышения реальных высот над расчетными в тропосфере (1–10 км) и сни-

жение этой погрешности в расчетах для стратосферы (10–55 км). Эмпирические данные, полученные во время многочисленных наблюдений за вулканическими извержениями, отображаются в виде номограммы (рис. 3) и описываются системой уравнений:

$$Q = \left(\frac{\Delta h_T}{46}\right)^4, \quad \Delta h_T \leq 1 \text{ км};$$

$$Q = \left(\frac{\Delta h_T}{28,6}\right)^{3,5}, \quad \Delta h_T \leq 1-10 \text{ км}; \quad (4)$$

$$Q = \left(\frac{\Delta h_T}{100}\right)^{4,5}, \quad \Delta h_T \leq 10-55 \text{ км}.$$

На рис. 3 цифрой 1 обозначен график зависимости (2) по [16] для стандартной атмосферы при слабом ветре: сплошная линия – интервал, в котором расчетные высоты дымов больших труб хорошо соответствуют наблюдаемым; штриховая линия – экстраполяция (2) в область мощностей вулканических извержений; пунктирная линия – продолжение (2) за пределы максимальных Δh_T , возможных для плинианских ($VEI > 3$) вулканических извержений; 2 – зависимости, предлагаемые в настоящей работе для расчетов при $\Delta h_T = 1 \div 10$ км и $10 \div 55$ км; 3 – графики формулы CONCAWE (3) для расчетов при ветре со скоростью u ; 4 – предел высоты колонн плинианских извержений по [17, 18]; 5 – фактические данные о Δh_T и Q для сильных извержений (таблица); 6 – Δh_T для Северного прорыва Толбачинского извержения и вулкана Эбеко; W – примерный расход ювенильной пирокластики в секунду, соответствующий Q . Рисунок может служить номограммой для оценки Q и W по Δh_T , Δh , u .

Проведенные исследования показали, что частицы диаметром более 50 мкм составляют значительную часть осажденного пепла и выпадают на удалении первых десятков километров от вулкана. Легкие частицы тефры (<2 мм, вулканический пепел) ввиду малой скорости гравитационного осаждения находятся в атмосфере достаточно долго (от десятков минут до 2–3 месяцев) и могут вовлекаться в атмосферные циркуляционные течения практически во всем спектре масштабов, от локального до глобального.

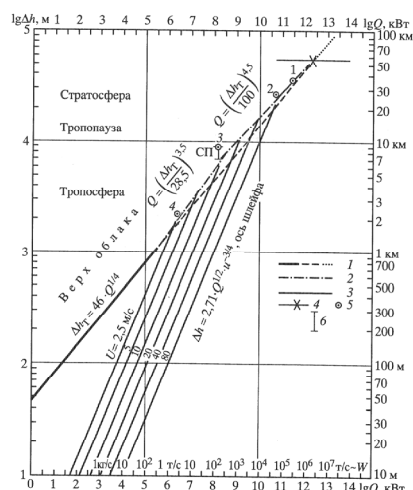


Рис. 3. Эмпирические и теоретические зависимости высоты устойчивых конвективных струй Δh и облаков Δh_T от тепловой мощности их источника Q по [15]

Максимальная высота эруптивной колонны и расходы пирокластики, зафиксированные во время извержений

Вулкан	Дата начала	Δt	Δh_T , км	W, т/с	Q, кВт	Источник
Безымянный	30.03.1956	30 мин.	36	$220 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^{11}$	[2]
Гекла	29.03.1947	30 мин.	27	$45 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^{10}$	[17]
Северный прорыв	06.07.1975	3 дня	5	87	$1,5 \cdot 10^8$	[15]
Эбеко	08.08.2023	30 мин.	2	7	$1,6 \cdot 10^6$	Номограмма

Любой падающий обломок имеет вектор скорости $\vec{v}$, состоящий из двух компонентов, которые полностью независимы друг от друга:

$v_y = gt$ – скорость вертикального перемещения;

v_x – скорость горизонтального перемещения;

u – скорость ветра.

Вертикальное перемещение тела, падающего с высоты, происходит за время

$$t_f = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h_T}{g}}, \quad (5)$$

где Δh_T – высота эруптивной колонны или высота, с которой падают обломки резургент-

ного материала, вулканические бомбы и лапилли;

$g = 9,81 \text{ мс}^{-2}$ – ускорение свободного падения.

Горизонтальное перемещение x_f за время падения этих обломков составит

$$x_f = \frac{1}{2 \cdot m \cdot g} \rho \cdot u^2 \cdot C_D \cdot A \cdot \Delta h_T, \quad (6)$$

где m – средняя масса обломков;

ρ – плотность воздуха (максимальная – $1,225 \text{ кг/м}^3$);

C_D – коэффициент лобового сопротивления (в газовой среде зависит от чисел Рейнольдса и Маха);

A – эталонная область, которая определяется площадью поперечного сечения летящего предмета.

Снижение степени воздействия вулканических продуктов на земную поверхность прямо пропорционально расстоянию от места выброса.

Эруптивная деятельность вызывает значительные изменения экосистем, восстановление которых происходит на протяжении очень длительного времени. Динамику состояния экосистем хорошо показывают индексные изображения, отражающие состояние растительного покрова, которые получают при обработке мультиспектральных аэрокосмических снимков различного пространственного разрешения со сканеров, выполняя математические операции с характеристиками в красной (0,60–0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75–1,3 мкм) зонах электромагнитного спектра. Использование вегетационных индексов (один из них NDVI) [19] дает возможность выявить сомкнутость покрытия земной поверхности вокруг вулканов растительностью и создавать карты состояния растительного покрова и экосистем в целом [20–24]. Дальность разлета обломочного пирокластического материала при извержении зависит в первую очередь от высоты эруптивной колонны. Степень воздействия на объекты внутри окружности, ограничивающей зону распространения извергаемых вулканических продуктов, снижается. Измерение диаметра окружности дает возможность установить границы подзон, определенных на основании

предложенного алгоритма, в зависимости от величины влияния извержения на прилегающие территории.

Заключение

Предлагаемый подход к определению негативного воздействия вулканических процессов в зависимости от индекса эксплозивности вулкана VEI на прилегающие территории дает возможность определить диаметр площадного распространения вулканогенного материала и выполнить зонирование земель (с установле-

нием границ подзон), подверженных такому негативному воздействию.

Предложенный математический алгоритм позволяет перейти от определения высоты выброса эруптивной колонны к установлению границ подзон в зависимости от степени негативного воздействия. Результаты вычислений, экспортированные в материалы дистанционного зондирования Земли, позволяют выполнить координирование установленных границ подзон и внести в установленной системе координат эту информацию в Единый государственный реестр недвижимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. – М. : Наука, 1967. – 287 с.
2. Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. / отв. ред. Б. И. Пийп. – М. : Наука, 1965. – 172 с.
3. Информация о результатах государственного мониторинга земель (краткая аналитическая записка) по теме: «Выполнение работ по мониторингу состояния и использования земель на территории муниципальных районов Сахалинской и Амурской областей, Приморского, Хабаровского и Камчатского краев, Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс]. – URL: [//rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Сводная%20записка%20ДФО%202019.pdf](http://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Сводная%20записка%20ДФО%202019.pdf) (дата обращения 15.04.2025).
4. Лаверов Н. П., Добрецов Н. Л., Богатиков О. А., Бондур В. Г. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России / отв. ред. Н. П. Лаверов. – М. : Наука, 2005. – 604 с.
5. Раст Х. Вулканы и вулканизм. – М. : Мир, 1982. – 344 с.
6. Cas R., Giordano G., Wright J.V. Volcanology. Processes, Deposits, Geology and Resources: Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment (STEGE). Springer, 2024. – 1833 p. – DOI 10.1007/978-3-319-66613-6.
7. Decker R., Decker B. Volcanoes: Fourth Edition. – New York, W. H. Freeman and Company Publishing, 2006. – 326 p.
8. Верхотуров А. А. Зонирование вулканопасных территорий (к постановке проблемы) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 3: Международная научная конференция «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, земле-устройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 79–84. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-3-79-84. – EDN BLDNTM.
9. Siebert L., Simkin T., Kimberly P. Volcanoes of the World. Third edition. – Smithsonian Institution, Washington, D. C.; University of California Press, Berkeley Los Angeles London, 2010. – 494 p.
10. Сывороткин В. Л. Извержения вулканов // Пространство и время. – 2017. – № 1 (27). – С. 196–213. – EDN YMBANF.
11. Newhall C. G., Self S. The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. Journal of Geophysical Research, 1982. – V. 87 (C2). – P. 1231–1238. – DOI 10.1029/jc087ic02p01231.
12. Newhall C. G., Self S., Robock A. Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. Geosphere, 2018. – 14. – P. 572–603. – DOI 10.1130/GES01513.1.
13. King H. M. Volcanic Explosivity // Geology.com. Geoscience News and Information. [Electronic resource]. – URL: <https://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/> (accessed 15 April 2025).
14. Gray R. Will a volcanic eruption destroy humanity? Scientists warn that world must begin preparing for explosive global catastrophe // MailOnline. April 2015 [Electronic resource]. – URL: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3039652/> (accessed 15 April 2025).
15. Федотов С. А. Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаралами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. – 1982. – № 4. – С. 3–28.

16. Morton B. R., Taylor G., Turner J. S. Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources. // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1956. – 234(1196). – P. 1–23. – DOI 10.1098/RSPA.1956.0011.
17. Briggs G. A. Plume rise. Vienna: Atomic Energy Commission, 1969. (Crit. Rev. Ser. USEAC Rep.; TID25075). – 65 p.
18. Wilson L., Sparks R. S. J., Huang T. C., Watkins N. D. The control of volcanic column heights by eruption energetics and dynamics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1978, 83 (B4). – P. 1829–1836. – DOI 10.1029/JB083iB04p01829.
19. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // *Геоматика*. – 2011. – № 2. – P. 98–102. – EDN STYTLLN.
20. Верхотуров А. А. Анализ изменений состояния экосистем на острове Атласова (Курильские острова) // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 139–150. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150. – EDN AAYSRA.
21. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Геоинформационный анализ изменчивости состояния природной среды после извержений вулкана Чикурачки по данным дистанционного зондирования Земли // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. – 2021. – Т. 27. – № 1. – С. 292–303. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-1-27-292-303. – EDN LIZKQJ.
22. Верхотуров А. А., Мелкий В. А. Геоинформационный анализ пространственной изменчивости геосистемы острова Райкоке (Курильские острова) // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 139–147. – DOI 10.35595/2414-9179-2022-1-28-139-147. – EDN RVLCOР.
23. Верхотуров А. А. Оценка пространственно-временной трансформации острова Матуа (Курильский архипелаг), обусловленной активностью вулкана Пик Сарычева // *Геодезия и картография*. – 2023. – Т. 84, № 6. – С. 42–49. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-996-6-42-49. – EDN KRCPJP.
24. Мелкий В. А., Верхотуров А. А., Братков В. В. Зонирование воздействия вулкана Эбеко (Курильские острова) на прилегающие земли по данным материалов аэрокосмических съемок // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2024. – Т. 68, № 1. – С. 21–32. – DOI 10.30533/GiA-2024-002. – EDN BGXCIP.

Об авторах

Вячеслав Анатольевич Мелкий – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

Светлана Сергеевна Янкевич – кандидат технических наук, исполняющая обязанности ректора университета.

Получено 06.05.2025

© В. А. Мелкий, С. С. Янкевич, 2025

Determination of the negative impact of volcanic eruptions on adjacent territories based on remote sensing data

V. A. Melkiy^{1✉}, S. S. Yankelevich²

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch
Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

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

e-mail: vamelkiy@mail.ru

Abstract. Modeling the dynamics of volcanic processes in order to determine their impact on the surrounding lands during eruptions should begin with identifying the nature of the volcano's activity, which can be determined from space images of areas that show changes in the environment as a result of volcanic action. The negative effects that a volcano produces on adjacent territories can only be

attributed to a specific type of volcanic activity: effusive, explosive, or extrusive. The nature of the activity is determined by the permeability of the earth's crust, in which magmatic chambers are located. Magmatic melt can enter the earth's surface either directly from the upper mantle or pass through intermediate chambers in the crust (mantle (M) or crustal (K) types). The conditions for the passage of gas-saturated magma through the earth's crust determine the volume of erupted tephra. The energy characteristic of the eruption power is the volcanic explosivity index (VEI), which determines the height of the eruptive column ejection. There are many mathematical expressions for calculating the rise of hot gas-ash mass in the atmosphere. Hypotheses were tested on various volcanoes during eruptions. Work in this direction continues, as various coefficients are being refined in the study of diverse volcanic activity. Eruptive activity causes significant changes in ecosystems, the restoration of which occurs over a very long period of time. The dynamics of the state of ecosystems is well demonstrated by index images reflecting the state of the vegetation cover, which are obtained by processing multispectral aerospace images of various spatial resolutions, performing mathematical operations with characteristics in the red and near infrared zones of the electromagnetic spectrum. The use of vegetation indices makes it possible to identify the density of the land surface around volcanoes by vegetation and to create maps of the state of the vegetation cover. The assessment of the negative impact makes it possible to determine the diameter of the areal distribution of volcanogenic material and to carry out zoning of lands subject to volcanic hazards within the established circle.

Keywords: modeling, space images, volcanic explosivity index, vegetation index, eruptive column, lands subject to volcanic hazard

REFERENCES

1. Gorshkov, G. S. (1967). *Vulkanizm Kuril'skoy ostrovnoy dugi* [Volcanism of the Kuril island arc]. Moscow: Nauka, 288 p. [in Russian].
2. Gorshkov, G. S., Bogoyavlenskaya, G. E. (1965) *Vulkan Bezymyannyy i osobennosti ego poslednego izverzheniya 1955–1963 gg.* [The Bezymyannyy volcano and the features of its last eruption in 1955–1963]. Ed. by B.I. Piip. Moscow: Nauka, 172 p. [in Russian].
3. *Informatsiya o rezul'tatakh gosudarstvennogo monitoringa zemel' (kratkaya analiticheskaya zapiska) po teme: "Vypolnenie rabot po monitoringu sostoyaniya i ispol'zovaniya zemel' na territorii munitsipal'nykh rayonov Sakhalinskoy i Amurskoy oblastey, Primorskogo, Khabarovskogo i Kamchatskogo kraev, Respubliki Sakha (Yakutiya)"* [Information on the results of state land monitoring (brief analytical note) on the topic: "Performance of work on monitoring the condition and use of land in the territory of the municipal districts of the Sakhalin and Amur regions, the Primorsky, Khabarovsk and Kamchatka Territories, the Republic of Sakha (Yakutia)"]. (2023). Moscow: Rosreestr. 42 p. Retrived from: <https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Сводная%20записка%20ДФО%202019.pdf> (accessed 25 April 2025) [in Russian].
4. Laverov, N. P., Dobretsov, N. L., Bogatikov, O. A., Bondur, V. G. et al. (2005). *Noveyyshiy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii* [Modern and Holocene Volcanism in Russia]. Moscow, Nauka, 604 p. [in Russian].
5. Rast, H. (1982). *Volcanoes and volcanism. Translated from German.* Moscow: Mir Publ., 344 p. [in Russian].
6. Cas, R., Giordano, G., Wright, J.V. (2024). *Volcanology. Processes, Deposits, Geology and Resources: Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment (STEGE)*. Springer, 1833 p. DOI 10.1007/978-3-319-66613-6.
7. Decker, R., Decker, B. (2006). *Volcanoes: Fourth Edition*. New York, W.H. Freeman and Company Publishing, 326 p.
8. Verkhoturov, A. A. (2024). Zoning of volcano-prone areas (pose the problem). *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, 3, 79–84. DOI 10.33764/2618-981X-2024-3-79-84. EDN BLDNTM [in Russian].
9. Siebert, L., Simkin, T., Kimberly, P. (2010). *Volcanoes of the World. Third edition*. Smithsonian Institution, Washington, D.C.; University of California Press, Berkeley Los Angeles – London, 494 p.

10. Syvorotkin, V. L. (2017). Eruption of volcanoes. *Prostranstvo i Vremya [Space and Time]*, 1 (27), 196–213. EDN YMBAHF [in Russian].
11. Newhall, C. G., Self, S. (1982). The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87, C2, 1231–1238. DOI 10.1029/jc087ic02p01231.
12. Newhall, C. G., Self, S., Robock, A. (2018). Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. *Geosphere*, 14, 572–603. DOI: 10.1130/GES01513.1.
13. King, H. M. Volcanic Explosivity. *Geology.com. Geoscience News and Information*. Retrived from: <https://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/> (accessed 15 April 2025).
14. Gray, R. (2015) Will a volcanic eruption destroy humanity? Scientists warn that world must begin preparing for explosive global catastrophe. *MailOnline*. April 2015. Retrived from: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3039652/> (accessed 25 April 2025).
15. Fedotov, S. A. (1982). Evaluation of heat and pyroclast discharge by volcanic eruptions and fumaroles based on the heights of their plumes and clouds. *Volcanologia i seismologia [Volcanology and seismology]*, 4, 3–28 [in Russian].
16. Morton, B. R., Taylor, G., Turner, J. S. (1956). Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 234(1196), 1–23. DOI:10.1098/RSPA.1956.0011.
17. Briggs, G. A. (1969). Plume rise. Vienna: Atomic Energy Commission, (Crit. Rev. Ser. USEAC Rep.; TID25075), 65 p.
18. Wilson, L., Sparks, R. S. J., Huang, T. C., Watkins, N. D. (1978). The control of volcanic column heights by eruption energetics and dynamics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 83, (B4), 1829–1836. DOI 10.1029/jb083ib04p01829.
19. Cherepanov, A. S. (2011). Vegetation indexes. *Geomatika [Geomatics]*, 2, 98–102. EDN STYTTLN [in Russian].
20. Verkhoturov, A. A. (2020). Analysis of changes in the state of ecosystems on Atlasov Island (Kuril Islands). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SGUGT]* 25, 3, 139–150. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150. EDN AAYSRA [in Russian].
21. Verkhoturov, A. A., Melkiy, V. A. (2021). Geoinformation analysis of variability state of the natural environment after of the eruption of the Chikurachki volcano by remote sensing data. *InterKarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS]*, 27, 1, 292–303. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-292-303. EDN LIZKQJ [in Russian].
22. Verkhoturov, A. A., Melkiy, V. A. (2022). Geoinformation analysis of the spatial variability of the Raikoke island (Kuril Islands) geosystem. *InterKarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS]*, 28, 1, 139–147. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-139-147. EDN RVLCOF [in Russian].
23. Verkhoturov, A. A. (2023) Assessing spatial and temporal transformation of Matua Island territory caused by the activity of Sarychev Peak volcano. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and cartography]*, 84(6), pp. 42–49. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-996-6-42-49. EDN KRCPJP [in Russian].
24. Melkiy, V. A., Verkhoturov, A. A., Bratkov, V. V. (2024). Zoning of the impact of the Ebeko volcano (Kuril Islands) on adjacent lands by the materials of aerospace surveys. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'yemka, [Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 68(1), 21–32. DOI: 10.30533/GiA-2024-002. EDN BGXCIP [in Russian].

Author details

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazard.

Svetlana S. Yankelevich – Ph. D., Acting Rector of the University.

Received 06.05.2025

© V. A. Melkiy, S. S. Yankelevich, 2025

УДК 528.71:551.510.5

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-77-85

Разработка статистических моделей оценки концентрации метана в приземном слое атмосферы по материалам космической съемки в зимний период

Н. В. Попов¹, В. А. Малинников²

¹ Институт глобального климата и экологии имени академика Юрия Антониевича Израэля, г. Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

e-mail: nikitappv02@gmail.com

Аннотация. В работе исследуется связь спектрозональных данных Sentinel 2 MSI с концентрацией метана в приземном слое атмосферы и значениями метеопараметров атмосферы, измеренных на наземной станции Тикси за период с 2016 по 2022 г. Показано наличие корреляции приземной концентрации метана и метеопараметров со значением уровня серого тона зональных космических изображений станции Тикси для зимнего периода. Построены регрессионные соотношения, связывающие значения уровня серого тона зональных космических изображений с приземной концентрацией метана. Рассмотрено влияние сезонного фактора на корреляцию спутниковых данных и приземных измерений концентрации метана.

Ключевые слова: Sentinel 2, метан, коэффициент корреляции Пирсона, спутники, парниковые газы, мониторинг, системы наблюдений, концентрации, метеостанция Тикси

Для цитирования:

Попов Н. В., Малинников В. А. Разработка статистических моделей оценки концентрации метана в приземном слое атмосферы по материалам космической съемки в зимний период // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 77–85. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-77-85

Введение

Согласно выполненным исследованиям, оценки выбросов парниковых газов, полученные по данным спутников, могут быть в 1,5 раза больше расчетных значений выбросов [1].

Метан (CH₄) является вторым по значимости парниковым газом в атмосфере Земли [2]. Существующие методики оценки выбросов CH₄ в атмосфере по данным мультиспектральных сенсоров и физического моделирования переноса излучения в атмосфере требуют использования сложных физических моделей, основанных на интерпретации большого количества наземных данных [3]. Исследования [4–6] показали, что для определения концентрации CH₄ в атмосферном воздухе возможно использовать данные сенсора MSI, установленного на

борту Sentinel-2. Авторы упомянутых исследований используют трудоемкий метод соотнесения данных физического моделирования переноса излучения в атмосфере с данными сенсора. В то же время существует возможность разработки статистических моделей, учитывающих зависимость данных спутникового сенсора и метеопараметров от концентрации метана, которые могли бы упростить вычислительный процесс и дополнить результаты физических моделей.

Было обнаружено, что существует положительная корреляция между данными космической съемки и приземной концентрацией CH₄, которая имеет сильную сезонную зависимость [7]. Можно сделать предположение, что данные MSI по-разному зависят от приземной концентрации метана в зависимости от зимнего или летнего периода.

В ходе работ по мониторингу атмосферного метана, проводившихся как на станциях, так и со спутников, был сделан вывод, что в зимние месяцы наблюдение экстремально высоких концентраций метана за короткие периоды времени может быть обусловлено внесением антропогенных эмиссий [8]. Также для арктических территорий характерен минимум значений приземной концентрации CH_4 в мае-июне, а максимум – в августе-сентябре. Это связано с тем, что на протяжении зимних месяцев неактивны естественные источники метана, а также значительно снижается слой перемешивания в атмосфере, и происходят температурные инверсии [7–11].

В статье проводилось исследование зависимости данных MSI и метеопараметров от приземной концентрации метана в зимний период, так как наличие атмосферного блокирования и снежного покрова обуславливает слабое перемешивание газов в атмосфере и высокую отражающую способность поверхности без ее значительных вариаций.

Учитывая вышесказанное, целью статьи стала разработка статистической модели оценки приземной концентрации метана по данным сенсора MSI для зимнего периода.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи: сбор базы данных выборки суточных наблюдений приземной концентрации CH_4 и метеопараметров, их обработка и подготовка к статистическому

анализу; корреляционный анализ экспериментальных данных и построение регрессионных моделей.

Методы

В исследовании были использованы данные полярной станции Тикси за период с 2016 г. по 9 апреля 2022 г., полученные с помощью газоанализатора Picarro [12]. Данные Тикси отобраны с целью изучения возможности оценки приземной концентрации метана в Арктике, где имеют место процессы дегазации вечной мерзлоты [1]. Массив данных, полученных со станции Тикси, содержит информацию о значениях концентрации метана, направления и скорости ветра, давления, относительной влажности и температуры. Значения метеопараметров и концентрации метана приводятся в разных временных диапазонах: осредненные за час, день и месяц. Авторами для последующей статистической обработки отбирался массив данных среднесуточных значений. Его обработка выполнялась в несколько этапов: удаление пропусков и ошибочных значений, выделяемых как числа –999 или –99 в массиве в зависимости от параметров; перерасчет парциального давления водяного пара и поиск и удаление кратковременных всплесков концентрации CH_4 , нехарактерных для зимнего сезона в Тикси. Расчет парциального давления водяного пара производился по формуле [13]

$$e'_w(p, t) = \left(\frac{h}{100} \right) \cdot (1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} \cdot p - 0,074 \cdot p^{-1}) \cdot \left(6,112 \cdot e^{\frac{17,62 \times t}{243,12 + t}} \right), \quad (1)$$

где $e'_w(p, t)$ и p – парциальное давление водяного пара и атмосферное давление соответственно, гПа; t – температура, °C; h – относительная влажность, %.

Удаление всплесков концентрации метана производилось по среднечасовым значениям всего временного ряда приземной концентрации CH_4 по двум критериям: отклонение средних за час значений от среднемесячных более чем на 3 стандартных отклонения; отклонение средних за час значений от уровня межгодового тренда более чем на 5% [14].

За указанный период на территорию Тикси были отобраны снимки со спутников Sentinel 2A/B в 12 зональных каналах без атмосферной коррекции с целью исключения возможного искажения исходных данных. Обработка спутниковых снимков заключалась в исключении материалов, полученных в облачные дни из анализа, а также в извлечении значений уровней серого в точке измерения приземной концентрации метана, и средних значений уровня серого по территории радиусом 6, 12 и 18 пикселей вокруг точки

приземных измерений с целью исключения влияния отблесков и шума.

После подбора данных космической съемки и метеостанции они подвергались анализу на экстремальные значения, которые определялись по диаграммам «с усами». Суточные наблюдения, значения уровня серого или скорости ветра которых выпадали за пределы интерквантильного размаха, удалялись из выборки.

Выявление параметров, наиболее коррелирующих с концентрацией метана, проводилось в несколько шагов: строились таблицы парных коэффициентов корреляции и графиков рассеяния между данными об уровне серого в 12 каналах Sentinel 2 MSI и данными о приземной концентрации CH_4 ; по полученным таблицам отбирались наиболее коррелирующие с CH_4 измерения в зональных каналах сенсора, которые использовались в регрессионном анализе вместе со всеми метеопараметрами.

Регрессионный анализ проводился с помощью инструмента «Пошаговое построение модели» в статистической программе Tibco Statistica 13.0.5.17.

1. В инструмент программы импортировалась подготовленная выборка наблюдений концентрации метана и объясняющих факторов.

2. Подбиралось выражение, наилучшим образом описывающее линейную взаимосвязь между приземной концентрацией CH_4 , уровнем серого и метеопараметрами. Критерии качества, или приемлемости рассчитанной модели, были следующие: коэффициент достоверности аппроксимации, нормированный на количество факторов в модели, или норм. R^2 больше 0,5; наибольшее соотношение норм. R^2 к R^2 ; не превышение всеми факторами модели p -значения 0,05 при 95-процентном доверительном интервале и наименьшее возможное значение стандартной ошибки при учете ранее упомянутых критериев [15]. В модели также анализировались бета-коэффициенты [15].

3. Для рассчитанной модели проводился анализ графиков К-К остатков и стандартных остатков. По значительным отклонениям на графике К-К остатков от прямой линии делалось предположение о нелинейности взаимосвязи и проводился соответствующий регрессионный анализ.

4. Для проведения нелинейного регрессионного анализа использовался инструмент «метод отклика поверхности» ранее упомянутой программы: в данном инструменте существует возможность включать в модель нелинейные факторы второго, третьего и четвертого порядков, а также все их возможные комбинации. На основе ранее подобранных факторов линейной модели с помощью вышеописанного инструмента был составлен перечень всех их нелинейных вариантов и комбинаций.

5. Полученные комбинации использовались для повтора шагов 1 и 2. На выходе после шага 5 получалась наилучшая нелинейная регрессионная модель.

6. Проводился анализ выбросов в двух регрессионных моделях по условию: если для наблюдения «у» в линейной модели стандартный остаток по модулю близок к 1,9, а в нелинейной его значение стало больше, то наблюдение удалялось из выборки с допущением, что оно не подвержено той же тенденции, что и остальной набор данных. Очистка от наблюдений проводилась в две итерации: после каждой итерации проводился перерасчет моделей и их стандартных остатков.

7. Проводился перерасчет коэффициентов полученных регрессионных моделей по очищенной выборке, что приводило к улучшению их качества.

Результаты

Из архивных ежедневных данных метеостанции Тикси и спутниковых изображений была собрана выборка из 103 суточных наблюдений метеопараметров, приземной концентрации метана и уровня серого космических изображений. Исходными факторами выборки, которые использовались в дальнейшем анализе, являлись: уровень серого в 12 каналах Sentinel 2 MSI в точке приземных измерений на станции и осредненный по территории вокруг нее, направление и скорость ветра, относительная влажность, температура, давление, и парциальное давление пара.

Анализ исходного временного ряда концентраций метана выявил 4 даты с наличием всплесков метана, которые были удалены из выборки. График суточных значений концен-

траций метана и всплесков приведен на рис. 1. Также из указанной выборки было удалено наблюдение с экстремально высокой средне-суточной скоростью ветра более 13 м/с. Таким

образом, после очистки экспериментальных данных для статистического анализа была подготовлена выборка, состоящая из 98 суточных наблюдений.

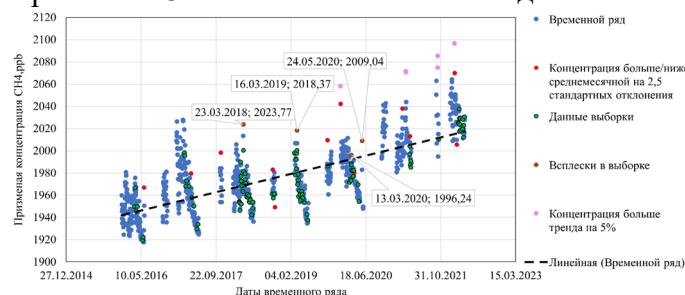


Рис. 1. График всплесков концентраций метана в Тикси в зимний период

В табл. 1 приведены парные коэффициенты корреляции Пирсона между осредненными данными об уровне серого и приземной концентрацией CH_4 (ESA Standard Document (Sentinel-2 User Handbook) // Explore Copernicus satellite missions - Sentinel Online (официальный сайт миссий Sentinel Европейского Космического Агентства) – URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook – Текст: электронный).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции Пирсона между осредненными данными об уровне серого и приземной концентрации метана и характеристики каналов MSI

	CH ₄ ежедневная	Среднее канал 1	Среднее канал 2	Среднее канал 3	Среднее канал 4	Среднее канал 5	Среднее канал 6
Диапазон		Ультраголубой		Видимый		Ближний ИК	
Диапазон в нм		433–453	457,5–522,5	542,5–577,5	650–680	697,5–712,5	732,5–747,5
CH ₄ ежедневная	1,000	0,098	0,118	0,108	0,188	–0,172	0,256
		Среднее канал 7	Среднее канал 8	Среднее канал 9	Среднее канал 10	Среднее канал 11	Среднее канал 12
Диапазон		Ближний ИК			Коротковолновой ИК		
Диапазон в нм		773–793	855–875	935–955	1360–1390	1565–1655	2100–2280
CH ₄ ежедневная		0,292	0,322	0,387	0,515	0,656	0,675

По матрице графиков рассеяния между данными 12 канала MSI и приземной концентрацией метана было удалено одно сильно отстоящее от остальных наблюдение.

В результате выполнения шага 6 регрессионного анализа были удалены 3 наблюдения, приведенные на рис. 2.

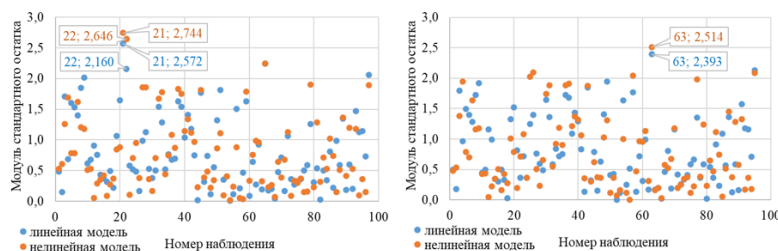


Рис. 2. Результаты выполнения шага 6 регрессионного анализа: в выносках через точку с запятой указывается номер наблюдения и его стандартный остаток

Были разработаны две модели: одна – линейная и другая – нелинейная четвертого порядка с учетом комбинаций факторов линейной модели и данных об уровне серого 11-го канала: было сделано допущение, что в линейной модели данные отдельно взятого 12-го канала

лучше коррелируют с концентрацией метана, чем 11-го канала, в то время как в нелинейной модели взаимодействие 11-го и 12-го каналов как одного фактора будет иметь гораздо большее влияние на итоговый коэффициент детерминации нелинейной регрессионной модели.

Рассчитанная линейная и нелинейная регрессионные модели описываются формулами соответственно:

$$C_{CH_4} = 2561,026 + 0,0265x_1 - 0,00216x_2 - 0,5926x_3 - 5,9381x_4; \quad (2)$$

$$C_{CH_4} = 1956,784 + 0,121\left(\frac{x_5}{x_3}\right) - 3,75 \cdot 10^{-13}(x_5 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4) - 1,06 \cdot 10^{-7}(x_5 \cdot x_3) - 1,36 \cdot 10^{-4}(x_2 \cdot x_4^2), \quad (3)$$

где x_1 и x_2 – уровень серого, осредненный по территории радиусом 12 пикселей вокруг точки измерения CH_4 на космическом изображении, полученный в 12-м и 5-м каналах MSI соответственно, б/р (коэффициент отражения); x_3 и x_4 – атмосферное давление и парциальное давление пара соответственно, гПа; x_5 – произведение значений уровня серого, осредненного по территории радиусом 12 пикселей вокруг точки измерения метана на космическом изображении, полученного в 11-м и 12-м каналах Sentinel-2 MSI, б/р (коэффициент отражения).

Характеристики параметров и качества рассчитанных регрессионных моделей приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 3

Характеристики качества рассчитанных регрессионных моделей

Параметры/регрессионные модели:	Линейная	Нелинейная
Множественный R	0,803	0,835
R-квадрат	0,644	0,698
Нормированный R-квадрат	0,629	0,684
Стандартная ошибка	16,127	14,870
Критерий Фишера (F)	40,335	51,361
Критическое (F)	$3,06 \cdot 10^{-19}$	$2,42 \cdot 10^{-22}$

Графики К-К остатков и рассеяния разработанных моделей приведены на рис. 2 и 4. Анализ графиков стандартных остатков моделей приведен на рис. 3.

Таблица 2

Характеристика параметров рассчитанных регрессионных моделей

Параметры	Бета-коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение
Линейная модель				
Нулевой член		204,9604	12,49522	$2,76 \cdot 10^{-21}$
x_1	0,613	0,00342	7,739694	$1,48 \cdot 10^{-11}$
x_2	-0,285	0,000519	-4,1619	$7,27 \cdot 10^{-5}$
x_3	-0,202	0,201159	-2,946	0,004108
x_4	-0,321	1,598328	-3,71522	0,000354
Нелинейная модель				
Нулевой член		3,294	594,083	$6,26 \cdot 10^{-162}$
x_5/x_3	8,393	$3,02 \cdot 10^{-2}$	4,002	$1,30 \cdot 10^{-4}$
$x_5 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$	-0,296	$9,28 \cdot 10^{-14}$	-4,041	$1,13 \cdot 10^{-4}$
$x_5 \cdot x_3$	-7,630	$2,91 \cdot 10^{-8}$	-3,646	$4,48 \cdot 10^{-4}$
$x_2 \cdot x_4^2$	-0,175	$5,70 \cdot 10^{-5}$	-2,389	$1,90 \cdot 10^{-2}$

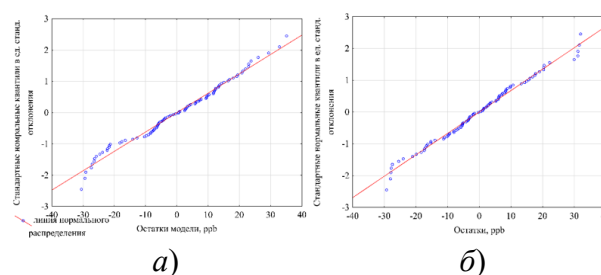


Рис. 2. Графики К-К остатков: а) линейной модели; б) нелинейной

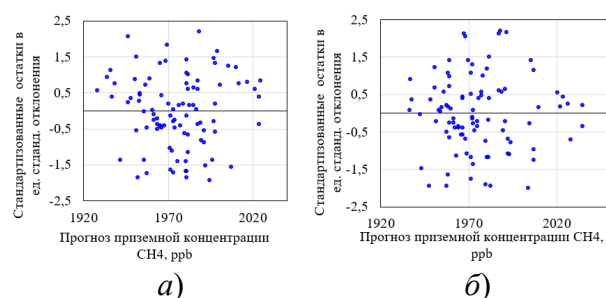


Рис. 3. График стандартных остатков: а) линейной модели; б) нелинейной

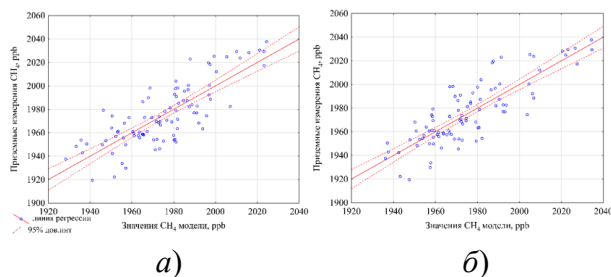


Рис. 4. Графики рассеяния между модельными и приземными значениями концентрации CH_4 : а) линейной модели; б) нелинейной

Обсуждение

Удаление отдельных суточных наблюдений обосновано естественными причинами и производилось с применением статистических методов. В результате очистки и регрессионного анализа выборка уменьшилась с 103 до 94 наблюдений.

Из табл. 1 видно, что в наибольшей степени с приземной концентрацией CH_4 коррелируют данные коротковолнового ИК-диапазона. Вышеописанное явление может быть обусловлено тем, что в зимний период в видимом диапазоне не происходит каких-либо явных изменений в связи с наличием снежного покрова, в то время как в коротковолновом ИК-диапазоне на уровень серого влияют изменения метеопараметров и концентраций различных составляющих атмосферы. Наибольший коэффициент корреляции Пирсона наблюдается между приземной концентрацией метана и уровнем серого в 11-м и 12-м каналах.

Из табл. 2 видно, что положительный знак бета-коэффициента среди всех моделей наблюдается только у факторов x_1 и x_5 формул (2) и (3), в то время как остальные факторы обратно пропорциональны концентрации метана. Это может быть обусловлено тем, что зимой параметр давления и уровень серого в 5-м канале связаны с прозрачностью атмосферы.

Бета-коэффициенты линейной модели варьируют по модулю значительно меньше, чем коэффициенты нелинейной модели (см. табл. 2): в линейной модели бета-коэффициент фактора x_1 превышает аналогичные для других более чем в 1,5 раза, но в нелинейной модели бета-коэффициенты для взаимодействия двух факторов x_5 и x_3 превышают остальные коэф-

фициенты более чем в 30 раз. Данное явление может быть обусловлено тем, что взаимодействие данных 11-го и 12-го каналов вместе с давлением более точно отображает изменение концентрации метана в условиях непрозрачной атмосферы, чем другие факторы, в том числе и линейной модели. Также в нелинейной модели р-значение нулевого члена на порядки меньше, чем в линейной.

Из табл. 3 видно, что при переходе от линейной модели к нелинейной нормированный R^2 увеличивается с 0,63 до 0,69; F-статистика также увеличивается и стандартная ошибка модели уменьшается с 16 до 15 ppb, из чего следует, что линейная модель хуже отображает связи между метеопараметрами, данными сенсора и приземной концентрацией метана в условиях станции Тикси, чем нелинейная.

Из рис. 2, 3, и 4 видно, что в нелинейной модели остатки меньше отклоняются от линии нормального распределения, чем в линейной, и сплоченность точек на рис. 3 и 4 увеличивается, что также говорит в пользу предыдущего вывода.

Заключение

Разработаны линейная и нелинейная регрессионные статистические модели оценки приземной концентрации метана по материалам космической съемки и метеостанции в зимний период. Разработанные модели учитывают взаимосвязи между: уровнем серого в 11-м, 12-м и 5-м каналах спутника Sentinel-2, парциальным давлением водяного пара и атмосферным давлением. Статистические характеристики разработанных моделей позволяют оценить приземную концентрацию метана с большой достоверностью и погрешностью в 15 ppb.

Из-за того, что процессы, влияющие на концентрацию метана, зимой и летом существенно различаются, нельзя разработать единую модель для всех сезонов [7–10], поэтому предметом дальнейших исследований в данной работе является разработка статистической модели оценки приземной концентрации метана по материалам космической съемки в летний период.

Благодарности

Работа была выполнена в рамках государственного задания № FSFE-2023-0005 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rutherford, J. S., Sherwin, E. D., Ravikumar, A. P., Heath, G. A., Englander, J., Cooley, D., Lyon, D., Omara, M., Langfitt, Q., Brandt, A. R. (2021). Closing the methane gap in US oil and natural gas production emissions inventories // *Nature communications*. – 2021. – Vol. 12(1) No. 4715. – DOI 10.1038/s41467-021-25017-4.
2. IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; 2014. – 1419 pp.
3. Hu, H., Hasekamp, O., Butz, A., Galli, A., Landgraf, J., Aan de Brugh, J., Borsdorff, T., Scheepmaker, R., and Aben, I.: The operational methane retrieval algorithm for TROPOMI // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2016. – Vol. 9, No. 11. – P. 5423–5440. – DOI 10.5194/amt-9-5423-2016. – EDN XTZHFP.
4. Jacob, D. J., Varon, D. J., Cusworth, D. H., Dennison, P. E., Frankenberg, C., Gautam, R., Guanter, L., Kelley, J., McKeever, J., Ott, L. E., Poulter, B., Qu, Z., Thorpe, A. K., Worden, J. R., and Duren, R. M.: Quantifying methane emissions from the global scale down to point sources using satellite observations of atmospheric methane // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2022. – Vol. 22, No. 14. – P. 9617–9646. – DOI 10.5194/acp-22-9617-2022. – EDN JTGQIX.
5. Varon, D. J., Jervis, D., McKeever, J., Spence, I., Gains, D., and Jacob, D. J.: High-frequency monitoring of anomalous methane point sources with multispectral Sentinel-2 satellite observations, // *Atmospheric Measurement Techniques*. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – P. 2771–2785. – DOI 10.5194/amt-14-2771-2021. – EDN NNJOCO.
6. Zhang, Z., Sherwin, E. D., Varon, D. J., and Brandt, A. R.: Detecting and quantifying methane emissions from oil and gas production: algorithm development with ground-truth calibration based on Sentinel-2 satellite imagery // *Atmos. Meas. Tech.* – Vol. 15. – Pp. 7155–7169. – DOI 10.5194/amt-15-7155-2022, 2022.
7. Родионова Н. В. Корреляция наземных и спутниковых значений концентрации метана в приземном слое атмосферы в районе Тикси // *Всероссийские открытые Армандовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн : сб. материалов конференции*. – 2022. – № 1. – С. 349–356.
8. Арабаджян Д. К., Парамонова Н. Н., Макарова М. В., Поберовский А. В. Анализ временной изменчивости концентраций метана в атмосфере по данным наземных наблюдений // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и химия*. – 2015. – Т. 2 (60), № 3. – С. 204–215. – EDN UNNPEJ.
9. Семенов С. М., Говор И. Л., Уварова Н. Е. Роль метана в современном изменении климата. – М. : Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля, 2018. – 106 с. – ISBN 978-5-9631-0687-7. – EDN TZBKQY.
10. Виноградова А. А., Гинзбург А. С., Губанова Д. П. Изменчивость концентрации метана в приземном воздухе Москвы на разных временных масштабах // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 205–217. – DOI 10.31857/S0002351522020110. – EDN TLTOXB.
11. Ивахов В. М., Парамонова Н. Н., Привалов В. И., Зинченко А. В. Анализ данных непрерывных наблюдений атмосферной концентрации метана на арктической станции Тикси с 2010 по 2015 гг. // *Труды главной геофизической лаборатории им. А. И. Воейкова*. – 2016. – № 582. – С. 261–280.
12. Tuomas Laurila (FMI), Ed Dlugokencky (NOAA), Viktor Ivakhov (MGO), Juha Hatakka (FMI), Atmospheric CH₄ at Tiksi by Finnish Meteorological Institute, dataset published as CH₄ TIK_surface-insitu_FMI_data1 at WDCGG, ver.2022-07-08-2150. – DOI 10.50849/WDCGG_0025-2002-1002-01-01-9999 (reference date: 2024/07/09).
13. World Meteorological Organization Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 2008 edition updated 2010. Geneva, Switzerland, WMO, 716pp. (WMO No. 8). – 2012. – DOI 10.25607/OBP-1528.

14. Стародубцев В. С., Соловьёв В. С. Особенности вариаций метана на арктическом побережье в летне-осенний период // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 6. – С. 253–264. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-6-253-264. – EDN ZXSCSJ.

15. Джордж Грекуис. Методы и практика пространственного анализа / пер. с англ. А. Н. Киселева. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 540 с.

Об авторах

Никита Владиславович Попов – научный сотрудник отдела мониторинга выбросов парниковых газов в энергетике и промышленности.

Василий Александрович Малинников – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой космического мониторинга и экологии.

Получено 25.12.2024

© Н. В. Попов, В. А. Малинников, 2025

Development of statistical models for methane concentration evaluation in ground layer of atmosphere on the base of space imagery data in winter period

N. V. Popov^{1✉}, *V. A. Malinnikov*²

¹ Yu. A. Israel Global Climate and Ecology Institute, Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: nikitappv02@gmail.com

Abstract. In the work, the relation between Sentinel-2 MSI multispectral data with surface methane and meteorological observations, made for period on the Tiksi station for period from 2016 until 2022. Correlation between surface methane concentration and meteorological observations with gray level of multispectral Tiksi imagery is shown. For the case of strong correlation, observed between variables in winter period, regression relations between gray level of zonal space imagery and surface methane concentrations were constructed. Seasonal factor influence on correlation coefficient were analyzed.

Keywords: Sentinel 2, methane, Pearson correlation coefficient, satellite, greenhouse gases, monitoring, observations, concentrations, Tiksi

REFERENCE

1. Rutherford, J. S., Sherwin, E. D., Ravikumar, A. P. *et al.* Closing the methane gap in US oil and natural gas production emissions inventories. *Nat Commun* 12, 4715 (2021) DOI 10.1038/s41467-021-25017-4.

2. IPCC, 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*; 1419 pp.

3. Hu, H., Hasekamp, O., Butz, A., Galli, A., Landgraf, J., Aan de Brugh, J., Borsdorff, T., Scheepmaker, R., and Aben, I.: The operational methane retrieval algorithm for TROPOMI, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 5423–5440, DOI 10.5194/amt-9-5423-2016. EDN XTZHFP.

4. Jacob, D. J., Varon, D. J., Cusworth, D. H., Dennison, P. E., Frankenberg, C., Gautam, R., Guanter, L., Kelley, J., McKeever, J., Ott, L. E., Poulter, B., Qu, Z., Thorpe, A. K., Worden, J. R., and Duren, R. M. (2022): Quantifying methane emissions from the global scale down to point sources

using satellite observations of atmospheric methane, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 9617–9646, DOI 10.5194/acp-22-9617-2022. EDN JTGQIX.

5. Varon, D. J., Jervis, D., McKeever, J., Spence, I., Gains, D., and Jacob, D. J. (2021). High-frequency monitoring of anomalous methane point sources with multispectral Sentinel-2 satellite observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 14, 2771–2785, <https://doi.org/10.5194/amt-14-2771-2021>, DOI 10.5194/amt-14-2771-2021. EDN NNJOCO.

6. Zhang, Z., Sherwin, E. D., Varon, D. J., and Brandt, A. R. (2022). Detecting and quantifying methane emissions from oil and gas production: algorithm development with ground-truth calibration based on Sentinel-2 satellite imagery, *Atmos. Meas. Tech.*, 15, 7155–7169, DOI 10.5194/amt-15-7155-2022, 2022.

7. Rodionova N. V. (2022) Correlation of ground and satellite-based estimates of methane concentration in ground level of atmosphere. In *Vserossijskie otkrytye Armandovskie chtenija: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija, radiolokacii, rasprostraneniya i difrakcii voln [All-Russian open Armandov Readings: Modern problems of remote sensing, radiolocation, wave propagation and diffraction]* № 1. P. 349–356 [in Russian].

8. Arabadzhjan D. K., Paramonova N. N., Makarova M. V., Poberovskij A. V. (2015) Analysis of temporal variability of methane concentration on the base of ground. In *Vestnik SPBGU. [Bulletin of St. Petersburg State University]*. Ser. 4. V. 2 (60). №3 EDN UNNPEJ [in Russian].

9. Semenov S. M., Govor I. L. & Uvarova N. E. (2018) *Rol' metana v sovremennom izmenenii klimata [The methane role in modern climate change]*. Moscow ISBN 978-5-9631-0687-7. EDN TZBKQY [in Russian].

10. Vinogradova A. A., Ginzburg A. S., Gubanova D. P. (2022) Methane concentration variability in Moscow ground level atmosphere on different time scales. In *Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana [Izvestia RAS: Atmospheric and Ocean Physics]* V 58, №2, p. 205-217 DOI 10.31857/S0002351522020110. – EDN TLTOXB [in Russian].

11. Ivahov V. M., Paramonova N. N., Privalov V. I., Zinchenko A. V. (2016) Analysis of continuous atmosphere methane concentration measurements on station Tiksi from 2010 to 2015 y. *Trudy glavnoj geofizicheskoj laboratorii im. A.I. Voejkova [Proceedings of the Main Geophysical Laboratory named after A.I. Voyeykov]* № 582. P. 261–280 [in Russian].

12. Tuomas Laurila (FMI), Ed Dlugokencky (NOAA), Viktor Ivakhov (MGO), Juha Hatakka (FMI), Atmospheric CH₄ at Tiksi by Finnish Meteorological Institute, dataset published as CH₄_TIK_surface-insitu_FMI_data1 at WDCGG, ver.2022-07-08-2150, DOI 10.50849/WDCGG_0025-2002-1002-01-01-9999 (reference date: 2024/07/09).

13. World Meteorological Organization (2012) Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, 2008 edition updated 2010. Geneva, Switzerland, WMO, 716 pp. (WMO No. 8), DOI 10.25607/OBP-1528.

14. S. Starodubcev, V.S. Solov'jov (2021) Peculiarities of methane concentration variability on the Arctic coastline at summer-autumn period. In *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing Earth from space]* Vol. 18. No 6. P. 253–264.

15. George G. (2021) *Metody i praktika prostranstvennogo analiza [Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain through GIS]* (A.N. Kiseljova, trans). Moscow: DMK Press [in Russian].

Author details

Nikita V. Popov – Research Assistant of the Department of Energy and Industry Greenhouse Gas Emissions Monitoring.

Vasilii A. Malinnikov – D. Sc., Professor, Head of the Department of Space Monitoring and Ecology.

Received 25.12.2024

© N. V. Popov, V. A. Malinnikov, 2025

УДК 528.88:630*241

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-86-94

Оценка влияния освещенности на значения вегетационных индексов природно-антропогенных объектов

Д. В. Филиппов¹✉

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научный геоинформационный центр Российской академии наук (НГИЦ РАН), г. Москва, Российская Федерация

e-mail: Gislabs@ngic.ru

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос влияния величины освещения ландшафта на значения его вегетационного индекса NDVI. Исследование производилось на полях сельскохозяйственного назначения в Волгоградской области. В качестве материалов дистанционного зондирования применялись архивные материалы мульти- и гиперспектральной космической съемки, выполненной космическим аппаратом «Ресурс-П». Исследование показало, что значение вегетационного индекса NDVI неравномерно изменяется на космических изображениях одного и того же объекта, полученных в один и тот же временной интервал суток при разных условиях освещения. Для более глубокого изучения вопроса влияния условий освещения на значения вегетационных индексов ландшафта было предложено рассмотреть возможность применения БПЛА или создания специального лабораторного моделирующего комплекса для выполнения дистанционных спектрометрических исследований растительного покрова.

Ключевые слова: космическая съемка, вегетационные индексы, освещенность, космические снимки

Для цитирования:

Филиппов Д. В. Оценка влияния освещенности на значения вегетационных индексов природно-антропогенных объектов // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 86–94. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-86-94

Введение

Для изучения природных ландшафтов применяются методы космической и авиационной мультиспектральной цифровой съемки. Как известно, цифровое изображение ландшафта получается в результате регистрации матрицей или ПЗС-линейкой отраженного светового потока от ландшафта при его освещении и собственном излучении объекта в инфракрасном (ИК) диапазоне. В связи с этим задача оценки влияния освещенности ландшафта на значения его вегетационных индексов является актуальной для научных исследований [1]. В формировании мультиспектрального изображения ландшафта участвует также собственное излучение объектов ландшафта в ИК зоне спектра. При использовании космических систем поток отраженной радиации от подстилающего ландшафта проходит через слои атмосферы. В ней происходит поглощение, рассеяние и отражение проходящего через них потока солнечной

радиации, отраженной от подстилающего ландшафта (рис. 1). И на входе в приемник космической системы получается поток суммарной отраженной радиации от объекта и слоев атмосферы, а также собственное излучение в ИК диапазоне от объектов [2, 3].

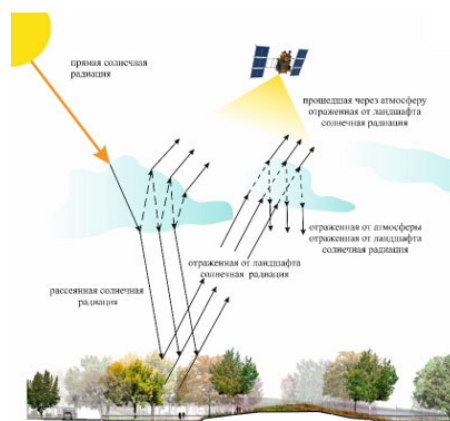


Рис. 1. Схема формирования отраженной энергии от ландшафта

Величина освещенности ландшафта при съемке определяется не только временем съемки, но и климатическими параметрами, например, такими, как плотность облачного покрова. Величина солнечной освещенности ландшафта оказывает влияние на спектральную разрешающую способность съемочной системы и полученных цифровых изображений [4, 5]. Исследования показали, что самая высокая разрешающая способность достигалась в районе полудня, т. е. в интервал времени, когда солнечная освещенность была максимальной. Полученные результаты необходимо учитывать при выполнении мультиспектральной съемки для расчета вегетационных индексов.

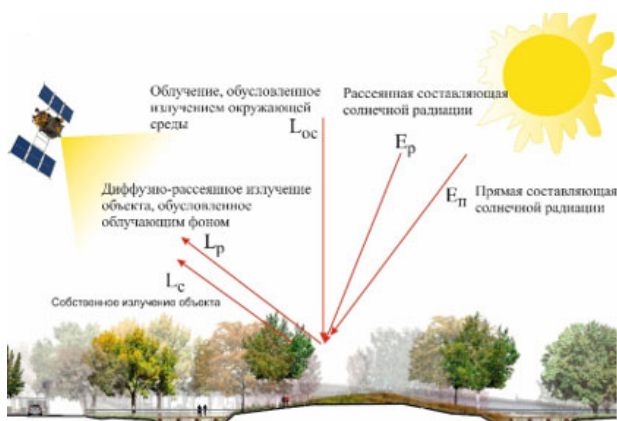


Рис. 2. Формирование ИК излучения природного объекта

Из рис. 2 видно, что общая спектральная плотность энергетической яркости объекта определяется как сумма диффузно-рассеянного излучения объекта (L_p), обусловленного облучающим фоном, и собственного излучения объекта (L_c) [6]:

$$L_{\Sigma}^{\Delta\lambda} = L_p^{\Delta\lambda} + L_c^{\Delta\lambda}, \quad (1)$$

где $\Delta\lambda$ – диапазон длин волн

$$L_c^{\Delta\lambda} = \varepsilon_o^{\Delta\lambda} \cdot L_o^{\Delta\lambda}(t_o), \quad (2)$$

$$L_p^{\Delta\lambda} = (1 - \varepsilon_o^{\Delta\lambda}) \cdot L_{обл}^{\Delta\lambda}(t), \quad (3)$$

где $\varepsilon_o^{\Delta\lambda}$ – коэффициент теплового излучения (КТИ) объекта для заданного спектрального

диапазона $\Delta\lambda$; $L_o^{\Delta\lambda}(t_o)$ – энергетическая яркость абсолютно черного тела при температуре объекта t_o в заданном спектральном диапазоне $\Delta\lambda$; $L_{обл}^{\Delta\lambda}(t)$ – диффузно-рассеянное излучение, обусловленное естественным фоновым излучением в заданном спектральном диапазоне $\Delta\lambda$.

Из формул (1) и (3) видно, что суммарная энергетическая яркость объектов ландшафта зависит от их температуры. Температура же этих объектов зависит от суммарной падающей на них солнечной радиации E_{Σ}

$$E_{\Sigma} = E_p + E_{\Pi}, \quad (4)$$

где E_p – рассеянная составляющая солнечной радиации; E_{Π} – прямая составляющая солнечной радиации (см. рис. 2).

Исходя из полученных результатов была определена задача исследовать возможное влияние величины освещенности природно-антропогенных объектов на значения их вегетационных индексов. Исследование показало, что предположение о влиянии величины освещенности ландшафта на значение его вегетационных индексов имеет право на существование, однако для более точных выводов необходимо провести ряд дополнительных исследований. На сегодняшний день во многих современных технологиях автоматизированной классификации мультиспектральных изображений по-прежнему используется метод расчета вегетационных индексов [2]. Вегетационные индексы получаются в результате операций с разными спектральными каналами мультиспектрального изображения и характеризуют параметры растительности в данном пикселе снимка. В большинстве случаев это каналы красного и инфракрасного диапазонов спектра [7].

Как вариант для дальнейших исследований была разработана программа полевых исследований с помощью беспилотного летательного аппарата, но из-за высокой стоимости съемки с БПЛА было принято решение использовать материалы космической съемки. Кроме мультиспектральных косми-

ческих снимков высокого разрешения были использованы гиперспектральные снимки среднего разрешения.

Постановка задачи

Для исследований был выбран наиболее распространенный вегетационный индекс для природных ландшафтов – NDVI [8]. Расчет и применение этого и других вегетационных индексов были ранее рассмотрены во многих научных трудах [8–13]. Значения индекса NDVI лежат в диапазоне от –1 до 1 [14–16], однако если с диапазоном значений этого индекса все определено, то с соотношением его значений и самим ландшафтом не все так ясно. Отрицательные значения индекса NDVI во всех источниках относят к поверхностям, не покрытым растительностью. С положительными же значениями не все так однозначно. В некоторых источниках указывается, что значение NDVI, равное 0,5, является признаком разреженной растительности [17], в то время как в другом источнике говорится, что диапазон 0,3–0,5 показывает самый высокий показатель для растительности [18–20]. В других источниках указано, что диапазон 0,2–0,3 представляют кустарники и луговая растительность [21], а диапазон значений 0,4–0,6 является показателем умеренной биомассы растительного покрова [22, 23]. В ходе выполнения исследования необходимо было проанализировать влияние плотности облачного покрова атмосферы и, как следствие, величины освещенности природных ландшафтов на значения индекса NDVI.

Расчет вегетационного индекса выполнялся по двум типам объектов: поля с преобладанием открытого грунта и с произрастающими сельскохозяйственными культурами. Необходимо было сравнить результаты расчета NDVI по мульти- и гиперспектральным снимкам, полученным при различной плотности облачного покрова.

Выбор материалов для исследования

Выбранный для исследования вегетационный индекс, показывающий наличие и состояние растительности (относительную биомассу) [7, 19, 21], сформировал требования по спектральному диапазону работы, предъявляемые

для регистрирующей аппаратуры космических систем:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}. \quad (5)$$

Регистрирующие системы должны были позволять получать информацию в видимом спектре излучения, а также в ближнем (~0,75–1,4 мкм) и среднем (~1,4–3 мкм) ИК диапазонах. В качестве космических мультиспектральных данных использовались архивные снимки, полученные космическим аппаратом (КА) «Ресурс-П» оптико-электронной аппаратурой «Геотон-Л1». В качестве района исследования был выбран участок Волгоградской области, включающий в себя территории с искусственным орошением почв.

В работе использовались архивных материалы космических съемок, поэтому участок выбирался из расчета наличия на его территории не менее двух маршрутов КА «Ресурс-П» при различной плотности облачного покрова. Маршруты съемки должны были быть сделаны с интервалом не более 5 дней, что обеспечивает относительно идентичную вегетационную фазу растений. Снимки подбирались на геопортале Роскосмоса (<https://gptl.ru>) на основе пространственных данных о территории. По результатам визуального дешифрирования космических снимков была выбрана территория, на площадь которой были снимки с высокой плотностью облачного покрова (дата съемки 02.08.2018, облачность 17 %) и низкой (дата съемки 05.08.2018, облачность 0 %) (таблица). Разная плотность облачного покрова на изображениях обеспечила разность величины освещенности в поле объекта при съемке.

Параметры космических снимков

Номер снимка	Плотность облачного покрова, %	Дата съемки
Гиперспектральная съемочная аппаратура (ГСА)		
8718	28605	0
8672	28560	17
Многозональная высокодетальная аппаратура («Геотон-Л1»)		
8718	28605	0
8672	28560	17

Пространственное разрешение мультиспектральных снимков составляет примерно 2–

3 м, гиперспектральных – примерно 30 м. Выбранные участки условно можно разделить на четыре группы по типу природно-антропогенного ландшафта: водная поверхность, городская территория, сельскохозяйственные земли с преобладанием открытого грунта и лесная растительность. Для расчета вегетационных индексов была произведена коррективировка совмещения космических изображений в разных спектральных каналах. На рис. 3 представлены индексные изображения распределения индекса NDVI на сельскохозяйственных полях.

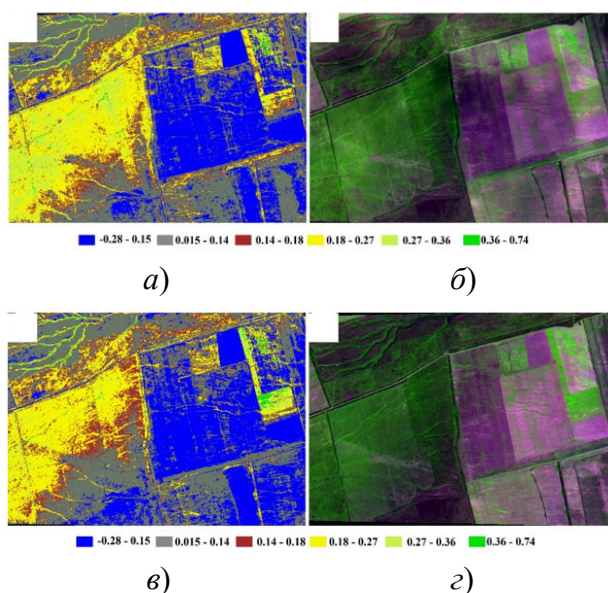


Рис. 3. Индексное изображение NDVI и фрагмент космического снимка в системе RGB на участок с сельскохозяйственными землями: а), б) дата съемки 02.08.2018, облачность 17 %; в), г) дата съемки 05.08.2018, облачность 0 %

Предполагалось, что с увеличением плотности облачного покрова снижается освещенность ландшафта и значения индекса NDVI будут изменяться равномерно в сторону уменьшения или увеличения, однако обратим внимание на распределение значений NDVI. На рис. 4 выделены два наиболее интересных поля, обозначенные цифрами 1 и 2.

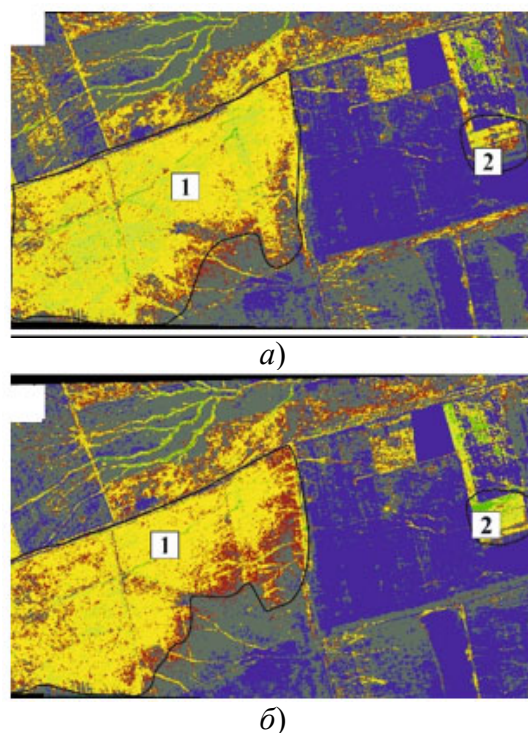


Рис. 4. Выделенные участки на индексном изображении NDVI: а) облачность 17 %; б) облачность 0 %

Общая тенденция изменения значений NDVI такова, что на снимке с более низкой плотностью облачного покрова индекс имеет более высокие значения, однако на выделенных областях можно заметить следующее. В области 2 значения NDVI более высокие на снимке с меньшей плотностью облаков. В тоже время в области 1 значения NDVI, наоборот, заметно снижены. Для объяснения такого поведения NDVI были построены спектральные профили ландшафта в нескольких выбранных точках (рис. 5).

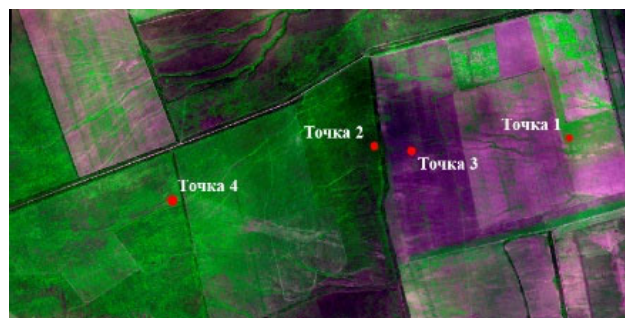


Рис. 5. Схема расположения точек для построения спектральных профилей ландшафта

Спектральные профили были построены по гиперспектральным снимкам «Ресурс-П» (рис. 6).

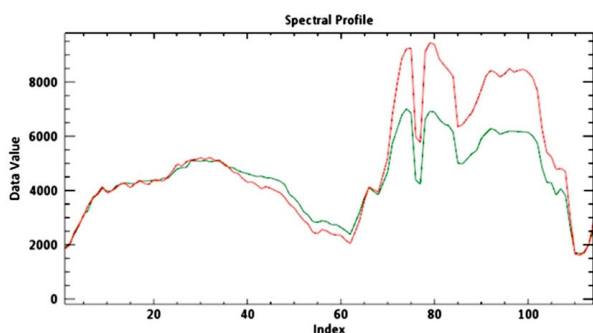


Рис. 6. Графики спектрального профиля, построенные по гиперспектральным снимкам «Ресурс-П», в точке № 1: красный – для снимка с облачностью 0 %, зеленый – для снимка с облачностью 17 %

Как видно из рис. 6, графики спектрального отклика природного ландшафта, полученные на разных гиперспектральных снимках, имеют следующую тенденцию. В зоне фиолетового и синего излучения графики практически совпадают, в то время как в зоне зеленого и желтого излучения (с 35 по 65 канал ГСА) график, полученный со снимка с плотностью облачного покрова в 17 %, имеет значения немного выше, чем на снимке с нулевым покровом облачности. В интервале же красного и ближнего ИК излучения значения графика, полученного по снимку с нулевым облачным покровом, значительно превышают значения, полученные по снимку с облачным покровом в 17 %. Как результат значения NDVI природного ландшафта (поле) в районе точки 1 на снимке с более плотным облачным покровом оказались ниже, чем на снимке с нулевой облачностью.

Графики спектрального профиля снимков в точке 4 (рис. 7) практически совпадают друг с другом на протяжении фиолетового, синего, зеленого, желтого участка спектра, и только в красном и ближнем ИК участке спектра значения графика спектрального профиля снимка с облачностью 0 % превышают значения графика снимка с 17 % облачностью. Стоит заметить, что это превышение не столь ярко выражено, как в точке 1. Отсюда получаем значения

NDVI по снимку с облачностью 0% ниже, чем по снимку с облачностью 17 %.

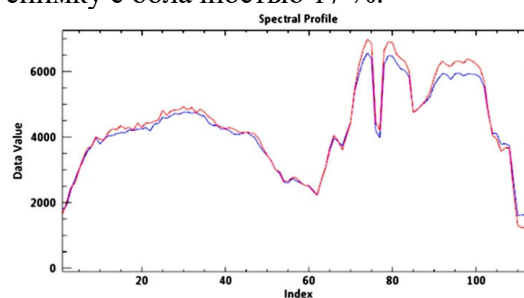


Рис. 7. Графики спектрального профиля, построенные по гиперспектральным снимкам «Ресурс-П», в точке № 4: красный – для снимка с облачностью 0 %, синий – для снимка с облачностью 17 %

В точках 2 и 3 значения графиков спектральных профилей снимка с облачностью 0 % превышают значения графика снимка с облачностью 17 %, что дает незначительное преобладание значений NDVI при нулевой облачности (рис. 8, 9).

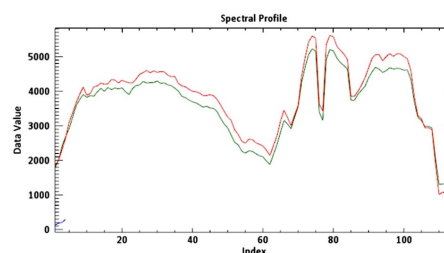


Рис. 8. Графики спектрального профиля, построенные по гиперспектральным снимкам «Ресурс-П», в точке № 2: красный – для снимка с облачностью 0 %, зеленый – для снимка с облачностью 17 %

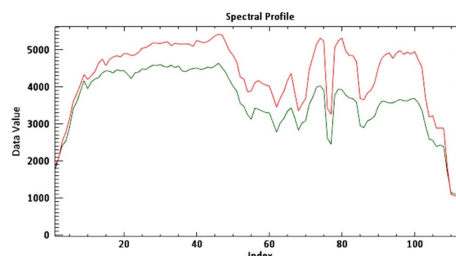


Рис. 9. Графики спектрального профиля, построенные по гиперспектральным снимкам «Ресурс-П», в точке № 3: красный – для снимка с облачностью 0 %, зеленый – для снимка с облачностью 17 %

Результаты

Результаты расчета значения индекса NDVI показали, что величина освещенности поверхности влияет как на величину отраженной энергии от природного ландшафта в видимом диапазоне, так и на величину его излучения в ближнем ИК диапазоне. При этом влияние имеет неравномерный характер, что приводит к изменению значений NDVI.

Снимки были выполнены в один и тот же суточный интервал, а разница в датах съемки не превышала трех дней, что позволило исключить возможность существенного изменения вегетационного состояния растительного покрова. Также стоит отметить, что в работе использовались участки, не подвергавшиеся механической обработке (вспашка, покос и т. п.) в указанный интервал.

Обсуждение результатов

Величина освещенности ландшафта меняется не только от плотности облачного покрова, но и в течение суток. Поэтому для получения более достоверных результатов эксперимента необходимо постоянно измерять в области объекта следующие параметры: освещенность, температуру воздуха, влажность и температуру грунта, причем измерение должно происходить одновременно с фиксированием аппаратурой дистанционного зондирования спектрального изображения ландшафта. Выполнить эти условия при использовании космической съемки невозможно. Применение беспилотного летательного аппарата во много раз повысит достоверность получаемых результатов. Однако и

в этом случае есть свои нюансы, такие как выбор времени и даты съемки, погодные условия, удовлетворяющие задачам эксперимента.

Выводы

В результате исследований было установлено, что освещенность объекта влияет на значение вегетационного индекса, но полученные результаты показали, что изменение вегетационного индекса имеет неоднородную тенденцию в поле изображения ландшафта. На одних участках значения индекса увеличивались, а на некоторых, наоборот, уменьшались. Так как участки были выбраны на территории земель сельскохозяйственного назначения, то возможно, на значения индексов повлияла неоднородная степень увлажнения почвенного покрова, на что могут указывать значения яркостей снимков в ближней ИК зоне спектра (см. рис. 7, 8). Применение беспилотных летательных аппаратов, а также проведение полевых исследований в районе съемки позволили бы получить более точные результаты. Однако для количественной оценки влияния освещенности на значения вегетационных индексов необходимо максимально исключить влияние сторонних факторов.

Создать необходимые условия для выполнения спектрометрических исследований растительного покрова можно в специально подготовленном лабораторном комплексе. Актуальность такого комплекса была сформулирована Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Научным геоинформационным центром РАН (НГИЦ РАН) в ходе научно-исследовательских работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асадов Х. Г., Керимов Н. И. К оценке влияния пылевого аэрозоля на точность измерения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI // Российский журнал прикладной экологии. – 2019. – № 4. – С. 28–32. – EDN VGMKBY.
2. Филиппов Д. В., Чурсин И. Н., Рулёв Д. Д., Бояренкова А. Д. Применение методов комплексной обработки данных дистанционного зондирования Земли для изучения процессов окарбонирования почв с искусственным орошением // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 80–91. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-80-91. – EDN CLTVKF.
3. Михеев С. В. Основы инфракрасной техники. – СПб. : Университет ИТМО, 2017. – 127 с. – EDN MLPOJV.
4. Филиппов Д. В., Рулев Д. Д., Чурсин И. Н. Исследование разрешающей способности цифровых изображений в различных диапазонах спектра // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 61–70. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-61-70. – EDN BWWUTC.
5. Филиппов Д. В., Рулев Д. Д., Чурсин И. Н. Исследование качества цифровых фотоизображений при различных условиях освещенности // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 27–33. – DOI 10.14489/vkit.2020.01.pp.027-033. – EDN: CKTYQT.

6. Кучерин П. Н., Лопин В. И., Лопин А. В., Макаров О. Ю. Математическая модель формирования инфракрасного излучения объекта в условиях естественного фонового облучения // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5, № 9. – С. 137–140. – EDN KWCMOJ.
7. Ткач А. В., Гордиенко А. С. Исследование состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 55–63. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63. – EDN UURWSZ.
8. Филиппов Д. В., Тарнопольский Л. А., Бояренкова А. Д. Исследование влияния освещенности на расчет вегетационных индексов на примере NDVI // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 151–162. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-151-162. – EDN LGDDYV.
9. Tahir Ali Akbar, Quazi K. Hassan, Sana Ishaq, Maleeha Batool, Hira Jannat Butt and Hira Jabbar Investigative Spatial Distribution and Modelling of Existing and Future Urban Land Changes and Its Impact on Urbanization and Economy // Remote Sens. – 2019. – 11 (105). – P. 1–15. – DOI 10.3390/rs11020105.
10. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – Т. 2. – С. 98–102. – EDN STYTLN.
11. Гребень А. С., Красовская И. Г. Анализ основных методик прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 2. – С. 170–180.
12. Noomen M. F. Hyperspectral reflectance of vegetation affected by underground hydrocarbon gas seepage. – Wageningen University and Research, 2007. – 167 p.
13. Ковязин В. Ф., Ань Д. Т. Л., Хунг Д. В. Прогноз состояния растительного покрова лесных угодий заповедника Донг Най Вьетнама // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 214–228. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-214-228. – EDN CZWUNC.
14. Якутин М. В., Шарикалов А. Г. Экологическая обстановка на территории Муравленковского нефтегазового месторождения (Западная Сибирь, ЯНАО) по данным дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 93–103. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-93-103. – EDN UNUKPN.
15. Верхотуров А. А., Мелкий В. А., Долгополов Д. В., Лисицкий Д. В. Мониторинг изменения состояния растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» по данным космических съемок // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 45–53. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53. – EDN AROBFE.
16. Кулик Е. Н., Байкин Д. А. Разливы нефтепродуктов на водной поверхности: методы анализа данных дистанционного зондирования Земли при их выявлении // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 61–73. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-61-73. – EDN MRDABW.
17. Дистанционное зондирование Земли при эколого-геологических исследованиях [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/RemoteSensing/Lecture06.pdf> (дата обращения 24.04.2023).
18. Керимов И. А., Батукаев А. А. Вегетационные индексы растительности: Литературный обзор // Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты : Материалы международной научной конференции, Грозный, 28 июня – 01 июля 2023 года. – Грозный : ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, 2023. – С. 36–49. – DOI 10.26200/GSTOU.2023.39.35.037. – EDN TNSVUP.
19. Миков С. И. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование // Цифровые технологии и бизнес : материалы 79-й студенческой научно-технической конференции, Минск, 17 мая 2023 г. / сост. М. Г. Карасёва. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 34–42.
20. Есхожин К. Д., Нукешев С. О. Оценка состояния растения с помощью вегетационного индекса NDVI // Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18(2): «Наука XXI века – эпоха трансформации». – 2022. – Т. 1, Ч. 1. – С. 215–218.
21. Что такое NDVI и его применение в сельском хозяйстве? [Электронный ресурс]. – URL: <https://agrosignal.com/articles/chto-takoe-ndvi-i-ego-primenenie-v-selskom-hozyajstve/?ysclid=luj-si69dml791982245> (дата обращения 04.06.2024).
22. Росайкина Е. А., Ивлиева Н. Г. Обработка данных дистанционного зондирования земли в гис-пакете ArcGIS // ОГАРЁВ-ONLINE. – 2015. – № 4 (45). – С. 1–9.
23. Галерея индексов ArcGIS [Электронный ресурс]. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm> (дата обращения 10.06.2024).

Об авторах

Дмитрий Викторович Филиппов – кандидат технических наук, директор.

Получено 27.09.2024

© Д. В. Филиппов, 2025

Assessment of the influence of illumination on the values of vegetation indices of natural-anthropogenic objects

D. V. Filippov¹✉

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Scientific Geoinformation Center of the Russian Academy of Sciences (NGIC RAS), Moscow, Russian Federation

e-mail: Gislabs@ngic.ru

Abstract. The paper considers the issue of the influence of the magnitude of landscape illumination on the values of vegetation index NDVI. The study was carried out in agricultural fields in the Volgograd region. Archival materials of multi- and hyperspectral satellite imagery performed by the Resurs-P spacecraft were used as remote sensing materials. The study showed that the value of the vegetation index NDVI varies unevenly on satellite images of the same object obtained in and at the same time interval of the day under different lighting conditions. For a deeper study of the influence of lighting conditions on the values of vegetation indices of the landscape, it was proposed to consider the possibility of using UAVs or creating a special laboratory modeling complex to perform remote spectrometric studies of vegetation cover.

Keywords: satellite imagery, vegetation indices, illumination, satellite images

REFERENCE

1. Asadov, H. H., Kerimov, N. I. (2019). On estimation of effect of dust aerosol on accuracy of measurements of normalized difference vegetation index (NDVI). *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]*, 4, 28–32, EDN VGMKBY [in Russian].
2. Filippov, D. V., Rulev, D. D., Chursin, I. N. (2022). Implementation of complex methods of earth's remote sensing data processing for studying carbonation processes of soils with artificial irrigation. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(1), 80–91. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-80-91, EDN CLTVKF [in Russian].
3. Mikheev, S. V. (2017). *Osnovy infrakrasnoy tekhniki [Basics of infrared technology]*. Saint Petersburg: ITMO University, 127 p. EDN MLPOJV [in Russian].
4. Filippov, D. V., Rulev, D. D., Chursin, I. N. (2022). Investigation of digital images resolution in various spectral ranges. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 61–70. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-61-70 EDN BWWUTC [in Russian].
5. Filippov, D. V., Rulev, D. D., Chursin, I. N. (2020). Digital image quality under different light conditions research. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]*, 17(1), 27–33. DOI 10.14489/vkit.2020.01.pp.027-033 EDN: CKTYQT [in Russian].
6. Kucherin, P. N., Lopin, V. I., Lopin, A. V., & Makarov, O. Ju. (2009). Mathematical model formation of infra-red radiation of object in the conditions of the natural background irradiation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Voronezh State Technical University]*, 5(9), 137–140 EDN KWCMOJ [in Russian].
7. Tkach, A. V., Gordienko, A. S. (2022). Investigation of the state of hydrographic objects in the area of oil production according to remote sensing of the Earth. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(6), 55–63. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63 EDN UURWSZ [in Russian].
8. Filippov D. V., Tarnopolsky L. A., Boyarenkova A. D. (2023). Investigation of the influence of illumination on the calculation of vegetation indices on the example of NDVI *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 28, No 5, P. 151–162. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-151-162. EDN LGDDYV [in Russian].

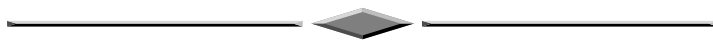
9. Akbar, T. A., Hassan, Q. K., Ishaq, S., Batool, M., Butt, H. J., & Jabbar, H. (2019). Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy. *Remote Sensing*, 11(2), 105, 1–15. DOI 10.3390/rs11020105.
10. Cherepanov, A. S., Druzhinina, E. G. (2011). Vegetation indices. *Geomatika*, 2, 98–102 EDN STYTTLN [in Russian].
11. Greben, A. S., Krasovskaya, I. G. (2012). Analysis of the main methods of forecasting yields using space monitoring data, in relation to grain crops of the steppe zone of Ukraine. *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi [Radioelectronic and computer systems]*, 2, 170–180 [in Russian].
12. Noomen, M. F. (2007). *Hyperspectral reflectance of vegetation affected by underground hydrocarbon gas seepage*. Wageningen University and Research, 167 p.
13. Kovyazin, V. F., Anh, D. T. L., Hung, D. V. (2020). Predicting forest land cover changes of Dong Nai reserve, Vietnam. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 214–228. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-214-228 EDN CZWUNC [in Russian].
14. Yakutin, M. V., Sharikalov, A. G. (2019). Ecological situation on the territory of Muravlenko oil field (Western Siberia, YNAO) based on remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 93–103. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-93-103 EDN UNUKPN [in Russian].
15. Verhoturov, A. A., Melkiy, V. A., Dolgoplov, D. V., & Lisitsky, D. V. (2022). Monitoring changes in the state of vegetation cover on the section of the Sakhalin-2 project pipeline route according to space imagery data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(4), 45–53. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53 EDN AROBFE [in Russian].
16. Kulik, E. N., Baikin, D. A. (2022). Oil spills on the water surface: methods of remote sensing data analysis for their identification. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(4), 61–73. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-61-73 EDN MRDABW [in Russian].
17. Remote sensing of the Earth in ecological and geological studies Retrieved from <http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/RemoteSensing/Lecture06.pdf> (accessed 24.04.2023) [in Russian].
18. Kerimov, I. A., Batukaev, A. A. (2023). Vegetation Indexes Review. In *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Covremennye tendentsii nizkouglerodnogo razvitiya: global'nye i regional'nye aspekty» [Proceedings of the International Scientific Conference «Modern trends in Low-carbon Development: Global and regional aspects»]* (pp. 36–49). DOI 10.26200/GSTOU.2023.39.35.037 EDN TNSVUP [in Russian].
19. Mikov, S. I. (2023). Vegetation indices. Basics, formulas, practical use. In *Materialy 79-oy studencheskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii [Proceedings of the 79th Student Scientific and Technical Conference]* (pp. 34–42). Minsk: BNTU [in Russian].
20. Yeskhodzhin, D. Z., Nukeshev, S. O. (2022). Assessment of plant condition using the NDVI vegetation index. In *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Seifullinskie chteniya – 18(2): «Nauka XXI veka – epokha transformatsii» [Proceedings of the international scientific and practical conference «Seifullin readings - 18(2): "Science of the XXI century – the era of transformation»]* (pp. 215–218) [in Russian].
21. What is NDVI and its application in agriculture? Retrieved from <https://agrosignal.com/articles/chto-takoe-ndvi-i-ego-primenenie-v-selskom-hozyajstve/?ysclid=lujisi69dml791982245> (accessed 04.06.2024) [in Russian].
22. Rosyaikina, E. A., Ivlieva, N. G. (2015). Processing of remotely sensed data by means of ArcGIS software. *OGAREV – ONLINE*, 4(45), 1–9 [in Russian].
23. The gallery of the ArcGIS indexes Retrieved from <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm> (accessed 10.06.2024) [in Russian].

Authors details

Dmitry V. Filippov – Ph. D., Director.

Received 27.09.2024

© D. V. Filippov, 2025



УДК 528.9:[004.4+004.9]

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-95-102

Картографическая геймификация как средство познания действительности

Л. К. Радченко¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,

г. Новосибирск,

Российская Федерация

e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения геймификации в картографии. Разобраны понятия «геймификация» и «игра». Рассмотрена история создания картографических игр, приведены функции игры и классификация игр. На базе рассмотренных двух направлений геймификации в картографии сформулировано понятие «картографическая геймификация». Приведены примеры обучающих и познавательных картографических игр, на основе которых предложена классификация картографических игр.

Ключевые слова: картографическая геймификация, познавательные и обучающие картографические игры, познание действительности

Для цитирования:

Радченко Л. К. Картографическая геймификация как средство познания действительности // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 95–102. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-95-102

Введение

По данным Аналитического центра НАФИ в рамках исследовательского спецпроекта «Гейминг в России-2022», который организован совместно с Организацией развития видеоигровой индустрии с целью оценить потенциал развития индустрии видеоигр в России в ближайшие годы, стало известно, что 60 % россиян в возрасте 18 лет и старше играют в видеоигры – регулярно или эпизодически (порядка 88 млн человек). По сравнению с данными 2018 г., доля геймеров в России увеличилась более чем в 3 раза [1].

Гейминг как явление стремительно развивается в глобальных масштабах. Увлечение видеоиграми с каждым днем охватывает все большее число людей: этому способствуют

растущее жанровое разнообразие, демократизация самого игрового процесса (чтобы стать геймером, уже не нужно приобретать дорогие цифровые устройства и комплектующие); происходит внедрение элементов видеоигр в различные области жизнедеятельности (наука, медицина, образование и др.). В статье [2] выделяют несколько задач применения геймификации в образовании: это вовлечение обучающихся, возбуждение интереса, выстраивание коммуникации на равных для того, чтобы прийти к единой цели – производству знания. То есть игра выступает для достижения результата, а не ради самого процесса, а геймификация – новой формой подачи знаний, дает возможность развития критического мышления. Научная работа [3] описывает положительные результаты в про-

изводительности обучающихся в когнитивных, эмоциональных и социальных областях.

В настоящее время создание видеоигр трансформировалось из инструмента творческой самореализации в самостоятельный жанр искусства, а официально признанный отдельным видом спорта киберспорт открывает широкие возможности для профессиональной самореализации тех геймеров, которые давно перестали считать видеоигры всего лишь развлечением [1]. Определений понятия «игра» очень много, приведем некоторые из них: игра – это деятельность, которая осуществляется по добровольно принятым правилам в условных ситуациях, задаваемых в символической форме в ограниченном времени и пространстве (например, игровое поле или экран монитора) [4]. Другое определение: игра – это основной способ взаимодействия ребенка с миром, его путь к освоению и познанию окружающей действительности; в игре развиваются интеллектуальные, моральные, волевые и физические качества детей, формируется их личность. Элементы игры пронизывают и современную профессиональную взрослую жизнь, проявляясь, например, в экономике – «биржевые игры», в обучении – «деловые игры», в дипломатии и политике – «политические игры» [5].

Геймификация полезна при преподавании таких тем географии, как поселения, развитие, использование и управление ресурсами. Включение в уроки географии занятий на основе картографии и занятий по геоэшингу улучшает понимание и географии, и картографии учащимися [6]. Игровые методы обучения могут быть использованы на различных этапах образовательного процесса, от начального до среднего и высшего образования.

Гипотеза данного исследования: картографическая геймификация – это отдельный раздел тематической картографии. Для подтверждения гипотезы необходимо:

- разобраться, применяется ли геймификация в картографии, и если да, то какие виды геймификации используются в картографии;
- обозначить и описать такой термин, как картографическая геймификация;
- рассмотреть виды картографических игр и проклассифицировать их;

– выделить особенности содержания картографических игр.

Материалы и методы

Геймификация – это метод внедрения игровых форм в неигровой контекст: работу, учебу и повседневную жизнь. Различают игровой подход – это обучение в рамках конкретной игры и геймификацию – применение игровых методик в повседневных процессах ради повышения мотивации. Геймификация помогает создать большую вовлеченность во всех сферах, где она применяется, и превратить учебу в увлекательный и интересный процесс [7].

Чаще всего геймификация применяется в образовании и трактуется как применение игровых методик и элементов в процессе обучения. Цель геймификации в образовании – сделать обучение увлекательнее и интереснее для учащихся, повысить мотивацию и уровень вовлеченности, тем более что новые поколения – «миллениалы» и «зумеры» – с детства привыкли к видеоиграм, и перенос соревновательной и поощряющей методики более органично вписывается в их жизнь. Учеными доказано, что игры способствуют становлению творческой личности ученика, помогают принимать решения, развивают познавательный интерес к изучаемому предмету, формируют черты характера, стимулируют к поиску решений различных вопросов и формируют собственные позиции [8]. Незаменимым элементом картографической игры является карта, которая благодаря своему содержанию и символизации дает игроку информацию об игровом пространстве и выступает способом общения и понимания мира [9].

История создания картографических настольных игр очень богата. В [10] написано о таких играх, которые не только развлекали, но и просвещали, воспитывали и помогали в усвоении учебной программы по окружающему миру, истории и географии. Интерес представляют следующие картографические продукты:

- складной глобус, составленный из карт мира и небесной сферы. Каждая карта разрезана на 6 полос, которые соединены веревочным механизмом, придающим им форму шара. Составил глобусы В. К. Кротов (1849 г.)

с дозволения Военно-топографического депо в г. Санкт-Петербурге, издал В. П. Поляков (1810-е–1875) – издатель и книготорговец, купец 3-й гильдии. В начале своего профессионального пути служил приказчиком у книготорговца И. И. Глазунова, в книжной лавке санкт-петербургского Гостиного двора;

– карточные колоды иллюстрированных карт, на которых изображены карты в схематичной форме, передающие знания о губерниях Российской империи. На лицевой стороне каждой карты помещены ее масть, герб губернии с перечнем крупнейших городов и фигурой в традиционной для данной губернии одежде. На обороте – схематическая карта губернии с указанием расстояния до Санкт-Петербурга и Москвы, обозначением соседних губерний, показанием важнейших гидрографических объектов и транспортных путей. Такие иллюстрированные карты получили распространение в середине XIX в. в России, например карточные колоды с дополнительной информацией: видами городов, костюмами разных народов, сведениями из истории и других наук. Один из ярких примеров – популярная азбука И. И. Теребенева (1780–1815) «Подарок детям в память о событиях 1812 года»;

– географическое лото из 80 раскрашенных карт губерний и областей Российской империи (11 × 8 см) «Альбом географических карт России, расположенных на 80 листках по бассейнам морей, или Замечательный и поучительный детский гранпасьянс». На каждой карте представлены сведения о культуре, истории, экономике и географии губернии. На одной стороне описаны главные отличительные особенности провинции: реки, горы, крупные города и ключевые отрасли промышленности, помещены виды ландшафтов, бытовые сцены, изображения архитектурных достопримечательностей. На другой стороне – карта и герб губернии, информация о населении, фигуры в традиционной для данной местности одежде;

– «Карта Союза Советских Социалистических Республик. Путешествие на аэроплане по СССР : географическая игра. – Ленинград : Начатки знаний ; Государственная картография Научно-технического отдела ВСНХ (1924)». Культурно-просветительское кооперативное товарищество «Начатки знаний»

было организовано в Петрограде в 1918 г.; его редакционный совет состоял из опытных педагогов. Издательство выпускало художественную и научно-популярную литературу для детей и юношества, а также настольные игры («Артиллерийский бой. Военно-стратегическая игра», «Вокруг света по пятиконечной звезде. Географическая игра»), лото («Азбука-лото», «Лото иностранных языков»), головоломки;

– большой пазл «Карта мира» (Атлас мира / Маттео Гауле. – М. : Махаон, 2018). Самому появлению пазлов человечество обязано географической науке и лондонскому граверу, картографу и издателю, члену Королевского географического общества Дж. Спилсбери (1739–1769), так как первым пазлом была наклеенная на деревянную панель и разрезанная географическая карта, которую ученики Спилсбери должны были собрать заново. Обучающая головоломка завоевала популярность, Спилсбери получил патент на свое изобретение, и игра стала распространяться по всему миру [10].

Обсуждение и результаты

В человеческой деятельности игра выполняет ряд функций, таких как учебно-познавательная (реализуется во многих дошкольных мероприятиях и при изучении школьных дисциплин), развлекательная (в процессе игры выполняется основная функция игры – развлечь), коммуникативная (общение между людьми), игротерапевтическая (решение различных трудностей), диагностическая (выявление отклонений от общепринятого поведения), коррекционная (внесение позитивных изменений в структуру личностных показателей), социальная (усвоение норм человеческого общения), межнациональная коммуникация (усвоение единых принципов социально-культурных ценностей).

Игры классифицируются по разным признакам:

– по игровому режиму: аналоговые, цифровые (онлайн-игры, оффлайн-игры);

– по применению: качественное образование, экзаменационно-ориентированное образование;

– по продукту: предметные игры, игры для изучения языка и др.;

– по типу игры: стратегические, математические игры, головоломки, словесные игры и другие [11].

Геймификация в картографии применяется для познания действительности следующим образом:

1) когда для обучения используются готовые карты, и на их основе проводятся игры, например найти географический объект на карте, найти лишний термин или название географического объекта по определенному признаку, путешествие по карте с прокладыванием маршрута через определенные объекты, т. е. карта служит инструментом для проведения игры. Исследования, освещенные в статье [12], подчеркивают значимое влияние геймификации в образовательной среде, особенно в сочетании с передовыми технологиями, например AR (дополненная реальность) – уроки можно геймифицировать, включив в них квесты, задачи и награды, что делает процесс обучения более интерактивным и приятным. В статье [13] представлены сценарные планы реализации функций дополненной реальности в картографии и геоинформатике, которые также можно использовать и для обучения этим наукам. Второй способ – когда с использованием уже готовых карт создают обучающие картографические игры по изучению географии и картографии, то есть тем самым выполняется образовательная функция картографических игр;

2) когда ранее изданные карты становятся основами для создания различных познавательных картографических игр.

Таким образом, геймификация в картографии проявляется двояко и появляется необходимость сформулировать такое понятие, как «картографическая геймификация».

Картографическая геймификация – это метод внедрения игровых форм в изучении картографии и других наук о Земле, а также использование картографического подхода в играх, направленных на познание окружающей действительности, где картографические игры – это особый продукт

картографии и геоинформатики, а карта – особый вид тематической карты.

На кафедре картографии и геоинформатики СГУГиТ ведутся систематические исследования по разработке и созданию познавательных картографических продуктов [14], в частности, познавательных картографических игр и игр для изучения картографии. Примерами могут служить картографические игры, представленные на рис. 1–3.



Рис. 1. Настольная познавательная картографическая игра «Памятники природы Новосибирской области»; выполнили обучающиеся гр. БК-4 (2023 г.) С. А. Сивкова, Е. А. Шалагина, А. М. Тюканова под руководством к. т. н., доцента кафедры картографии и геоинформатики Л. К. Радченко

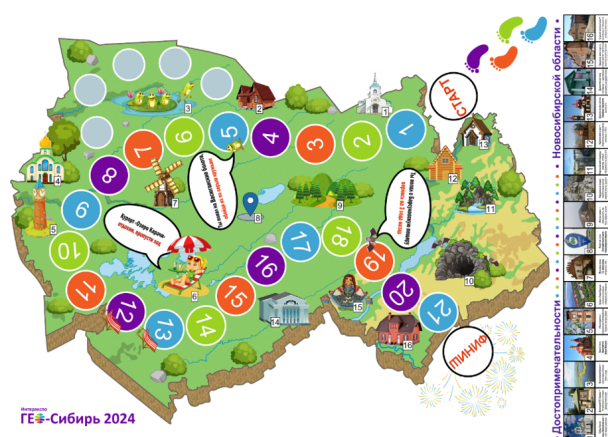


Рис. 2. Напольная познавательная картографическая игра «Достопримечательности Новосибирской области»; выполнила обучающаяся гр. БК-21 (2023 г.) К. А. Есипова под руководством к. т. н., доцента кафедры картографии и геоинформатики Л. К. Радченко



Рис. 3. Электронная обучающая картографическая игра по изучению картографии; выполнила обучающаяся гр. БК-31 (2023 г.) М. Ю. Даупарас под руководством к. т. н., доцента кафедры картографии и геоинформатики Л. К. Радченко

Исходя из опыта создания картографических познавательных игр и анализа ранее изданных картографических игр, их можно классифицировать по следующим признакам:

- по способу использования: настольные, настенные, напольные и т. д.;
- по формату: аналоговые, электронные;
- по игровой форме: квесты, квизы, викторины, олимпиады и пр.;
- по назначению: детские, взрослые;
- по функциональной принадлежности: познавательные, обучающие, творческие, интеллектуальные;
- по характеру игровой методики: подвижно-познавательные (ходилки-бродилки), интеллектуальные (головоломки), обучающие (найти объект по запросу другого игрока) и пр.

К особенностям содержания познавательных картографических игр можно отнести упрощенную картографическую основу, яркое представление познавательной информации и знаний по передаваемой теме и обязательное присутствие элементов игры (например, отображение маршрута, по которому передвигается игрок). Особенности содержания обучающих картографических игр является придерживание разделами рабочей программы преподаваемой дисциплины.

Одна из черт, присущая любой игре, – постоянная количественная или качественная оценка действий пользователя. Это может быть отображение процентной степени выполнения задания, показ места в общем рейтинге, отметки получаемых достижений, общий прогресс изучения темы. Все это дает возможность наглядно увидеть результаты деятельности и стимулирует продолжение познания и обучения.

Выводы

Картографическая геймификация играет большую роль в учебно-образовательном процессе, с ее помощью можно обучить, заинтересовать, активизировать познавательную деятельность. Результатами деятельности познавательных картографических игр можно считать получение знаний об окружающей действительности, выработку умений и навыков по формированию потребностей и способностей активно мыслить, благодаря чему развивается и сама познавательная деятельность [15]. Результатами обучения с помощью обучающих картографических игр будут более глубокие профессиональные знания. Основой для обучающих и познавательных картографических игр выступает карта как мощный инструмент для коммуникации и познания действительности, а также источник знаний [16]. Картографическую геймификацию можно отнести к особому разделу тематической картографии – к активно развивающемуся разделу социальной картографии, а значит, требующей теоретического описания и обоснования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гейминг в России – 2022. Социальные и экономические эффекты [Электронный ресурс]. – URL: <https://nafi.ru/projects/it-i-telekom/geyming-v-rossii-2022-sotsialnye-i-ekonomicheskie-effekty> (дата обращения: 07.11.2024).

2. Койшина Е. А., Попова Т. А. Перспективы геймификации: анализ восприятия образа игры обучающимися // Мир науки. Социология, филология, культурология. – 2023. – Т. 14, № 4. – EDN KFKADA.
3. Караваев Н. Л., Соболева Е. В. Совершенствование методологии геймификации учебного процесса в цифровой образовательной среде : монография. – Киров : Вятский государственный университет, 2019. – 105 с.
4. Большая российская энциклопедия. Игра [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/c/igra-c36df3> (дата обращения: 29.11.2024).
5. Игра [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanierussia.ru/articles/%D0%98%D0%B3%D1%80%D0%B0,2> (дата обращения: 07.11.2024).
6. The Efficacy of Gamification in Geography Learning [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ieducation.co.za/the-eficacy-of-gamification-in-geography-learnng/https://www.intechopen.com/chapters/1184197> (дата обращения: 05.12.2024).
7. Что такое геймификация? [Электронный ресурс]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/605c6f2f9a79473a61646994> (дата обращения: 09.11.2024).
8. Использование в учебном процессе картографического материала [Электронный ресурс]. – URL: https://www.yaneuch.ru/cat_15/ispolzovanie-v-uchebnom-processe-kartograficheskogo/199342.2054017.page2.html (дата обращения: 09.11.2024).
9. Tymoteusz Horbiński, Krzysztof Zagata View of Cartography in Video Games: Literature Review and Examples Of Specific Solutions [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/359617536_View_of_Cartography_in_Video_Games_Literature_Review_and_Examples_of_Specific_Solutions (дата обращения: 04.12.2024).
10. Наследие отечественной учебной картографии XVIII–XXI вв. [Электронный ресурс]. – URL: <https://expositions.nlr.ru/ve/RA7479/nastolnye-geograficheskie-igry> (дата обращения: 04.12.2024).
11. Размер рынка детских образовательных игр [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kingsresearch.com/ru/kids-educational-games-market-8> // (дата обращения: 25.11.2024).
12. Alexandru Predescu and Mariana Mocanu, Gamification in Real-World Applications: Interactive Maps and Augmented Reality [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/1184197> (дата обращения: 05.12.2024).
13. Пошивайло Я. Г., Батырова К. С. Анализ и систематизация технических средств и технологий дополненной реальности в картографии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 3. – С. 154–162. – DOI 10.18799/24131830/2024/3/4237. – EDN WKXCQO.
14. Радченко Л. К. Познавательный аспект в картографии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 138–145. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-138-145. – EDN YFKUPA.
15. Анкин Д. В. Теория познания : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2019. – 192 с. – EDN:= YZWDTN.
16. 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. – EDN WNZIXZ.

Об авторах

Людмила Константиновна Радченко – кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики.

Получено 04.02.2025

© Л. К. Радченко, 2025

Cartographic gamification as a means of understanding reality

L. K. Radchenko¹✉

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

e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

Annotation. The article discusses the use of gamification in cartography. The concepts of «gamification» and «game» are analyzed. The history of the creation of cartographic games is considered, the functions of the game and the classification of games are given. Based on the two directions of gamification used in cartography, the concept of «cartographic gamification» was formulated. Examples of educational and educational cartographic games are given, on the basis of which a classification of cartographic games is proposed.

Keywords: knowledge of reality, educational and educational cartographic games, cartographic gamification

REFERENCES

1. Gaming in Russia - 2022. Social and economic effects. Retrieved from <https://nafi.ru/projects/it-i-telekom/geyming-v-rossii-2022-sotsialnye-i-ekonomicheskie-effekty> (date of access: 07.11.2024) [in Russian].
2. Koishina, E. A., Popova, T. A. (2023). Prospects for gamification: analysis of the perception of the image of the game by students *Mir nauki. Sotsiologiya, filologiya, kul'turologiya [World of Science. Sociology, philology, cultural studies]*. Vol. 14. No. 4. EDN KFKADA [in Russian].
3. Karavaev, N. L., Soboleva E. V. (2019). Improving the methodology of gamification of the educational process in a digital educational environment: monograph *Kirov: Vyatka State University*. 105 p. [in Russian].
4. Big Russian Encyclopedia, Game. Retrieved from <https://bigenc.ru/c/igra-c36df3> (date of access: 11.29.2024) [in Russian].
5. Game, Retrieved from <https://znanierussia.ru/articles/%D0%98%D0%B3%D1%80%D0%B0.2> (date of access: 11.07.2024) [in Russian].
6. The Efficacy of Gamification in Geography Learning. Retrieved from <https://www.ieducation.co.za/the-efficacy-of-gamification-in-geography-learning/https://www.intechopen.com/chapters/1184197> (date of access: 12.05.2024).
7. What is gamification? Retrieved from <https://trends.rbc.ru/trends/education/605c6f2f9a79-473a61646994> (date of access: 11.09.2024) [in Russian].
8. Use of cartographic material in the educational process. Retrieved from https://www.ya-neuch.ru/cat_15/ispolzovanie-v-uchebnom-processe-kartograficeskogo/199342.2054017.page2.html (date of access: 11.09.2024) [in Russian].
9. Tymoteusz Horbiński, Krzysztof Zagata View of Cartography in Video Games: Literature Review and Examples Of Specific Solutions. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/359617536_View_of_Cartography_in_Video_Games_Literature_Review_and_Examples_of_Specific_Solutions. (date of access: 12.04.2024) [in Russian].
10. The legacy of domestic educational cartography of the 18th–21st centuries. Retrieved from <https://expositions.nlr.ru/ve/RA7479/nastolnye-geograficheskie-igry> (date of access: 12.04.2024) [in Russian].
11. Size of the market for children's educational games Retrieved from <https://www.kingsresearch.com/ru/kids-educational-games-market-8> (date of access: 11/25/2024) [in Russian].

12. Alexandru Predescu and Mariana Mocanu, Gamification in Real-World Applications: Interactive Maps and Augmented Reality. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/1184197> (date of access 12.05.2024).

13. Poshivaylo, Ya. G., Batyrova K. S. (2024). Analysis and systematization of technical means and technologies of augmented reality in cartography *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering.]* Vol. 335, No. 3. P. 154–162. DOI 10.18799/24131830/2024/3/4237. EDN WKXCQO [in Russian].

14. Radchenko, L. K. (2020). Cognitive aspect in cartography *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* . Vol. 25, No. 4. pp. 138–145 [in Russian].

15. Ankin D. V. (2019). Theory of knowledge: textbook. allowance. *Ekaterinburg: Ural University Publishing House*. 192 p [in Russian].

16. Radchenko L. K. (2024). Development of the concept of cognitive mapping // *Geodesy and cartography*. No. 7. P. 25–33. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1009-7-25-33 EDN WNZIXZ [in Russian].

Author details

Lyudmila K. Radchenko – Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics.

Received 04.02.2025

© *L. K. Radchenko*, 2025

УДК 528.9:551.577

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-103-110

Оценка подходов к картографической визуализации климатических данных (на примере картографирования осадков)

А. А. Титов¹, Н. М. Биктимирова¹

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

e-mail: altitks@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению картографических материалов, в которых рассматривается картографирование климата с целью выявления и оценки подходов к отображению различных климатических данных. В данной работе в качестве примера выбраны картографические материалы, характеризующие данные по осадкам. В процессе сбора материалов была проведена систематизация картографических источников, а также проанализировано их содержание и оформление. В результате проведенного исследования было выявлено, что при разработке цветowych шкал зачастую не учитывается принцип ассоциативности цвета с отображаемым явлением и, как следствие, затрудняется читаемость динамики количественного показателя. Поэтому предлагаются новые подходы к выбору цветowych решений шкалы, характеризующей количество атмосферных осадков, и ее представления в легенде карты. Проведенное изучение обуславливает направление дальнейшего исследования в области картографирования климата с целью совершенствования картографической визуализации климатических данных.

Ключевые слова: климатические карты, картографическая визуализация, климат, осадки

Для цитирования:

Титов А. А., Биктимирова Н. М. Оценка подходов к картографической визуализации климатических данных (на примере картографирования осадков) // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 103–110. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-103-110

Введение

Продуманное визуальное представление климатических данных на карте является важным для специалистов, занимающихся картографическим методом исследования климатических условий, а также для большинства людей как потребителей такой информации. Следовательно, при картографировании климатических данных необходимо учитывать не только свойства, которыми должна обладать создаваемая карта, но также и закономерности зрительного восприятия читателя. Одним из свойств картографического изображения является наглядность – предоставляемая картой возможность зрительного восприятия пространственных форм, размеров и размещения изображаемых объектов. Наглядность понимается как доступность узнавания по зрительной ассоциации условных обозначений и цветов карты с отображаемыми объектами. Примером

служат изображения наглядными знаками аэропортов, гидрографии синим цветом, а лесов – зеленым. В отдельных случаях учитывают косвенные признаки картографируемых явлений. К примеру, применение теплых цветов для изображения изолиний теплого периода, холодных цветов – холодного периода, что вызывает у читателя определенные ассоциации.

Кроме того, необходимо учитывать психофизиологические особенности восприятия и распознавания картографической информации, связанные с физиологией человека, для которого орган зрения является важнейшим из органов чувств, так как позволяет получить до 90 % информации об окружающем мире.

Целью исследования является выявление проблем при картографической визуализации климатических явлений (на примере осадков), а также разработка цветовой оформления шкалы для климатической карты (на примере

изогийет годовых осадков), учитывающего вышеизложенные требования. Для проведения исследования выполнен сбор, анализ и оценка картографических материалов. Одной из решаемых задач исследования является привлечение внимания специалистов к проблеме разработки качественной картографической визуализации климатических данных.

Методы и материалы

Для проведения исследования были подобраны климатические карты, отображающие различные показатели, связанные с осадками, в научных статьях [1, 2], а также тематические и комплексные атласы («Национальный атлас России» (2008), «Атлас офицера России» (2021), «Атлас Республики Карелия» (2021), «Физико-географический атлас мира» (1964), «Большой советский атлас мира» (1937), «Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа» (2004), «Атлас Ленинградской области» (2022), «Атлас гигантских наледей-тарынов Северо-Востока России» (2021), «География. 7 класс» (2013), The Atlas of the Real world (2010), България. Географски атлас (2010)). В проведенном анализе не рассматривались веб-сервисы о климате, так как в них не используются традиционные методы картографической визуализации климатических данных.

Результаты

Систематизация картографических источников. Начальным этапом являлась группировка картографических источников на атласы и карты в научных статьях.

Атласы были систематизированы по назначению, в соответствии с классификацией Т. Г. Сватковой (рис. 1) [3].

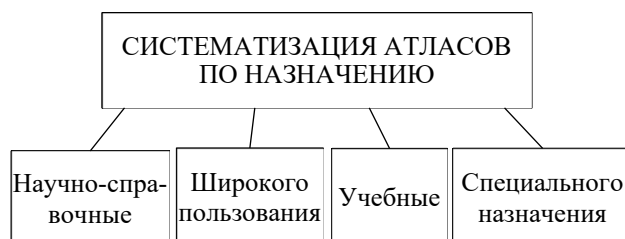


Рис. 1. Систематизация атласов по назначению

Анализ картографических источников. В результате вышеприведенной систематизации было принято решение проанализировать картографические источники, классифицировав их по назначению [4]. Для проведения анализа были выбраны климатические карты, основным тематическим содержанием которых является характеристика атмосферных осадков. Анализ и оценка карт проводилась по климатическим показателям (рис. 2).

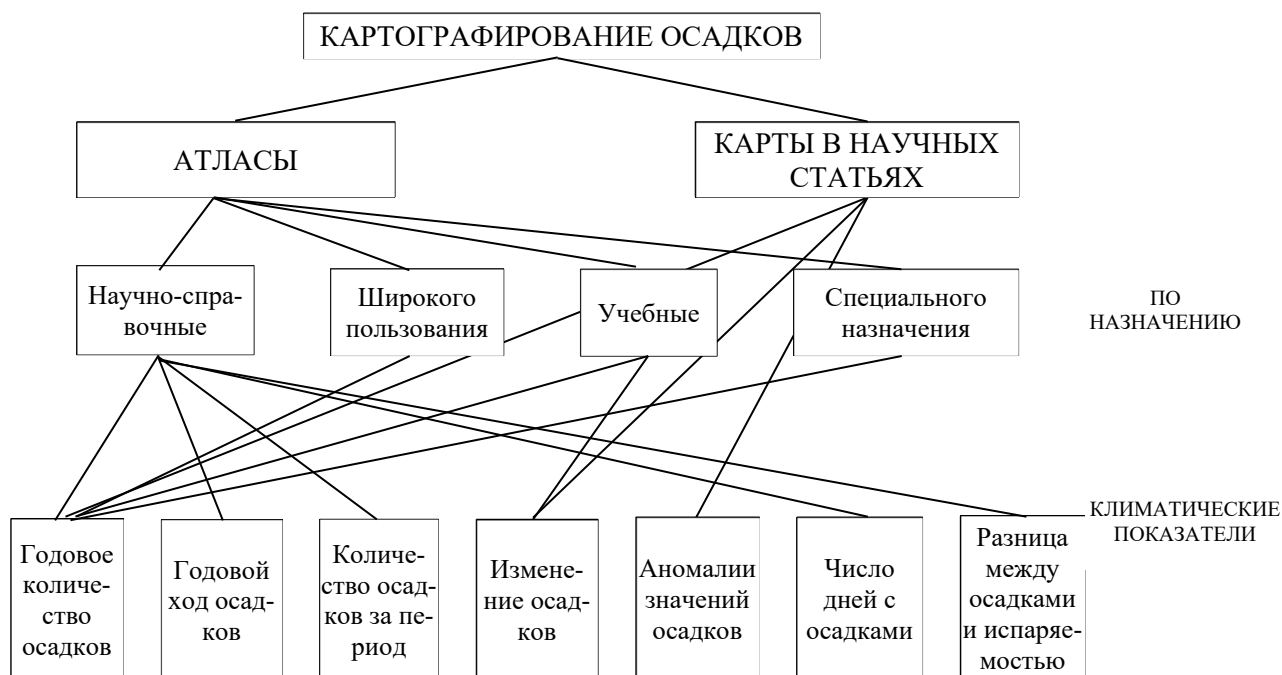


Рис. 2. Систематизация карт по климатическим показателям

картографических произведениях (рис. 3–7).

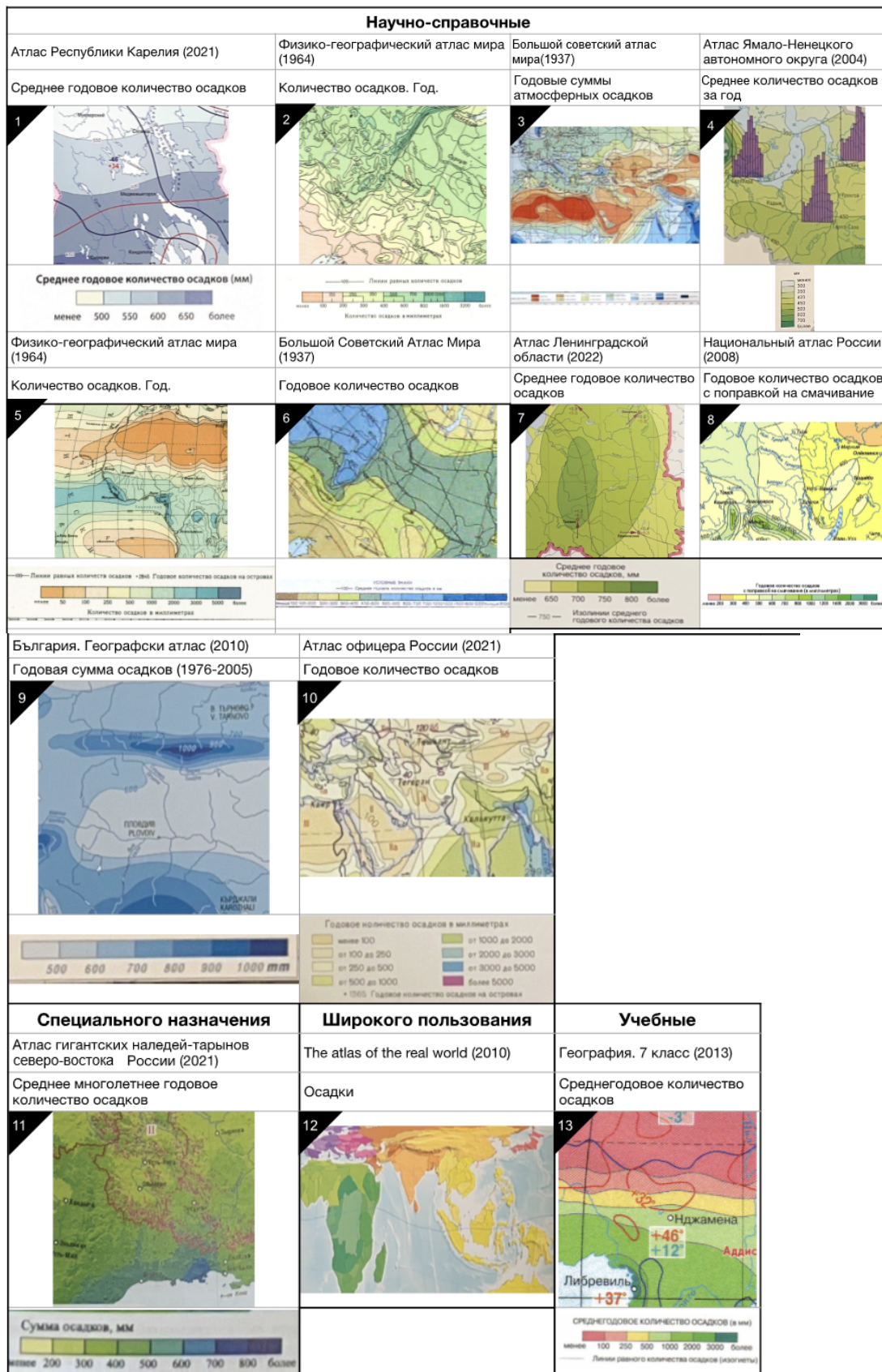


Рис. 3. Визуализация годового количества осадков в атласах



Рис. 4. Визуализация годового хода осадков в атласах

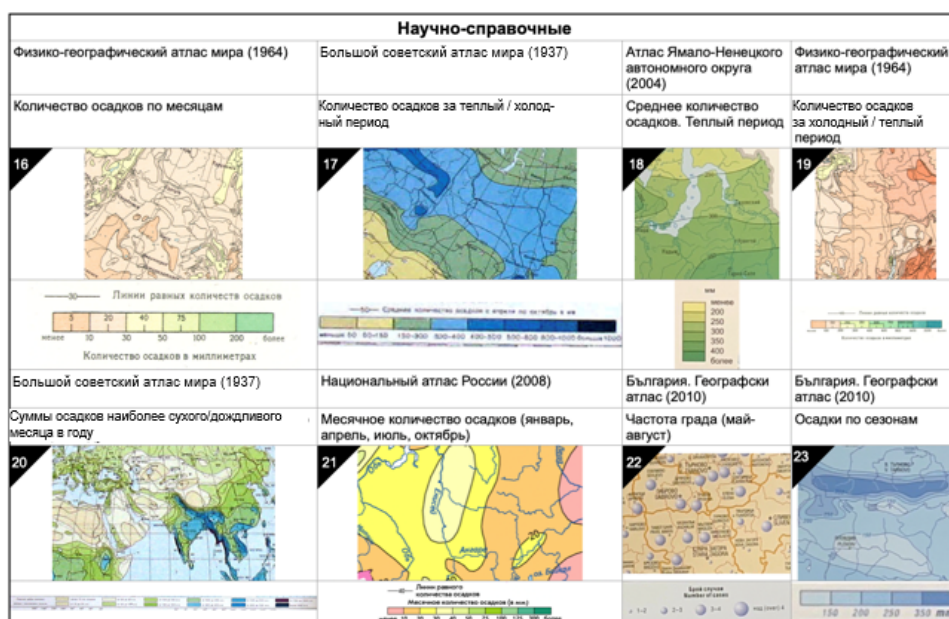


Рис. 5. Визуализация количества осадков за период в атласах

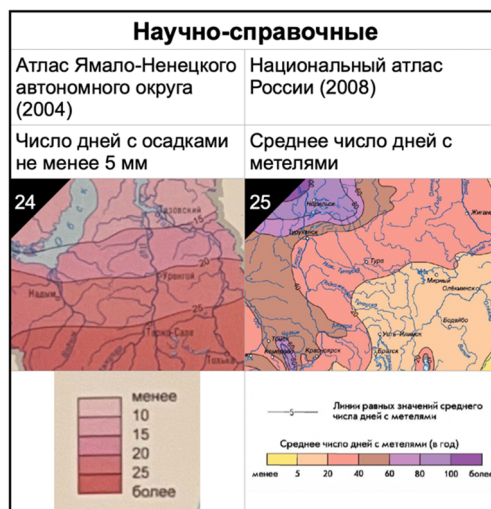


Рис. 6. Визуализация числа дней с осадками в атласах



Рис. 7. Визуализация разницы между осадками и испаряемостью в атласах



Рис. 10. Визуализация аномалий значений осадков в научных статьях

Обсуждение

Далее была рассмотрена визуализация климатических показателей в научных статьях (рис. 8–10) [1, 2].



Рис. 8. Визуализация годового количества осадков в научных статьях

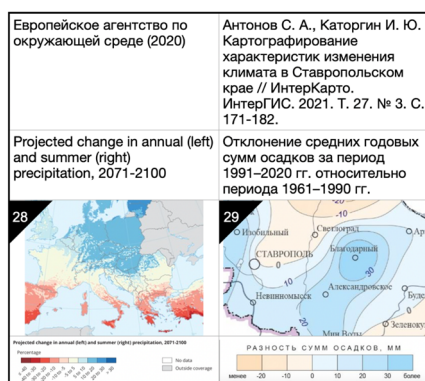


Рис. 9. Визуализация изменения осадков в научных статьях

Изучив различные варианты оформления климатических показателей, связанных с водой в атмосфере, на картах, можно сделать следующие выводы.

В научно-справочных, учебных атласах, в атласах специального назначения, а также в научных статьях для отображения тематического содержания, посвященного осадкам, используется способ изолиний, предназначенный для показа непрерывных и постепенно изменяющихся в пространстве явлений. Главным изобразительным средством в данном способе картографического изображения являются изолинии, сопровождающиеся фоновой окраской. Изменение количественных показателей в пространстве изображается цветом, различающимся по цветовому тону, светлоте и насыщенности в зависимости от значения количественного показателя (см. рис. 3, 5–10).

Способом локализованных диаграмм, относящихся к отдельным пунктам, в атласах представлены данные по годовому ходу осадков (см. рис. 6).

На карте из атласа The Atlas Of Real World, предназначенного для широкого круга пользователей, для отображения годовых осадков применяется карта-анаморфоза (см. рис. 3, карта 13).

В результате анализа подходов к визуализации климатических показателей на картах,

представленных в атласах, были выявлены следующие закономерности:

- для отображения данных по осадкам выбран правильный способ картографического изображения;

- для отображения количества осадков способом изолиний с фоновой окраской часто выбраны зелено-коричневые, зелено-красные, красно-синие шкалы, которые уместнее применять при отображении, например, рельефа, поскольку они не ассоциируются с осадками, соответственно карты не обладают свойством наглядности (см. рис. 3, карты 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13; рис. 5, карты 16, 17, 19 – 21; рис. 6, карта 25; рис. 7, карта 26, рис. 8);

- на некоторых картах шкалы изолиний с фоновой окраской изменяются только по насыщенности и светлоте цвета, однако предлагаемый цветовой тон не ассоциируется с осадками (см. рис. 3, карты 4, 7; рис. 5, карта 18; рис. 6, карта 24);

- лишь небольшое количество карт, на которых используется способ изолиний с фоновой окраской, оказались оформлены с учетом ассоциативности [5, 6], поэтому оказались наглядными (см. рис. 3, карты 1, 9; рис. 5, карта 23; рис. 9; рис. 10);

- карты в атласах, как правило, проработаны тщательнее с точки зрения содержания и оформления, чем карты в научных статьях.

Учитывая результаты проведенного анализа, нами предлагается цветное оформление шкалы изогий годовых осадков, учитывающее принцип ассоциативности [7–9] значений климатического показателя и отображаемого явления (количества осадков) (рис. 11).

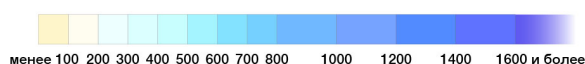


Рис. 11. Шкала изогий, разработанная с учетом принципа ассоциативности цветов

Для ступеней менее 100 мм и 100–200 мм нами предлагается использовать цвет oran-

жевых тонов, вызывающий ассоциации с засушливым климатом. Подобное годовое количество осадков характерно для тропического и аридного климата. Цвета ступеней для значений осадков выше 200 мм предлагается окрашивать в голубые, синие и фиолетовые оттенки, так как они вызывают ассоциации с водой и влагой.

Кроме того, авторами предлагается новый подход к оформлению ступеней шкалы в легенде карты. При применении разноступенной шкалы ширину ступеней предлагается варьировать в зависимости от сечения изолиний. Например, если сечение изогий увеличивается в 2 раза, во столько же раз увеличивается и ширина ступени в легенде. Для неограниченных ступеней (в данном примере 1 600 и более) предлагается использовать плавный переход ступени в прозрачность.

Предлагается руководствоваться этими же принципами и при разработке шкал изогий для карт, визуализирующих осадки за другие периоды времени (например, за месяц), а также для других показателей (например, для карт аномалий осадков, числа дней с осадками и т. д.).

Заключение

В статье проанализированы подходы к картографированию климатических данных, посвященных осадкам, содержащиеся в картографических источниках.

Анализ включал в себя оценку способов картографического изображения, примененных изобразительных средств, в результате которого были выявлены определенные недочеты, отрицательно влияющие на свойства картографического изображения.

Исходя из вышеизложенного, в рамках цветового моделирования шкал климатических карт [10] предлагается новый подход к построению цветовых шкал, отображающих характеристику данных по осадкам.

Результаты этого исследования позволяют привлечь внимание к проблеме качественной картографической визуализации климатических данных и могут быть составляющей дальнейшего исследования этой темы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов С. А., Каторгин И. Ю. Картографирование характеристик изменения климата в Ставропольском крае // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 171–182. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182. – EDN LPBYMU.
2. Мурашова И. Д., Братков В. В. Картографирование современных климатических изменений в умеренных и субтропических широтах Северной Америки // Мониторинг. Наука и технологии. – 2022. – № 1 (51). – С. 14–20. – DOI 10.25714/MNT.2022.51.002. – EDN QZYSYE.
3. Сваткова Т. Г. Атласная картография : учеб. пособие. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 203 с.
4. Берлянт А. М. Картография : учеб. для вузов. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
5. Утробина Е. С. Мобильная картография. Особенности, свойства и понятие мобильной карты // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 105–117. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-105-117. – EDN FAQYLQ.
6. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн : учеб. / под ред. А. В. Востоковой. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 288 с. – ISBN 5-7567-0269-5. – EDN VMPJON.
7. Карманова М. В., Комиссарова Е. В. Разработка условных обозначений для цифровой системы картографического обеспечения // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 1. – С. 97–118. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-1-97-118. – EDN GRKWOJ.
8. Янкевич С. С. Функции карты в условиях постиндустриальной эпохи // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 160–168. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-160-168. – EDN RPSSOJ.
9. Радченко Л. К. Познавательный аспект в картографии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 138–145. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-138-145. – EDN YFKUPA.
10. Титов А. А. Цветовое моделирование содержательных характеристик климатических карт (на примере коэффициента увлажнения) // Глобальные и региональные вызовы современных климатических изменений : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 18–20 апреля 2024 г. – Грозный : Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, 2024. – С. 122–126. – DOI 10.36684/129-1-2024-122-126. – EDN ZHBOGR.

Об авторах

Алексей Андреевич Титов – преподаватель кафедры визуализации геоданных и картографического дизайна.

Наиля Манияновна Биктимирова – кандидат технических наук, зав. кафедрой визуализации геоданных и картографического дизайна.

Получено 28.10.2024

© А. А. Титов, Н. М. Биктимирова, 2025

Assessment of approaches to cartographic visualisation of climate data (using precipitation mapping as an example)

A. A. Titov¹, N. M. Biktimirova¹

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

e-mail: altitks@yandex.ru

Abstract. The paper is devoted to the study of cartographic materials that consider climate mapping in order to identify and evaluate approaches to displaying various climatic data. In this paper, carto-

graphic materials characterizing precipitation data are selected as an example. In the process of collecting materials, the cartographic sources were systematized and their content and design were analyzed. As a result of the study it was revealed that the principle of associativity of color with the displayed phenomenon is often not taken into account in the development of color scales and, as a consequence, the readability of the dynamics of the quantitative indicator becomes difficult. Therefore, new approaches to the choice of color solutions of the scale characterizing the amount of precipitation and its representation in the map legend are proposed. This study determines the direction of further research in the field of climate mapping in order to improve the cartographic visualization of climatic data.

Keywords: climate maps, cartographic visualisation, climate, precipitation

REFERENCE

1. Antonov, S. A., Katorgin, I. Yu. (2021). Mapping the characteristics of climate change in Stavropol region. *InterKarto. InterGIS [InterKarto. InterGIS]*, 3(27), 171–182 DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182. EDN LPBYMU [in Russian].
2. Murashova, I. D., Bratkov, V. V. (2022). Mapping of modern climate changes in the moderate and subtropical latitudes of North America. *Monitoring. Nauka i tekhnologii [Monitoring. Science and technology]*, 1(51), 14–20 DOI 10.25714/MNT.2022.51.002. EDN QZYSYE [in Russian].
3. Svatkova, T. G. (2002). *Atlasnaya kartografiya [Atlas cartography]*. Moscow: Aspekt Press, 203 p. [in Russian].
4. Berlyant, A. M. (2002). *Kartografiya [Cartography]*. Moscow: Aspekt Press, 336 p. [in Russian].
5. Utrobina, E. S. (2024). Mobile cartography. Features, properties and concept of a mobile card. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(29), 105–117 DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-105-117. EDN FAQYLQ [in Russian].
6. Vostokova, A. V., Koshel', S. M., Ushakova, L. A. (2002). *Oformlenie kart. Komp'yuternyy dizayn [Map decoration. Computer design]*. Moscow: Aspekt Press, 288 p. EDN VMPJON [in Russian].
7. Karmanova, M. V., Komissarova, E. V. (2019). Improvement of emergency map legend. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(24), 97–118. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-1-97-118. EDN GRKWOJ [in Russian].
8. Yankelovich, S. S. (2020). Map functions in the post-industrial era. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(25), 160–168 DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-160-168. EDN RPSSOJ [in Russian].
9. Radchenko, L. K. (2020). Cognitive aspect in cartography. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(25), 138–145 DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-138-145. EDN YFKUPA [in Russian].
10. Titov, A. A. (2024). Color modeling of content characteristics of climatic maps (on the example of humidification coefficient). In *Global'nye i regional'nye vyzovy sovremennykh klimaticheskikh izmeneniy: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Global and Regional Challenges of Modern Climate Change : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]* (pp. 122–126). Grozny: A.A. Kadyrov Chechen State University. DOI 10.36684/129-1-2024-122-126. EDN ZHBOGR [in Russian].

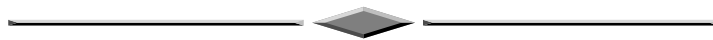
Author details

Aleksey A. Titov – Lecturer of the Department of Geodata Visualisation and Cartographic Design.

Nailya M. Biktimirova – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Geodata Visualisation and Cartographic Design.

Received 28.10.2024

© A. A. Titov, N. M. Biktimirova, 2025



УДК 528.482:004.8

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-111-120

Искусственный интеллект в BIM: повышение эффективности инженерных изысканий и проектирования объектов недвижимости

И. Э. Аленин¹✉, А. В. Дубровский¹, В. Н. Москвин¹, Л. А. Пластинин²

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

² Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация

e-mail: alenin-i@mail.ru

Аннотация. Введение искусственного интеллекта в процессы технологии информационного моделирования открывает новые возможности для автоматизации анализа данных, прогнозирования затрат, оптимизации проектных решений и повышения общей эффективности управления недвижимыми активами. В рамках цифровой трансформации внедрение технологии информационного моделирования, включающей такие технологии, как BIM, ГИС и PLM (управление жизненным циклом продукции), становится ключевым аспектом эффективного и рационального управления жизненными циклами объектов недвижимости. Одной из важнейших особенностей применения искусственного интеллекта при инженерных изысканиях для строительства объектов недвижимости является скорость обработки и систематизации полученных данных. Использование искусственного интеллекта позволяет проводить идентификацию элементов местности в автоматизированном режиме, а автоматизированное обнаружение топографических объектов на снимках, полученных с помощью дронов или спутников, осуществляется с применением технологий компьютерного зрения. Для поиска оптимальных вариантов размещения и формы будущего объекта недвижимости в статье рассмотрен функционал программных комплексов генеративного дизайна с элементами искусственного интеллекта, таких как rTİM (компания Rocket Group) и Robot (компания «ПИК»), которые быстро производят расчеты и оценивают технико-экономические показатели проектируемых объектов. Проведено тестирование специализированного программного обеспечения Veras, которое ускоряет создание архитектурного облика объекта недвижимости, освобождая архитекторов и проектировщиков от рутинных задач и позволяя им сосредоточиться на творческих аспектах проектирования. Современное информационное моделирование также включает использование классификаторов элементов информационных моделей. Программный комплекс «ИМПульс», основанный на искусственном интеллекте, предлагает оперативную и качественную классификацию цифровых информационных моделей, что особенно актуально для объектов капитального строительства. Научно-технический центр «Платформа» разработал роботизированную систему BIM-GPT, которая способна самостоятельно генерировать цифровые информационные модели, а также соответствующую проектную и рабочую документацию, минимизирует вмешательство проектировщиков. Таким образом, внедрение искусственного интеллекта и цифровых технологий в управление жизненным циклом объекта капитального строительства существенно повышает эффективность проектирования, реализации и эксплуатации недвижимости.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровое информационное моделирование, технологии информационного моделирования, информационное моделирование зданий, геоинформационные системы, машинное обучение, машинное зрение

Для цитирования:

Аленин И. Э., Дубровский А. В., Москвин В. Н., Пластинин Л. А. Искусственный интеллект в BIM: повышение эффективности инженерных изысканий и проектирования объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 111–120. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-111-120

Введение

Современные тенденции в сфере строительства и управления недвижимостью демонстрируют возрастающую роль цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных направлений является совместное использование искусственного интеллекта (ИИ) и технологии информационного моделирования (ТИМ) [1, 2]. Эти инструменты позволяют оптимизировать различные этапы жизненного цикла объектов недвижимости – от проектирования до эксплуатации и реконструкции. Введение ИИ в процессы ТИМ открывает новые возможности для автоматизации анализа данных, прогнозирования затрат, оптимизации проектных решений и повышения общей эффективности управления недвижимыми активами [3].

Целью статьи является изучение применения ИИ в процессе информационного моделирования объектов недвижимости на разных жизненных циклах.

В рамках работы будут рассмотрены следующие задачи:

- определение основных этапов жизненного цикла объекта недвижимости;
- анализ возможностей использования ИИ на каждом этапе жизненного цикла объекта недвижимости;
- оценка эффективности применения ИИ в процессе информационного моделирования объектов недвижимости.

В «жизненный цикл здания или сооружения», согласно ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», входят такие стадии, как инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт и снос. Каждый из этих этапов жизненного цикла объектов недвижимости требует тщательного

планирования, управления и контроля, чтобы обеспечить эффективное использование и долговечность объекта, а также его максимальную рыночную и кадастровую стоимость. Во многих случаях актуальной является организация деформационного мониторинга и моделирование напряженно-деформированного состояния объекта строительства [4].

Методы и материалы

При подготовке научной статьи использовались следующие методы:

- литературный обзор – анализ существующих нормативно-правовых актов, публикаций и исследований в области ИИ и цифрового информационного моделирования. Выполнена систематизация информации о различных подходах к интеграции ИИ в цифровое информационное моделирование [1, 4–7];
- кейс-стадии – изучение практических примеров применения ИИ в различных проектах ЦИМ, включая проектирование, строительство, эксплуатацию и реконструкцию объектов недвижимости [8–10];
- сравнительный анализ – сравнение традиционных методов цифрового моделирования с методами, использующими ИИ, с точки зрения эффективности, экономии ресурсов и качества результата;
- моделирование и симуляция – проведение компьютерного моделирования для демонстрации возможностей ИИ в оптимизации процессов цифрового информационного моделирования, таких как планирование, управление ресурсами и анализ данных.

В качестве материалов исследования были использованы фрагменты BIM-модели жилого квартала города Перми. В качестве программного обеспечения применялись программные комплексы генеративного дизайна

с элементами применения искусственного интеллекта rTIM (компания Rocket Group) и Robot (компания «ПИК»).

Результаты

Инновационным решением, позволяющим эффективно и рационально управлять всеми жизненными циклами объекта недвижимости (ОН), является цифровая трансформация. Одной из частей цифровой трансформации является внедрение технологии информационного моделирования, которая включает в себя BIM, ГИС, PLM (управление жизненным циклом продукции) и информационный менеджмент (рис. 1) [11, 12].

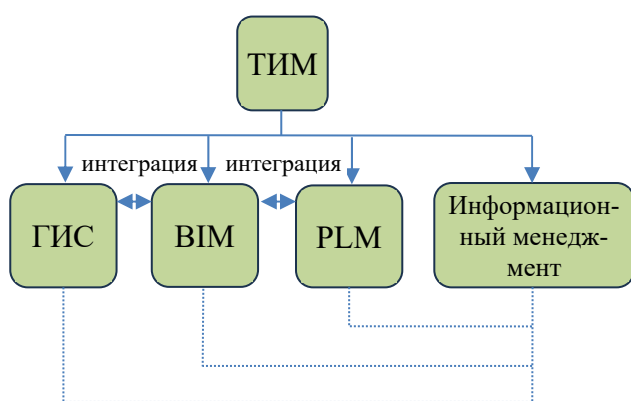


Рис. 1. ТИМ

Технологическая схема использования BIM, ГИС, PLM на разных этапах жизненного цикла ОН представлена на рис. 2.

ТИМ	Информационный менеджмент						
	ГИС	ГИС	BIM, PLM	BIM	ГИС	BIM	BIM
Жизненный цикл	Изыскания	Проектирование	Строительство	Эксплуатация	Ремонт	Снос	
	Временной промежуток зарождения, существования и утилизации ОН						

Рис. 2. Технологическая схема использования BIM, ГИС, PLM на разных этапах жизненного цикла ОН

Из данной схемы можно сделать вывод, что BIM и ГИС занимают большую часть

жизненного цикла ОН [1, 3]. Внедрение искусственного интеллекта в процесс разработки цифровых информационных моделей с использованием BIM и ГИС позволяет существенно автоматизировать рутинные операции, что в свою очередь способствует повышению качества и оперативности создаваемых данных.

Первой стадией жизненного цикла объекта недвижимости являются инженерные изыскания, на которых проводят детальный сбор информации о предполагаемом месте размещения объекта недвижимости. Инженерные изыскания подразделяются на геодезические, геологические и экологические. В настоящее время инженерные изыскания не обходятся без применения беспилотных летательных систем. В Российской Федерации реализуется национальный проект «Беспилотные авиационные системы», направленный на достижение технического суверенитета в области создания беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В рамках проекта БПЛА уже используются на различных этапах жизненного цикла объектов недвижимости, их применение закреплено в национальном стандарте. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 71886-2024 «Системы беспилотные авиационные в строительстве, применяемые для производства геодезических работ. Общие требования», предназначенный для унификации современных методов геодезических работ в строительстве, включая инженерно-геодезические изыскания, с использованием беспилотных авиационных систем. В данном национальном стандарте определены требования к точности съемки, обработке данных и безопасности работы; регламентирован порядок выполнения аэрофотосъемки, лазерного сканирования и создания цифровых моделей рельефа; введены требования к оценке погрешности съемки и проверке данных. БПЛА позволяют быстро обследовать сложные территории, делать точные измерения и ускорять изыскания. Они снимают с низких высот с высоким разрешением, что особенно полезно для мониторинга и работы в труднодоступных местах [13].

При инженерных изысканиях важной особенностью является скорость обработки и систематизированность полученных данных. Благодаря использованию искусственного интеллекта идентификация элементов местности производится в автоматизированном режиме. Автоматизированное обнаружение геодезических объектов на снимках, сделанных с использованием дронов или спутников, осуществляется благодаря технологиям компьютерного зрения. Этот метод позволяет эффективно определять и классифицировать разнообразные элементы ландшафта, такие как здания, дороги, а также другие искусственные и природные объекты на исследуемой территории. Формирование цифровых моделей местности и объектов основывается на использовании технологий компьютерного зрения для сбора и обработки данных, поступающих из множества источников. Эти модели отличаются высокой точностью и детальностью, что делает их незаменимыми инструментами для планирования и проектирования различных проектов.

Следующим этапом после получения всей необходимой информации о местности предполагаемого размещения объектов недвижимости является непосредственное проектирование данных объектов. Оно может осуществляться как в одностадийном порядке, так и в многостадийном. Многостадийное проектирование включает в себя 3 этапа: концептуальное проектирование, разработка проектной и рабочей документации. Каждый из этих этапов имеет свои специфические задачи и цели, направленные на создание полной информации об объекте недвижимости с целью его последующего возведения.

Этап концептуального проектирования характеризуется поиском оптимального варианта размещения и формы самого объекта недвижимости, включая квартирографию, этажность, расчеты инсоляционных параметров и ветровых нагрузок и т. п. Главной составляющей данного этапа являются: вариативность, скорость проведения расчетов различных параметров и выбор самого подходящего варианта размещения и формы будущего объекта недвижимости. Для осуществления поиска подходящих вариантов размещения и формы будущего объ-

екта недвижимости используются программные комплексы генеративного дизайна с элементами применения искусственного интеллекта. Одними из таких подобных комплексов на отечественном рынке являются гГИМ (компания Rocket Group) и Robot (компания «ПИК»). Эти программные комплексы оперативно производят расчеты и поиск оптимальных технико-экономических показателей, а также проектирования, размещения и формообразования объектов недвижимости.

ПО «гГИМ Цифровая ИИ-платформа территориального информационного моделирования» (Платформа гГИМ, гГИМ) предназначено для поддержки принятия управленческих решений при планировании мероприятий комплексного развития территорий, сопровождения деятельности специалистов в рамках разработки концепций развития территорий.

Платформа гГИМ покрывает задачи оценки градостроительного и экономического потенциала территории для развития и создания оптимальных концепций развития территории при помощи технологий искусственного интеллекта. Инвестиционный и социально-экономический потенциал развития территории включает в себя концепцию жилой и общественно-деловой застройки, технико-экономические показатели проекта и экономическую модель, расчет инсоляции с выводом результата в трехмерном виде, квартирографию, трассировку инженерных сетей с расчетами нагрузок, параметрическую 3D-модель территории с текстурированной визуализацией. Областью применения Платформы гГИМ является деятельность девелоперских компаний, занимающихся комплексным развитием территорий, проектных и архитектурных организаций, органов государственной власти, ответственных за принятие решений в градостроительной сфере.

Взаимодействие пользователя с платформой гГИМ выглядит следующим образом:

- внесение исходных данных (машиночитаемый формат нормативов, границ и т. п.);
- внесение сведений о конфигурации и местоположении планируемой территории;
- запуск моделирования (генерация различных вариантов в зависимости от требуемых технико-экономических показателей);

– выгрузка информационной модели (GeoJSON, IFC, форматы электронных таблиц).

На рис. 3 представлен итог генерации модели платформы rTIM.

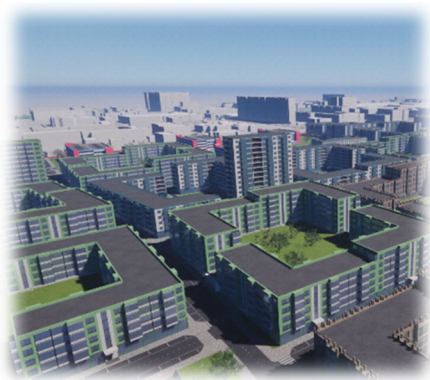


Рис. 3. Итог генерации модели платформы rTIM

После утверждения концептуального этапа проекта начинается стадия детализированной разработки (разработка проектной и рабочей документации). Одной из ключевых задач данного этапа является оперативная координация архитектурного облика планируемого сооружения. С целью решения задачи оперативного создания архитектурного облика было протестировано специализированное программное обеспечение под названием Veras. Это ПО встроено в такие программы для проектирования, как SketchUp и Revit, и позволяет при помощи искусственного интеллекта генерировать реалистичное архитектурное представление объекта недвижимости напрямую из созданных информационных моделей. Ускоренный процесс создания реалистичных визуализаций при помощи Veras освобождает архитекторов и проектировщиков от рутинных ручных операций и помогает концентрироваться на творческой составляющей проектирования. Однако следует отметить, что применение сгенерированных изображений внешнего облика зданий допустимо исключительно для внутреннего использования. В качестве коммерческих материалов использовать данные сгенерированные изображения не представляется возможным, поскольку в них присутствуют серьезные несоответствия и ошибки генерации. Для наглядной демон-

страции этих несоответствий и ошибок был выбран многоквартирный жилой дом, смоделированный в Revit и расположенный в городе Перми на улице Магистральной, 98. На рис. 4 представлено исходное изображение модели непосредственно из Revit.



Рис. 4. Исходное изображение модели из Revit

Затем с использованием Veras данный ракурс модели был подвергнут обработке с целью создания фотореалистичного изображения различных вариантов фасада. Пример одного из результатов представлен на рис. 5.



Рис. 5. Пример одного из результатов генерации с помощью Veras

При сопоставлении изначального образца и его последующей генерации становится очевидным, что облик модели претерпел значительные искажения. В частности, Veras произвел корректировку габаритов окон и ввел в проект элементы остекления, которые не были

предусмотрены исходным замыслом. Тем не менее он успешно справился с задачей по разработке внешнего облика здания.

В современном информационном моделировании используют классификаторы элементов информационных моделей. При создании информационных моделей классификаторы выполняют ряд важных функций, направленных на повышение эффективности управления проектом и улучшение взаимодействия между всеми участниками процесса:

- обеспечение систематизации и стандартизации данных (упорядоченное хранение и обработка информации обо всех компонентах моделируемого объекта);

- интеграция данных между различными специализированными программами и специалистами;

- автоматизация многих процессов, таких как расчет смет, анализ затрат, контроль соблюдения нормативных требований и правил, а также выполнение проверок на соответствие стандартам;

- обеспечение соответствия проектов национальным и международным строительным стандартам, что является обязательным условием для получения разрешений на строительство и эксплуатацию объектов.

Отечественный программный комплекс «ИМПульс», основанный на применении искусственного интеллекта, производит оперативную и качественную классификацию цифровых информационных моделей. «ИМПульс» предназначен для автоматизированной классификации элементов информационной модели объекта капитального строительства, использующей методы искусственного интеллекта (машинного обучения) и обеспечивающей формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства в соответствии с законодательством Российской Федерации. Функциональные возможности программного комплекса:

- классификация: извлечение атрибутов из объектов информационной модели; выбор атрибутов объектов информационной модели; классификация элементов информационной модели; валидация кодов пользователем; внесение кодов в объекты информационной модели;

- нумерация: выбор атрибутов объектов информационной модели; извлечение атрибутов объектов информационной модели; формирование структуры группы атрибутов объектов информационной модели; нумерация по группам атрибутов объектов информационной модели; внесение присвоенных номеров в объекты информационной модели;

- кодирование: выбор атрибутов объектов информационной модели; извлечение атрибутов объектов информационной модели; формирование структуры кода объектов информационной модели; формирование кода объектов информационной модели; внесение кода в объекты информационной модели [4].

В рамках современных тенденций развития технологий автоматизированного проектирования стоит обратить внимание на инновационное направление, которое может стать альтернативой традиционным CAD/BIM-системам. Научно-технический центр «Платформа» представил роботизированную систему BIM-GPT, предназначенную для выполнения проектных работ с использованием BIM. Данная система способна принимать входные параметры, самостоятельно генерировать цифровые информационные модели и соответствующую проектную и рабочую документацию при минимальном участии проектировщиков. Ожидается, что эта разработка позволит значительно уменьшить сроки проектирования многоэтажных жилых комплексов, а также автоматизировать до 80 % процессов проектирования. Однако следует отметить, что на текущем этапе разработки система BIM-GPT ограничена созданием моделей лишь одноквартирных конструкций, таких как одноэтажные жилые здания с одним подъездом («свечки»).

Обсуждение

Внедрение искусственного интеллекта в различные этапы жизненного цикла объектов недвижимости находится на начальной стадии активного развития. Но в текущей обстановке можно с уверенностью утверждать, что ИИ уже стал неотъемлемым помощником при проектировании и строительстве объектов недвижимости, освобож-

дая от рутинных задач и все больше предоставляя место творческому процессу. Дальнейшее использование ИИ будет зависеть от качества и методов обучения нейросетевых моделей. На данном этапе уже предпринимаются первые шаги в направлении корректного обучения искусственного интеллекта в сфере строительства и проектирования объектов недвижимости. Минстрой России, ДОМ.РФ, Фонд «Сколково» и группа компаний «ПИК» иницируют создание платформы для данных, которые будут использоваться в области искусственного интеллекта в строительстве [14].

Меморандум о сотрудничестве был подписан 15 марта 2025 г. на конференции «Искусственный интеллект в девелопменте». Концепция «полигона данных» для строительства была разработана ДОМ.РФ при участии Минстроя. Документ определяет цели и требования для создания хранилища данных и сервисов на основе искусственного интеллекта. Платформа будет собирать данные из цифровых моделей объектов и аналитические наборы данных, а также поддерживать размещение моделей искусственного интеллекта. Это позволит улучшить процессы строительства и снизить стоимость жилья. Технологической основой платформы станет Единая информационная система жилищного строительства (ЕИСЖС), которая обеспечит доступ к машиночитаемым обезличенным данным. Проект является частью федерального проекта «Новый ритм строительства», который входит в национальный проект «Инфраструктура для жизни» [15].

Заключение

Следует отметить, что дальнейший прогресс цифровой трансформации жизненного цикла объектов недвижимости будет обусловлен достижениями в сфере вычислительных технологий, программных решений, автоматизации производственных процессов и интеллектуального анализа данных. Перспективное развитие цифровых технологий приведет к созданию более устойчивых и экологически рациональных инфраструктурных систем, эффективному использованию природных ресурсов и формированию комфортной городской среды, способствующей росту и развитию урбанизированных территорий. Кроме того, интеграция искусственного интеллекта в процессы проектирования и управления недвижимостью позволит существенно повысить точность прогнозирования и оптимизации эксплуатационных характеристик объектов. Этот подход откроет новые возможности для мониторинга состояния недвижимости, что в свою очередь позволит своевременно выявлять проблемы и повышать уровень безопасности. Важно отметить, что сотрудничество между различными заинтересованными сторонами, включая архитекторов, инженеров, девелоперов и технологические компании, сыграет ключевую роль в успешной реализации цифровых решений в управлении жизненным циклом объектов недвижимости. В конечном итоге внедрение новых технологий не только повысит конкурентоспособность на рынке недвижимости, но и поможет создать гармоничное и эффективное пространство для жизни, работы и отдыха людей

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аленин И. Э., Дубровский А. В. Опыт применения BIM-технологии для проектирования фасадных систем новостроек города Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 7 : Международная научно-технологическая конференция студентов и молодых ученых «Молодежь. Инновации. Технологии». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. № 1. – С. 116–122. – EDN WXUNOK.
2. Рыбин Е. Н., Амбарян С. К., Аносов В. В. и др. Бим-технологии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 9, № 1 (28). – С. 98–105. – EDN HLTTRU.
3. Дубровский А. В. Методическое и технологическое обеспечение системы эффективного землепользования // Естественные и технические науки. – 2022. – № 4 (167). – С. 114–120. – EDN: EPBVHX.
4. Травуш В. И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 3. – С. 107–117. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. DOI 10.25633/ETN.2022.04.11. – EDN: VJBYXC.

5. Грибкова И. С., Хашпакянц Н. О. Эффективность BIM технологии проектирования // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 2. – С. 235–242. – DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. – EDN: XNRMVV.
6. Брылев И. С., Бударова В. А., Елисеева Н. С. Опыт подготовки пространственных данных для решения задач трехмерного моделирования объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 145–156. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-145-156. – EDN YXWDTJ.
7. Атаманов С. А., Григорьев С. А., Илюшина Т. В. и др. Новые тренды и технологии в научной специальности 1.6.15. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 6. – С. 106–119. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-6-106-119. – EDN LPLUSO.
8. Петров К. С., Кузьмина В. А., Федорова К. В. Проблемы внедрения программных комплексов на основе технологий информационного моделирования (BIM-технологии) // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2 (45). – С. 89–96. – EDN ZEONPD.
9. Колчин В. Н. Специфика применения технологии «искусственного интеллекта» в строительстве // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 3. – С. 250–253. – EDN JJLECU.
10. Хамидов Б. С. Современные возможности искусственного интеллекта в строительной отрасли // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 3-1. – С. 257–266. – DOI 10.34670/AR.2023.86.65.029. – EDN PJRHUS.
11. Дмитриев А. Н., Владимирова И. Л. Технологии информационного моделирования в управлении строительными проектами России // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 10. – С. 48–59. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.10.48-59. – EDN FXXZAA.
12. Вайсман С. М., Байбурин А. Х. Разработка организационно-технологических решений в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (тим) // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 21–28. – DOI 10.14529/build160404. – EDN XBDEYJ.
13. Максименко Л. А. Сбор и обработка кадастровой информации в сфере управления недвижимым имуществом // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 118–126. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-118-126. – EDN YIAOLL.
14. Ожгибесова К. Е., Мингареева Р. Р., Сондуева С. Р. Технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве РФ: особенности применения на различных стадиях жизненного цикла объекта // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2021. – № 11-1. – С. 157–159. – DOI 10.23672/t7479-5092-7107-a. – EDN YVOGXG.
15. Курбатов В. Л., Римшин В. И., Шубин И. Л., Волкова С. В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве – М. : АСВ, 2023. – 420 с. – ISBN 978-5-4323-0491-9. – EDN MSLGGU.

Об авторах

Илья Эдуардович Аленин – магистрант; специалист цифрового информационного моделирования АО «ПЗСП».

Алексей Викторович Дубровский – доктор технических наук, доцент, директор института кадастра и природопользования.

Виктор Николаевич Москвин – доктор технических наук, профессор кафедры кадастра и территориального планирования.

Леонид Александрович Пластинин – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник.

Получено 01.04.2025

© И. Э. Аленин, А. В. Дубровский, В. Н. Москвин, Л. А. Пластинин, 2025

Artificial intelligence in BIM: improving the efficiency of engineering surveys and real estate design

I. E. Alenin^{1✉}, A.V. Dubrovsky¹, V. N. Moskvina¹, L. A. Plastinin²

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

² Altai State University, Barnaul, Russian Federation

e-mail: alenin-i@mail.ru

Annotation. The use of artificial intelligence in information modeling processes provides new opportunities for automating data analysis, cost forecasting, optimizing design solutions, and improving the efficiency of real estate asset management. Implementation of information modeling technology: BIM, GIS and PLM (Product Lifecycle Management) manages the lifecycle of real estate. The use of artificial intelligence in engineering surveys for the construction of real estate objects increases the speed of processing and systematization of geodata. The use of artificial intelligence makes it possible to identify terrain elements in an automated mode, and automated detection of topographic objects in images obtained using drones or satellites is carried out using computer vision technologies. To find optimal options for the placement and shape of a future real estate object, the article examines the functionality of generative design software systems with elements of artificial intelligence, such as rTIM (Rocket Group company) and Robot (PIK company). This software quickly performs calculations and evaluates the technical and economic indicators of the projected facilities. The specialized Veras software has been tested. This software accelerates the creation of the architectural appearance of a property, freeing architects and designers from routine tasks and allowing them to focus on the creative aspects of design. Information modeling also includes the use of classifiers of information model elements. The IMPulse software package, based on artificial intelligence, offers an operational and high-quality classification of digital information models. This is especially true for capital construction projects. The Scientific and Technical Center "Platforma" has developed a BIM-GPT robotic system that generates digital information models, as well as relevant design and working documentation, and minimizes the intervention of designers. Thus, the introduction of artificial intelligence and digital technologies into the life cycle management of a capital construction facility increases the efficiency of real estate design, sale and operation.

Keywords: artificial intelligence, digital information modeling, information modeling technologies, building information modeling, geoinformation systems, machine learning, machine vision

REFERENCE

1. Alenin, I. E. (2021). The experience of using BIM technology for the design of facade systems of new buildings in Novosibirsk. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* Vol. 7 No 1. pp. 116–122. Novosibirsk: SSUGT Publ. EDN WXUNOK [in Russian].
2. Rybin E. N., Ambaryan S. K., Anosov V. V. (2019). BIM. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' [University news. Investment. Construction. Realty]*, Vol. 9, No 1 (28). Pp. 98–105. EDN HLTTRU [in Russian].
3. Dubrovsky, A. V. (2022). Methodological and technological support of the effective land use system. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*, No 4, pp. 114–120 EDN: EPBH VX [in Russian].
4. Travush, V. I. (2018). Digital technologies in construction. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]*, No 4. Pp. 107–117 DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. DOI 10.25633/ETN.2022.04.11. EDN: VJBYXC [in Russian].
5. Gribkova, I. S. (2018). Efficiency of BIM design technology. *Ehlektronnyi setevoi politematicheskii zhurnal "Nauchnye trudy KuBGTU" [Electronic network polythematic journal "Scien-*

tific works of KubSTU], No 2, pp. 235–242. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN: XNRMVV [in Russian].

6. Brylev, I. S. (2024). Experience in preparing spatial data for solving problems of three-dimensional modeling of real estate objects. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(29), 145–156 [in Russian].

7. Atamanov S. A., Grigoriev S. A., Ilyushina T. V. (2024). New trends and technologies in the scientific specialty 1.6.15. Land management, cadastre and land monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 6(29), 106–119 DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-145-156. EDN YXWDTJ [in Russian].

8. Petrov, K. S. (2017). Problems of implementing software packages based on information modeling technologies (BIM). *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*, 2(45), 89–96 EDN ZEONPD [in Russian].

9. Kolchin, V. N. (2023). The specifics of the use of "artificial intelligence" technology in construction. *Innovatsii i investitsii [Innovation and investment]*, 3, 250–253, EDN JJLECU [in Russian].

10. Khamidov, B. S. (2023). Modern possibilities of artificial intelligence in the construction industry. *Ehkonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: yesterday, today, tomorrow]*, 13, 257–266 DOI 10.34670/AR.2023.86.65.029. EDN PJRHUS [in Russian].

11. Dmitriev, A. N. (2019). Information modeling technologies in the management of construction projects in Russia. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]*, 10, 48–59 DOI 10.33622/0869-7019.2019.10.48-59. EDN FXXZAA [in Russian].

12. Vaisman, S. M. (2016). Development of organizational and technological solutions in construction using information modeling technologies. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture]*, 16 (4), 21–28 DOI 10.14529/build160404. EDN XBDEYJ [in Russian].

13. Maximenko, L. A. (2024). Collection and processing of cadastral information in the field of real estate management. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 3(29), 118–126 DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-118-126. EDN YIAOLL [in Russian].

14. Ozhgibesova, K. E. (2021). Information modeling technologies in the construction of the Russian Federation: application features at various stages of the object's life cycle. *Gumanitarnye, sotsial'no-ehkonomicheskie i obshchestvennye nauki [Humanities, socio-economic and social sciences]*, 11-1, 157–159 DOI 10.23672/t7479-5092-7107-a. EDN YVOGXG [in Russian].

15. Kurbatov V. L., Rimshin V. I., Shubin I. L., Volkova S. V. (2023). *Informatsionnoe modelirovanie i iskusstvennyi intellekt v sovremennom stroi-tel'stve i zhilishchno-kommunal'nom khozyaistve [Information modeling and artificial intelligence in modern construction and housing and communal services]*. Moscow : Publishing house DIA 420 p. ISBN 978-5-4323-0491-9. EDN MSLGGU [in Russian].

Author details

Ilya E. Alenin – Graduate, Specialist in Digital Information Modeling at JSC PZSP.

Alexey V. Dubrovsky – D. Sc., Associate Professor, Director of the Institute of Cadastre and Environmental Management.

Viktor N. Moskvina – D. Sc., Professor of the Department of Cadastre and Territorial Planning.

Leonid A. Plastinin – D. Sc., Professor, Chief Researcher.

Received 01.04.2025

© I. E. Alenin, A. V. Dubrovsky, V. N. Moskvina, L. A. Plastinin, 2025

УДК 332.6:553.9

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-121-131

Кадастровая оценка земель нефтегазодобывающих предприятий: совершенствование методологии и практики

Е. Н. Быкова^{1✉}, Д. А. Шарова^{1,2}, В. В. Воронцовская¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение «Городское управление инвентаризации и оценки недвижимого и движимого имущества» (СПб ГБУ «ГУИОН»),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: Bykova_EN@pers.spmi.ru

Аннотация. Статья содержит исследование методологии определения кадастровой стоимости земель под объектами нефтегазовой промышленности в Республике Саха (Якутия). Отсутствие отражения доходности предприятий в стоимости земли приводит к нарушению объективности начисления земельного налога. Целью статьи является совершенствование многокритериальной методики расчета кадастровой стоимости земель, занятых нефтегазовыми предприятиями в рамках выбранного региона путем применения метода анализа иерархий и расчета весовых коэффициентов. Результатом стал рассчитанный удельный показатель кадастровой стоимости для земельных участков основных месторождений нефти и газа в Якутии. Сравнение с фактическими значениями показывает необходимость применения модифицированной методики для объективности кадастровой оценки земель.

Ключевые слова: кадастр, кадастровая оценка, земли промышленности, нефтегазовые предприятия, нефть, газ, стоимость, земельный участок

Для цитирования:

Быкова Е. Н., Шарова Д. А., Воронцовская В. В. Кадастровая оценка земель нефтегазодобывающих предприятий: совершенствование методологии и практики // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 121–131. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-121-131

Введение

Сложившиеся для Российской Федерации условия показывают высокую значимость ресурсодобывающей промышленности, в частности, нефте- и газодобывающей как ключевого фактора в развитии национальной экономики. Однако нельзя отрицать тот факт, что при добыче любых ресурсов неизбежно наносится урон землям, на которых реализуется производственный процесс. Базой при исчислении земельного налога, в том числе и для земель промышленности, является кадастровая стоимость, что делает изучение ее методического обеспечения необходимым и практически значимым. Совершенствование методологии позволяет учесть не только ряд не-

обходимых факторов использования земли, но и влияние добывающей отрасли на состояние земельных ресурсов.

Вопросам методологического обеспечения оценки стоимости земель посвящены работы многих мировых исследователей. Следует отметить исследования ученых N. Kok, P. Monkkonen и J. M. Quigley [1], посвященные взаимосвязи между условиями использования земли и ценами на нее (учет таких факторов, как топография района, география и демография, является ключевым аспектом работы). Подробный обзор методологии расчетов и экспертизы результатов кадастровой оценки земельных участков дан С. И. Носовым и Б. Е. Бондаревым [2]. О влиянии юридических факторов на кадастровую стои-

мость земель (кадастровый учет, возможность застройки, наличие ограничений) говорят Т. Alkan и S.S. Durduran [3]. В целом совершенствование кадастровой оценки земель, по мнению А. Е. Сагайдака и А. А. Сагайдака, заключается в дальнейшем развитии земельного рынка на основе аукционной торговли земельными участками, что обеспечит формирование равновесной цены земли на основе взаимодействия спроса и предложения [4], поэтому в современных условиях важными для изучения стали факторы, на которые рынок однозначно реагирует. Так, И. С. Дьячкова с соавторами считает необходимым учитывать в кадастровой оценке влияние историко-культурных факторов [5]. Т. Баникевич, Е. Н. Быкова и др. определили влияние факторов плодородия и окружающей среды на кадастровую стоимость земель [6]. Изучением экстерналий факторов занимается ряд российских и зарубежных ученых. А. А. Варламов [7], В. Ю. Сутягин [8], D. Sherwood [9] исследуют методологию оценки земель с учетом ограничений их использования. В. Ф. Ковязин, А. А. Киценко и др. предлагают учитывать для земель лесного фонда степень развитости инфраструктуры [10]. О. А. Макаров с соавторами уделяет значительное внимание кадастровой оценке земель, загрязненных радионуклидами [11]. Применение современных методов для кадастровой оценки проанализировано в работах M. Renigier-Biłozor, A. Janowski, M. d'Amato [12], И. Г. Рагузина, Т. И. Балтыжаковой, О. Ю. Лепихиной [13].

В то же время вопросам оценки земель промышленности уделено меньше внимания. Среди российских исследователей этой темы касаются Д. С. Валиев [14], А. В. Гордеев [15], изучающие влияние загрязнения от промышленных производств на стоимость земли, из зарубежных выделяются J. G. Kowalski, C. C. Paraskevopoulos, которые провели анализ влияния местоположения на стоимость земель промышленности [16]. Разработка предложений по совершенствованию методологии кадастровой оценки земель, занятых объектами добывающей промышленности, сделана в работе М. А. Свительской [17], а также в диссертациях М. А. Грехова и Е. Н. Никитиной. М. А. Свитель-

ской был обоснован состав факторов кадастровой стоимости, к которым отнесены геологическая изученность территории, количество запасов полезных ископаемых, климатическая составляющая, рельеф и гидрография.

В вышеперечисленных работах находит отражение утверждение о недостаточности состава факторов оценивания земли в его существующем порядке. Некоторые ученые говорят о необходимости учета влияния производственного процесса на экологию окружающей среды [14]. Следует отметить, что разработка отдельных методик для отраслей добывающей промышленности должна быть основана на показателях рентабельности их производства, которые показывают достаточную дифференциацию. В ряде случаев наблюдается превышение показателей рентабельности некоторых отраслей над показателями иных видов промышленности. Авторами настоящей статьи ранее исследована рентабельность нефтегазовых предприятий РФ; результаты показали, что ее уровень превышает показатели других видов промышленности.

В связи с этим целью исследования является совершенствование методики оценки земель на основе обоснования стоимостных факторов и значений их шкал для условий нефтегазодобывающей отрасли. Для достижения поставленной цели в работе предусмотрено обоснование состава факторов оценивания земель нефтегазодобывающих комплексов (НГК); определение весов факторов с помощью экспертной оценки; вычисление кадастровой стоимости на примере земельных участков предприятий НГК; сравнительная оценка кадастровой стоимости по результатам последнего тура и полученным в исследовании.

Методы и материалы

В рамках исследования рассматриваются земельные участки под объектами предприятий разведки и добычи нефти и газа, расположенные на территории Республики Саха (Якутия). Объект исследования выбран неслучайно: в последние годы в Якутии активно развивается выработка газа и нефтепродуктов, открываются новые месторождения и растут показатели добычи [18].

Исходными данными для выполнения исследования являются открытые источники: Публичная кадастровая карта, официальный сайт ГБУ РС(Я) «Центр государственной кадастровой оценки», Государственный ка-

дастр месторождений и проявлений полезных ископаемых, онлайн-портал Neftegaz.ru.

Методика выполнения исследования схематично представлена на рис. 1.

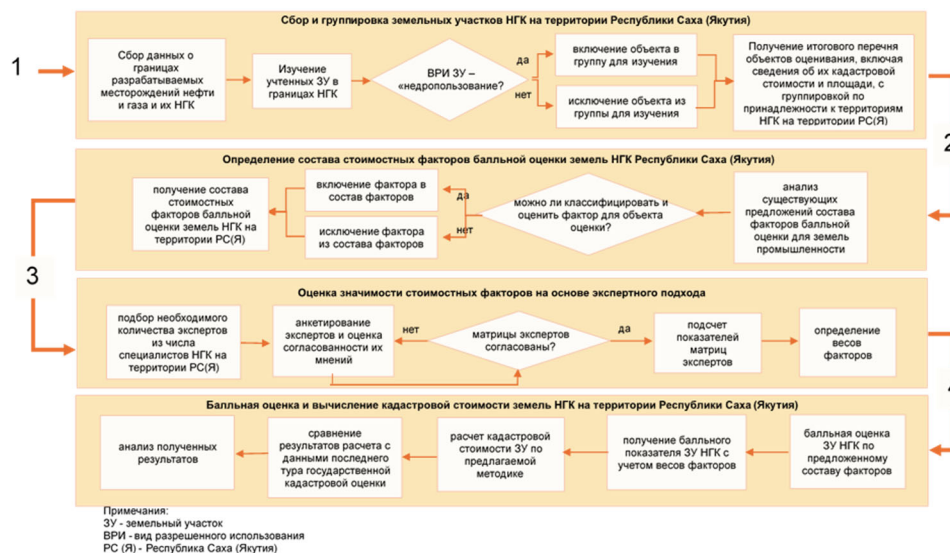


Рис. 1. Этапы методики определения кадастровой стоимости земель НГК

Для учета всех необходимых характеристик при определении кадастровой стоимости используется расчет балльного показателя для набора факторов, состав которых обоснован на основе анализа упомянутых выше работ. Состав факторов, отражающий индивидуальные характеристики земельных участков, занятых объектами нефтегазодобывающих предприятий, выглядит следующим образом:

1) запасы полезных ископаемых и их геологическая разведанность (Ф1): для каждого вида полезного ископаемого, в том числе для нефти и газа, установлены свои пределы объемов запасов. Для снижения рисков и исключения возможности неверной оценки запасов месторождения важное значение для определения его значимости имеет геологическая разведанность. Чем больше объемы запасов, чем детальнее они изучены, тем ценнее месторождение и стабильнее выпуск готовой продукции;

2) геологическое строение (Ф2): этот фактор оказывает существенное влияние на эксплуатационные затраты и риск нестабильной подачи сырья, поэтому фактор является негативным (чем сложнее геологическое строение, тем ниже балл);

3) климатические условия (Ф3): в климате с преобладающими низкими температурами

необходимо обеспечивать требуемый уровень отопления или теплоизоляции зданий, уличных трубопроводов и емкостей, что приводит к удорожанию каждой единицы оборудования, и влияет как на капиталоемкость и трудоемкость при строительстве НГК, так и на эксплуатационные затраты;

4) транспортная доступность (Ф4): является немаловажным фактором при строительстве (своевременная доставка материалов и оборудования) и эксплуатации (доставка материалов для работы предприятия, отгрузка выработанной продукции) нефтегазового предприятия;

5) расположение водных ресурсов (Ф5): на НГК вода находит применение для абсолютно различных целей (охлаждение оборудования, обессоливание нефти, получение пара для подачи в скважины в целях снижения вязкости нефти, хозяйственно-бытовые нужды и т. д.). Производители часто осуществляют водозабор из поверхностных источников и скважин, а также используют оборотную воду, поэтому их расположение относительно производства готовой продукции имеет важное значение;

6) социально-экономические условия (Ф6): фактор показывает наличие рядом с площадкой НГК населенных пунктов, которые могут обеспечить его рабочей силой. Доставка вахтовых

рабочих, строительство и содержание вахтового поселка, обеспечение нормируемых условий труда и отдыха рабочих – один из источников расходов, следовательно, чем дальше предприятие удалено от населенного пункта, тем балл ниже;

7) рельеф местности (Ф7): оказывает непосредственное влияние на проектирование и строительство НГК, а также на расположение как основных объектов нефтегазодобывающего предприятия, так и вспомогательных: хвостового хозяйства, объектов электроэнергетики, а также на протяженность основных транспортных магистралей (трактов доставки нефтепродуктов, трасс водоводов и т. п.). Чем сложнее рельеф местности, тем дальше друг от друга располагаются вышеперечисленные объекты, и, соответственно, дороже обходится эксплуатация всего предприятия в целом;

8) экологическое влияние (Ф8): существенным недостатком разработки месторождений нефти и газа является негативное влияние на окружающую среду, выраженное в воздействии на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, земельные ресурсы. Учет экологического влияния разработки месторождений, в том числе нефти и газа, стал возможен из-за повсеместного включения в ежегодную отчетность компаний показателей снижения вредных выбросов, их влияния на окружающую среду, а также мер по профилактике нарушения экологической среды.

В результате для обоснованных выше факторов используется система оценки, составленная на основе классификации каждого фактора, общепринятой или рассчитанной авторами (табл. 1).

Таблица 1

Интерпретация баллов для факторов оценивания балльного показателя

Наименование фактора	Интерпретация фактора при различном значении оцениваемого параметра			
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла
Запасы полезных ископаемых и их геологическая изученность	Очень мелкое и мелкое месторождение	Среднее месторождение	Крупное месторождение	Уникальное месторождение
Геологическое строение	Очень сложного строения	Сложного строения	Простого строения	–
Климатические условия	Сухой климат	Умеренный климат	Континентальный климат	Полярный климат
Транспортная доступность (наличие ж/д станций, портов или аэропортов на расстоянии)	Более 50 км	До 50 км	До 30 км	До 15 км
Расположение водных ресурсов на расстоянии	Более 10 км	До 10 км	До 5 км	–
Социально-экономические условия (удаление от населенного пункта)	Значительное	Среднее	Малое	Непосредственная близость
Рельеф местности	Горный	Холмистый	Равнинный	–
Экологическое влияние (сокращение уровня загрязняющих веществ по сравнению с предыдущим отчетным периодом)	Менее чем на 3 %	На 3–5 %	На 5–7 %	Более чем на 7 %

Значимость факторов оценки на стоимость земельных участков может быть различна, поэтому методом анализа иерархий Томаса Сати, который основывается на попарном сравнении элементов между собой по шкале приоритетов, определены веса рассматриваемых факторов (табл. 2). Процесс определения весов факторов методом анализа иерархий состоит из следующих этапов: формулировка цели анализа; построение качественной модели решаемой проблемы в виде иерархии;

составление экспертной анкеты; подбор компетентных экспертов; получение экспертных оценок; обработка полученной информации и определение степени согласованности экспертов; расчет весовых коэффициентов факторов. Целью анализа является определение степени влияния оцениваемых ценообразующих факторов на строительство и эксплуатацию НГК. Экспертами выступили сотрудники нефтегазодобывающих комплексов Республики Саха (Якутия), изучаемых в работе.

Результаты

На основе расчета методом определения минимального числа экспертов [19] количество требуемых анкетизируемых составляет не менее 6. В ходе интерпретации экспертных анкет на предмет согласованности (ИС) ответов [20] установлено, что отношение согласованности (ОС) в каждой матрице не превышает 0,10, соответственно все анкеты экспертов могут быть использованы для оценки.

Случайный индекс (СИ) для матрицы восьмого порядка равен 1,41. Полученные значения для матриц каждого эксперта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет отношения согласованности

Номер матрицы эксперта	ИС	СИ	ОС
1	0,070	1,41	0,05
2	0,138		0,10
3	0,115		0,08
4	0,136		0,10
5	0,120		0,08
6	0,131		0,09

Путем отношения значения в ячейке экспертной матрицы к сумме таких значений по столбцу найдены средние значения весов

факторов в каждой матрице, а затем рассчитаны итоговые средние веса факторов, которые ранжированы по значимости в табл. 3.

Таблица 3

Веса факторов кадастровой стоимости земель НГК

Номер фактора	Наименование фактора	Вес, %
2	Геологическое строение	22
1	Запасы полезных ископаемых и их геологическая разведанность	20
3	Климатические условия	18
4	Транспортная доступность	12
5	Расположение водных ресурсов	10
6	Социально-экономические условия	7
7	Рельеф местности	6
8	Экологическое влияние	5

Согласно предложенной системе оценки изучены земельные участки предприятий нефтегазовой промышленности в Республике Саха (Якутия), по которым исследованы все характеристики, обуславливающие результаты экономической деятельности, и определены их балльные показатели.

В табл. 4 представлена характеристика месторождений в системе баллов, разработанной в исследовании.

Таблица 4

Балльная оценка месторождений нефти и газа

Название месторождения	Компания-недропользователь	Номер фактора по таблице 5							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Талаканское нефтегазоконденсатное	ПАО «Сургутнефтегаз»	3	2	3	4	3	4	3	4
Алинское газонефтяное	ПАО «Сургутнефтегаз»	3	2	3	4	3	4	3	4
Восточно-Алинское нефтяное	ПАО «Сургутнефтегаз»	3	2	3	4	3	4	3	4
Иреляхское нефтегазоконденсатное	ЗАО «Иреляхнефть»	1	1	3	4	3	4	2	1
Центральный блок Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения	ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча» (ПАО НК «Роснефть»)	4	1	3	1	3	4	3	4
Маччобинское нефтегазоконденсатное	ООО «Саханефть»	2	2	3	3	3	3	3	1
Средневилюйское газоконденсатное	ПАО «ЯТЭК»	2	2	3	3	3	2	2	4
Мастахское газоконденсатное	ПАО «ЯТЭК»	2	2	3	3	3	2	2	4
Северный блок Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения	АО «АЛРОСА-Газ»	1	1	3	1	3	2	1	1
Локальный участок Среднетюнгского газоконденсатного месторождения	АО «Сахатранснефтегаз»	1	2	3	1	2	1	2	3
Отрадинское газоконденсатное	ООО «ГДК Ленск-Газ»	2	2	3	1	3	2	2	1

Приведенные выше баллы использованы при расчетах кадастровой стоимости земельных участков, входящих в границы месторождений. В табл. 5 приведены выполненные расчеты и их сравнение с кадастровой стоимостью, определенной в предыдущем туре кадастровой оценки.

Таблица 5

Расчет кадастровой стоимости 1 земельных участков под НГК

Название месторождения	Кадастровый номер	Площадь, м ²	УПКС действующий, руб/м ²	УПНГК, руб/м ²	Разница КС земельного участка, тыс. руб
Талаканское нефтегазоконденсатное	14:14:010011:3479	152 242	96,13	395,49	45 575
	14:14:000000:4700	21 690 482	32,50	395,49	7 873 428
	14:14:010011:2106	34 328	153,42	395,49	8 310
	14:14:010011:2105	4 825	146,23	395,49	1 203
	14:14:010011:2154	153 817	96,13	395,49	46 047
	14:14:010011:2972	78 564	105,61	395,49	22 774
	14:14:010011:3313	365 763	74,47	395,49	117 417
Алинское газонефтяное	14:14:010009:1257	205 000	74,47	395,49	65 809
	14:14:010009:1290	96 200	137,55	395,49	24 814
	14:14:010009:1309	64 600	137,55	395,49	16 663
	14:14:000000:173	834 700	96,99	395,49	249 158
	14:14:010009:1300	109 600	125,20	395,49	29 624
	14:14:010009:1307	174 800	96,13	395,49	52 328
Северо-Талаканское нефтяное	14:14:010011:2341	200 700	96,99	395,49	59 909
	14:14:010011:2391	449 700	74,47	395,49	144 363
	14:14:010011:2336	782 000	96,99	395,49	233 427
	14:14:000000:2407	454 100	96,99	395,49	135 549
	14:14:010011:2395	100 500	125,20	395,49	27 164
	14:14:000000:2406	483 600	96,99	395,49	144 355
Восточно-Алинское нефтяное	14:14:010011:2355	104 700	96,13	395,49	31 343
	14:14:010011:2278	83 100	105,61	395,49	24 089
	14:14:010009:1268	48 500	117,80	395,49	13 468
	14:14:010009:1314	189 300	125,20	395,49	51 166
	14:14:010009:1310	47 800	153,42	395,49	11 571
	14:14:010009:1280	37 000	117,80	395,49	10 275
Иреляхское нефтегазоконденсатное	14:37:000220:251	1 014 164	429,61	496,47	67 807
	14:16:060101:2041	186 900	120,17	496,47	70 330
	14:16:080101:1744	853 634	93,09	496,47	344 339
	14:16:060101:2039	120 000	120,17	496,47	45 156
Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение (центральный блок)	14:16:070101:4	8 800	169,25	535,93	3 227
	14:16:070101:2652	20 080	147,25	535,93	7 805
	14:16:070101:1258	2 200	182,79	535,93	777
	14:16:070101:4030	131 064	120,17	535,93	54 491
	14:16:070101:4176	4 353	182,79	535,93	1 537
	14:16:070101:3892	4356	182,79	535,93	1 538
	14:16:070101:3989	34 340	147,25	535,93	13 347
	14:16:070101:4002	86 676	132,01	535,93	35 010

Обсуждение

В процессе использования экспертного подхода к определению значимости факторов стоимости земель нефтегазовых комплексов достигнута согласованность мнений экспертов, что подтверждает высокую степень надежности анализа значимости факторов, объективность и устойчивость дальнейшего исследования. Также согласованность мнений служит показателем глубокого познания экспертов в изучаемой области, единства методов работы в отрасли.

Состав стоимостных факторов, определенный в настоящем исследовании, схож по содержанию с составом, определенным М. А. Свительской в научной работе [17], посвященной оценке промышленных земельных участков, предназначенных для добычи полезных ископаемых. Прослеживается согласованность мнений в отношении факторов Ф1, Ф2, Ф3 и Ф6. Отличия в составе (например, у М. А. Свительской в состав включен фактор «Уровень развития нефтедобывающей отрасли в районе расположения») могут быть связаны с необходимостью учета освоенности месторождений.

Результаты определения весов факторов кадастровой стоимости показали значимость их влияния на экономические показатели предприятий нефтегазового комплекса, а соответственно, в расчете. Наиболее значимыми факторами при определении кадастровой стоимости земель нефтегазовых комплексов на территории Республики Саха (Якутия) явились геологическое строение месторождений, запасы полезных ископаемых и их геологическая разведанность и климатические условия района. Второй группой факторов по значимости определены: транспортная доступность, расположение водных ресурсов и социально-экономические условия. Свое влияние находят и факторы рельефа местности и экологического влияния, вес которых 6 и 5 % соответственно.

При соотношении полученных весовых коэффициентов с определенными в исследовании М. А. Свительской можно судить о сходимости порядка значимости факторов. Веса ряда факторов отличаются ($\Phi 1 - 20\%$ в настоящем исследовании, 25% у М. А. Свительской; $\Phi 2 - 22$ и 21% соответственно), так как в настоящем исследовании они были определены по результатам анализа экспертных анкет специалистов, в сравниваемой работе – автором самостоятельно (субъективность мнения). Влияние на отличие значимости факторов имеет и их состав.

Балльная оценка земель конкретных месторождений выявила, что наиболее высоким балльным показателем обладают земли на территории Талаканского нефтегазоконденсатного месторождения, Алинского газонефтяного месторождения, Восточно-Алинского нефтяного месторождения, что связано с величиной месторождений и их более выгодными показателями рельефа, климата, а также удачным расположением относительно водных объектов, транспортных узлов и населенных пунктов. Совокупность перечисленных показателей, а также относительно высокий процент сокращения уровня загрязняющих веществ компенсируют сложное геологическое строение месторождения (самый значимый фактор по результатам расчета весов). Наименьшие значения балльной оценки имеют следующие месторождения: северный блок Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения, локальный участок

Среднетюнгского газоконденсатного месторождения и Отраднинское газоконденсатное месторождение. Это связано с небольшим объемом запасов месторождений, имеющих сложное и очень сложное геологическое строение и холмистый и горный рельеф, удаленностью от транспортных узлов и населенных пунктов. Кроме того, у двух из трех месторождений очень низкие показатели сокращения уровня загрязняющих веществ. Стоит отметить, что достаточно высокие баллы за климатические условия и расположение водных объектов не компенсируют перечисленные недостатки.

По результатам определения кадастровой стоимости земельных участков, относящихся к НГК, можно судить о значительном занижении стоимости земли, на которой расположены нефтегазовые предприятия в Республике Саха (Якутия). Самый высокий $УП_{НГК}$, определенный по модифицированной методике, получен в отношении земель Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения и составляет $535,93 \text{ руб./м}^2$ при минимальном действующем $УПКС$ указанного месторождения, равном $120,17 \text{ руб./м}^2$. Среднее отклонение $УПКС$ от действующих в настоящее время результатов кадастровой оценки составляет $71,9\%$. Это говорит о необходимости применения отдельной методики при проведении государственной кадастровой оценки земель нефтегазодобывающих предприятий в целях эффективного и объективного земельного налогообложения.

Заключение

В разных зарубежных странах изъятие дополнительного дохода от использования природных ресурсов происходит через налоговую систему, которая перераспределяет природную ренту. В странах с богатыми природными ресурсами используются такие налоги, как роялти, налог на пользователя природных ресурсов, экологический налог, земельный налог и др. В данном исследовании применение модифицированной методики кадастровой оценки в отношении земельных участков нефтегазового комплекса будет способствовать изъятию дифференциальной ренты I рода,

возникающей за счет лучших природных условий (климат, рельеф, объемы запасов, геологическое строение) и местоположения (транспортная доступность, расположение относительно населенных пунктов и водных объектов) у предприятий НГК. Такая система повысит эффективность земельного налогообложения на территории Республики Саха (Якутия) и увеличит размер налоговых средств от использования земли для добычи и переработки нефти и газа, отчисляемых в местные бюджеты.

В связи с тем, что разработка месторождений зачастую затрагивает большие площади земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда, полученные средства могут в дальнейшем использоваться на их восстановление, рекультивацию и поддержание продуктивности.

Результаты исследования могут быть использованы в работе государственных бюджетных учреждений кадастровой оценки, комиссий по рассмотрению споров о результатах определения кадастровой стоимости, балансо-

вой комиссии Министерства экологии, природопользования и лесного хозяйства РС (Я), экологического совета при главе РС (Я), бюджетных комиссий административных единиц (в зависимости от собственника рассматриваемых земель).

Следует отметить, что предлагаемая методика является универсальной и может быть использована для расчета кадастровой стоимости земель НГК, расположенных на территории других регионов России. В перспективе возможна разработка отдельной методики расчета кадастровой стоимости земель иных видов промышленности, что позволит отразить доходность предприятий и скорректировать налоговые отчисления, при этом повысив эффективность результатов кадастровой оценки.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность сотрудникам НГК Республики Саха (Якутия) за оказанное содействие и участие в анкетировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kok N., Monkkonen P., Quigley J. M. Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis // *Journal of Urban Economics*. – 2014. – Vol. 81. – P. 136–148. – DOI 10.1016/j.jue.2014.03.004.
2. Носов С. И., Бондарев Б. Е. Кадастровая оценка земельных участков: методология расчетов и экспертиза результатов // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. – 2013. – № 7 (142). – EDN QITLPP.
3. Alkan T., Durduran SS. Türkiye’de Tarım Arazilerinin Değerlemesine İlişkin Genel Bir Değerlendirme // *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. – 2024. – Vol. 7, No. 2. – P. 953–972. – DOI 10.47495/okufbed.1332617. – EDN RFFGCD.
4. Сагайдак А. Э., Сагайдак А. А. Методические подходы к оценке земли как главного средства производства в сельском хозяйстве // *Теория и практика научных исследований : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, 28 сентября 2020 г. – Нефтекамск : Мир науки, 2020. – С. 32–38. – EDN FJJGJT.*
5. Ковязин В. Ф., Скачкова М. Е., Дьячкова И. С. Историко-культурная оценка урбанизированных территорий как часть кадастровой, землеустроительной и оценочной деятельности // *Геодезия и картография*. – 2020. – № 12. – С. 57–62. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-966-12-57-62. – EDN HORKTC.
6. Bykova E., Banikevich T., Zalivatskaya N., Pirogova O. Modeling the Cadastral Value of Land Plots of Gardening and Horticultural Non-Profit Partnerships Taking into Account the Influence of Local Factors of the Territory // *Land*. – 2024. – Vol. 13. – Art. 1004. DOI 10.3390/land13071004. – EDN TDJOEE.
7. Варламов А. А., Гальченко С. А. Теоретические основы ведения земельного кадастра для зон с особым режимом использования земель // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. – М. : Панорама. – 2006. – № 4. – С. 56–62. – EDN WNBVIJ.

8. Сутягин В. Ю. Учет влияния охранных зон на стоимость земельного участка // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2017. – № 12 (195). – С. 82–98. – EDN ZWTSDH.
9. Sherwood D. Easement Valuation // Right of way. – 2006. – Vol. 5/6. – P. 30–33.
10. Kovyazin V., Kitsenko A., Shobairi O. Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure // Journal of Mining Institute. – 2021. – Vol. 249. – P. 449–462. – DOI 10.31897/PMI.2021.3.14. – EDN KPFYAQ.
11. Makarov O. A., Tsvetnov E. V., Shcheglov A. I., Romashkina A. D., Ermiyaev Ya. R. Cadastral Valuation of Lands Polluted with Radionuclides // Eurasian Soil Science. – 2016. – Vol. 49. – № (no) 11. – P. 1288–1293. – DOI 10.1134/S1064229316110065. – EDN WIVNUO.
12. Renigier-Bilozor M., Janowski A., D'Amato M. Automated valuation model based on fuzzy and rough set theory for real estate market with insufficient source data // Land use policy. – 2019. – Vol. 87 (104021). DOI 10.1016/j.landusepol.2019.104021. – EDN LZDCSH.
13. Лепихина О. Ю., Балтыжакова Т. И., Рагузин И. И. Перспективы применения методов машинного обучения в кадастровой оценке недвижимости // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Экономика и право. – 2020. – № 1. – С. 48–50. – EDN MKPQMT.
14. Валиев Д. С., Хабарова И. А., Хабаров Д. А. Государственная кадастровая оценка земель промышленности и иного специального назначения с учетом экологической составляющей // Вектор ГеоНаук. – 2018. – Т. 1, № 2. – С. 61–64. – EDN YBDPTV.
15. Гордеев А. В. Особенности кадастровой оценки земель под промышленными объектами с учетом их техногенного загрязнения // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 225–236. – EDN XQYXSP.
16. Kowalski J. G., Paraskevopoulos C. C. The impact of location on urban industrial land prices // Journal of Urban Economics. – 1990. – Vol. 27 (1). – P. 16–24. – DOI 10.1016/0094-1190(90)90021-E.
17. Свительская М. А. Методика оценки промышленных земельных участков, предназначенных для добычи полезных ископаемых // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 5. – С. 66–68. – EDN ZQJURH.
18. Крюков Я. В. Долгосрочное прогнозирование развития нефтегазового сектора Республики Саха (Якутия) // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2022. – № 17-2.
19. Карчина Е. И., Иванова М. В., Волохина А. Т., Глебова Е. В., Вихров А. Е. Усовершенствование процедуры групповой экспертной оценки при анализе профессиональных рисков на предприятиях ТЭК // Записки Горного института. – 2024. – Т. 270. – С. 994–1003. – EDN NZKFQG.
20. Матрохина К. В., Трофимец В. Я., Мазиков Е. Б. и др. Развитие методологии сценарного анализа инвестиционных проектов предприятий минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. – 2023. – Т. 259. – С. 112–124. – DOI 10.31897/PMI.2023.3. – EDN DBXKMW.

Об авторах

Елена Николаевна Быкова – доктор экономических наук, доцент, зав. кафедрой землеустройства и кадастров.

Диана Антоновна Шарова – техник по инвентаризации строений и сооружений СПб ГБУ «ГУИОН»; магистрант кафедры землеустройства и кадастров.

Вера Викторовна Воронцовская – аспирант кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений.

Получено 26.11.2024

© Е. Н. Быкова, Д. А. Шарова, В. В. Воронцовская, 2025

Cadastral valuation of lands of oil and gas producing enterprises: improving methodology and practice

E. N. Bykova ^{1✉}, D. A. Sharova^{1,2}, V. V. Voronetskaya¹

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg State Budgetary Institution "City Department of Inventory and Valuation of Real and Movable Property" (St. Petersburg State Budgetary Institution "GUION"),
St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: Bykova_EN@pers.spmi.ru

Abstract. This article contains a study of the methodology for determining the cadastral value of land under oil and gas industry facilities in the Republic of Sakha (Yakutia). The lack of reflection of enterprise profitability in the cost of land leads to a violation of the objectivity of land tax calculation. The purpose of the article is to improve the multi-criteria methodology for calculating the cadastral value of land occupied by oil and gas enterprises within the selected region by applying the hierarchy analysis method and calculating weighting factors. The result was the calculated specific indicator of cadastral value for land plots of the main oil and gas fields in Yakutia. Comparison with actual values shows the need to apply a modified methodology for the objectivity of cadastral land valuation.

Keywords: cadastre, cadastral valuation, industrial lands, oil and gas enterprises, oil, gas, cost, land plot

REFERENCE

1. Kok, N., Monkkonen, P., & Quigley, J. M. (2014). Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis. *Journal of Urban Economics*, 81, 136–148. DOI10.1016/j.jue.2014.03.004.
2. Nosov, S. I., & Bondarev, B. E. (2013). Cadastral valuation of land plots: methodology of calculations and examination of results. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossijskoj Federacii [Property relations in the Russian Federation]*, 7, 142 EDN QITLPP [in Russian].
3. Alkan, T., & Durduran, SS. (2024). Türkiye’de Tarım Arazilerinin Değerlemesine İlişkin Genel Bir Değerlendirme. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 2, 953–972. DOI 10.47495/okufbed.1332617. EDN RFFGCD.
4. Sagaidak, A. E. & Sagaidak, A. A. (2020). Methodological approaches to assessing land as the main means of production in agriculture. In *Materialy Mezhdunarodnoj (zaочноj) nauchno-praktičeskoj konferencii: Teorija i praktika nauchnyh issledovanij. Nur-Sultan [Theory and practice of scientific research. Nur-Sultan]* (pp. 32-38). Neftekamsk: Nauchno-izdatel'skij centr «Mir nauki» (IP Vostrecov Aleksandr Il'ich) EDN FJJGJT [in Russian].
5. Kovyazin, V. F., Skachkova, M. E., Dyachkova, I. S. (2020). Historical and cultural assessment of urbanized territories as the part of cadastral, land management and other economic activities. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and cartography]*, 966 (12), 57–62. DOI 10.22389/0016-7126-2020-966-12-57-62. EDN HORKTC [in Russian].
6. Bykova, E., Banikevich, T., Zalivatskaya, N., Pirogova, O. (2024). Modeling the Cadastral Value of Land Plots of Gardening and Horticultural Non-Profit Partnerships Taking into Account the Influence of Local Factors of the Territory. *Land*, 13 (1004). DOI 10.3390/land13071004. EDN TDJOEE.
7. Varlamov, A. A., & Gal'chenko, S. A. (2006). Theoretical foundations of maintaining a land cadastre for zones with a special land use regime. *Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*, 4, 56–62. EDN WNBVIJ [in Russian].

8. Sutyagin, V. Yu. (2017). Accounting for the influence on the value of security areas land. *Imushhestvennyye otnosheniya v Rossijskoj Federacii [Property relations in the Russian Federation]*, 12 (195), 82-98. EDN ZWTSDH [in Russian].
9. Sherwood, D. (2006). Easement Valuation. *Right of way*, 5/6, 30–33.
10. Kovyazin, V., Kitsenko, A., & Shobairi, O. (2021). Cadastral valuation of forest lands, taking into account the degree of development of their infrastructure. *Journal of Mining Institute*, 249, 449-462. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.14. EDN KPFYAQ [in Russian].
11. Makarov, O. A., Tsvetnov, E. V., Shcheglov, A. I., Romashkina, A. D., & Ermiyaev, Ya. R. (2016). Cadastral Valuation of Lands Polluted with Radionuclides. *Eurasian Soil Science*, 49 (11), 1288–1293. DOI 10.1134/S1064229316110065. EDN WIVNUO.
12. Renigier-Biłozor, M., Janowski, A., & D'Amato, M. (2019). Automated valuation model based on fuzzy and rough set theory for real estate market with insufficient source data. *Land use policy*, 87 (104021). DOI 10.1016/j.landusepol.2019.104021. EDN LZDCSH.
13. Lepikhina, O. Y., Baltyzhakova, T. I. & Raguzin, I. I. (2020). Prospects for the use of machine learning methods in cadastral valuation of real estate. *Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Jekonomika i pravo [Modern Science: Current Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law]*, 1, 48–50. EDN MKPQMT [in Russian].
14. Valiev, D. S., Khabarova, I. A., & Khabarov, D. A. (2018). State cadastral valuation of industrial lands and other special purposes with considering the ecological component. *Vektor GeoNauk [Vector of Geosciences]*, 1 (2), 61–64. EDN YBDPTV [in Russian].
15. Gordeyev, A. V. (2016). Peculiarities of cadastral assessment of lands occupied by industrial objects and their technogenic pollution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4 (36). EDN XQYXSP [in Russian].
16. Kowalski, J. G., & Paraskevopoulos, C. C. (1990). The impact of location on urban industrial land prices. *Journal of Urban Economics*, 27 (1), 16-24. DOI 10.1016/0094-1190(90)90021-E.
17. Svitelskaya, M. (2017). Technique of evaluation of industrial land plots intended for the extraction of minerals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosyemka [Publications of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*, 5, 66–68. EDN ZQJURH [in Russian].
18. Krjukov, Ja. V. (2022). Long-term forecasting of the development of the oil and gas sector of the Republic of Sakha (Yakutia). *Rossija: tendencii i perspektivy razvitija [Russia: development trends and prospects]*, 17 (2) [in Russian].
19. Karchina, E. I., Ivanova, M. V., Volokhina, A. T., Glebova, E. V., & Vikhrov, A. E. (2024). Improving the procedure for group expert assessment in the analysis of professional risks in fuel and energy companies. *Journal of Mining Institute*. 1-10. EDN NZKFQG [in Russian].
20. Matrokhina K. V., Trofimets V. Y., Mazakov E. B., Makhovikov A. B., & Khaykin M. M. (2023). Development of methodology for scenario analysis of investment projects of enterprises of the mineral resource complex. *Journal of Mining Institute*, 259, 112–124. DOI: 10.31897/PMI.2023.3. EDN DBXKMW [in Russian].

Author details

Elena N. Bykova – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre.

Diana A. Sharova – technician for the inventory of buildings and structures of St. Petersburg GBU "GUION"; Graduate, Department of Land Management and Cadastre.

Vera V. Voronetskaya – Ph. D. Student, Department of Construction of Mining Enterprises and Underground Structures.

Received 26.11.2024

© E. N. Bykova, D. A. Sharova, V. V. Voronetskaya, 2025

УДК 528.441.1: 347.214.2

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142

Анализ эффективности современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости

Д. А. Гура^{1, 2✉}

¹Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

²Кубанский государственный аграрный университет,
г. Краснодар, Российская Федерация

e-mail: gda-kuban@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения технологии наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии для трехмерной идентификации объектов недвижимости, включая анализ точности, времени выполнения работ и в целом повышения эффективности проведения геодезических работ. Статья посвящена актуальному направлению развития науки в сфере координатного обеспечения кадастровых работ на застроенных территориях. Проведен ряд экспериментов с различными объектами недвижимости на предмет сравнительного анализа традиционных методов и современных технологий в области геодезии и кадастровых работ. В результате было выявлено, что использование современных технологий позволяет значительно сократить время на выполнение работ, а также более точно определять координаты характерных точек границ объектов недвижимости. Дополнительно отмечено, что современные технологии позволили выявить ошибки в ранее установленных границах объектов недвижимости, которые оставались незамеченными при использовании традиционных методов, посредством повышенных технических характеристик современного оборудования (дальность, точность угловых и линейных измерений, плотность и детальность). Результаты проведенного экспериментального исследования показывают эффективность внедрения современных геодезических технологий с точки зрения трудоемкости выполняемых работ, что в значительной степени улучшает пространственное планирование и развитие территорий.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, методы фотограмметрии, геодезия, трехмерная идентификация объектов, государственный кадастровый учет, пространственное планирование, точность измерений, Единый государственный реестр недвижимости

Для цитирования:

Гура Д. А. Анализ эффективности современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 132–142. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-132-142

Введение

На сегодняшний день комплексное развитие территорий практически невозможно без точной трехмерной идентификации объектов недвижимости (ОН), что требует использования высокотехнологичных методов съемки, таких как аэрофотосъемка и трехмерное лазерное сканирование. С увеличением плотно-

сти застройки и усложнением инфраструктурных связей традиционные подходы к кадастровой деятельности уже не обеспечивают необходимой точности и оперативности. В связи с этим на первый план выходят современные методы измерений в геодезии и картографии, которые позволяют не только фиксировать границы объектов недвижимости, но и с высокой точностью выявлять фактические от-

клонения фактических данных от зафиксированных в документации.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) и методы фотограмметрии – это ключевые инструменты в решении задач пространственного анализа. Они позволяют получить детализированные данные о конфигурации объектов недвижимости, их взаимном расположении и состоянии [1]. Эти технологии не просто дополняют традиционные методы, но и во многих случаях полностью их заменяют, обеспечивая более высокую точность и эффективность. Применение современных методов сбора пространственной информации особенно актуально в условиях стремительного урбанистического развития, где ошибки в трехмерной идентификации объектов недвижимости могут привести к серьезным юридическим и экономическим последствиям [2].

Целью исследования является проведение оценки эффективности применения наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии посредством анализа точности и скорости выполнения работ для трехмерной идентификации объектов недвижимости. Также необходимо определить влияние современных технологий на улучшение процессов пространственного планирования и актуализации сведений государственного кадастрового учета, вносимых в Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН).

Изучением проблемы эффективного применения современных измерительных технологий для трехмерной идентификации объектов недвижимости занимались многие исследователи. Так, Т. А. Барина, А. Е. Катрич изучили возможности наземного лазерного сканирования для повышения точности геодезических работ в условиях городской застройки, выявляя преимущества данной технологии перед традиционными методами [3]. Е. Ю. Конушина, Д. В. Симашева изучили технологии применения методов фотограмметрии для создания трехмерных моделей сложных ландшафтов, что позволило значительно улучшить процессы пространственного планирования [4]. А. А. Красиков проводил исследования по интеграции геодезических данных в информационные системы управления недвижимостью, акцентируя вни-

мание на повышении эффективности государственного кадастрового учета [5]. Работы М. В. Литвиненко были сосредоточены на сравнении различных методик обнаружения ошибок в установлении границ, что стало основой для разработки рекомендаций по их исправлению [6]. Вышеперечисленные исследования способствуют развитию современных подходов в кадастровых и геодезических работах, обеспечивая более точное и надежное управление объектами недвижимости.

Таким образом, применение наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии для обработки данных в целях трехмерной идентификации объектов недвижимости дало положительные результаты в различных проектах [7, 8].

Дальнейшие научные исследования, направленные на совершенствование методов обработки данных и разработку новых алгоритмов, способствуют значительному повышению точности, эффективности и экономичности этого процесса, обеспечивая создание надежных и детальных трехмерных моделей для решения широкого круга задач в сфере управления недвижимостью и пространственного планирования.

Материалы и методы

Исследование основывается на использовании современных геодезических технологий, нацеленных на точное и надежное определение объекта недвижимости в пространстве. Сделан акцент на применение технологий наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии, позволяющих создавать трехмерные модели объектов недвижимости с целью их детализации и определения точности, необходимой для выполнения геодезических работ в городской среде [9].

Для получения пространственной информации об объектах недвижимости использовалось современное оборудование сбора геодезических данных: лазерные сканеры Leica RTC360 (рис. 1) и электронные безотражательные тахеометры Leica TS07 R1000. Основные технические характеристики используемого оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики оборудования

Параметр	Лазерный сканер Leica RTC360	Параметр	Leica TS07 R1000
Дальность сканирования	130 м	Дальность на призму	До 3500 м
Скорость сканирования	2 000 000 точек/с	Дальность без отражателя	До 1000 м
Точность измерения расстояния	1 мм + 10 мм/км	Точность на призму	От 1 мм ± 1,5 ppm до 5 мм ± 2 ppm
Точность измерения отдельной точки (3D)	1,9 мм на 10 м 2,9 мм на 20 м 5,3 мм на 40 м	Точность угловых измерений	1"
Диапазон шума	0,4 мм на 10 м 0,5 мм на 20 м	Точность в безотражательном режиме	От 2 мм ± 2 ppm до 4 мм ± 2 ppm
Угловая точность сканирования	18"	Диапазон работы компенсатора	± 3,78'
Камера	36-Мп система с тремя камерами производит съемку 432-Мп необработанных данных для калиброванного сферического изображения 360 × 300°	Точность фиксации компенсатора	1,5"



Рис. 1. Наземный лазерный сканер Leica RTC360

Сканер Leica RTC360 позволил получить облака точек, из которых были построены модели объектов недвижимости. На рис. 2 представлено облако точек на примере путепровода.

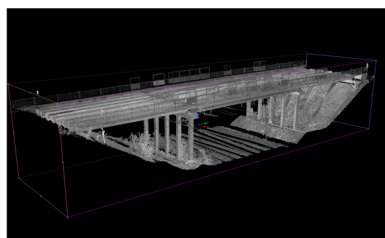


Рис. 2. Облако точек путепровода

Для повышения точности и детализации информации об объектах использовались методы фотограмметрии, в частности, снимки, сделан-

ные беспилотным воздушным судном (БВС) DJI Matrice 300 RTK с точностью позиционирования до 1,0 см в горизонтальной плоскости, 1,5 см в вертикальной, разрешением и частотой кадров FPV-камеры 960p и 30fps соответственно.

Высокое качество изображений и их обработка обеспечили создание детализированных карт территории, отображающих не только четкие контуры объектов недвижимости, но и особенности объектов, необходимые для точной трехмерной идентификации.

По результатам аэрофотосъемки данные обрабатывались в специализированном программном обеспечении (ПО) Agisoft Metashape Pro с целью создания ортофотопланов (рис. 3) и цифровых моделей местности. Это открывает новые возможности для картографирования объектов недвижимости в масштабах 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500 [10]. Процесс обработки данных включал несколько этапов: начальная обработка и фильтрация облака точек, создание моделей и привязка к геодезической сети [11].



Рис. 3. Ортофотоплан на примере центрального фасада учебного корпуса университета

Также была выполнена интеграция разрозненных данных (объединение облаков точек, полученных различными методами) в единую геопространственную базу, что обеспечило возможность выполнения комплексного анализа (обследования) состояния объектов недвижимости [12, 13]. При объединении данных в единую систему особое внимание уделялось проверке точности, так как именно этот показатель является основным при трехмерной идентификации объектов недвижимости при ведении ЕГРН [9].

Таким образом, используемые методы не только обеспечили высокую точность трехмерной идентификации объектов, но и позволили сократить сроки выполнения работ, что особенно важно в условиях интенсивного развития территорий.

Результаты и их обсуждение

Съемка с беспилотных воздушных судов позволила получить детализированные изображения, на основе которых были составлены высокоточные карты, отразившие реальные границы земельных участков с учетом всех природных и антропогенных изменений (рис. 4) [14]. Обработанные результаты измерений стали основой для внесения корректировок в ЕГРН, что позволило избежать длительных судебных разбирательств между собственниками соседних участков.



Рис. 4. Изображение земельного участка в результате аэрофотосъемки

Традиционные методы, включая использование теодолитов, основываются на дискретном измерении точек границ объекта с их последующей обработкой, что требует временных затрат и человеческих ресурсов [15].

Современные технологии, напротив, позволяют получать большое количество данных за короткий промежуток времени: сканеры и фотограмметрические камеры фиксируют миллионы точек, создавая точные трехмерные модели объектов недвижимости и прилегающую к ним инфраструктуру [16]. Эти методы минимизируют влияние человеческого фактора, что значительно снижает вероятность возникновения ошибок. Более того, данные, полученные при помощи НЛС и методов фотограмметрии, легко интегрируются в геоинформационные системы, что упрощает их дальнейший анализ и использование в проектировании и государственном кадастровом учете.

Существует множество факторов, способствующих возникновению ошибок при определении границ земельных участков [9]. К числу таких факторов можно отнести низкую точность картографических измерений, что проявляется в неточностях расположения объектов на картах, а также человеческий фактор, заключающийся в неточностях при интерпретации собранной информации [17]. При этом современные технологии способны предотвратить возникновение таких ошибок, что позволяет своевременно актуализировать данные об объектах недвижимости.

Данные, полученные с использованием наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии, обладают высокой точностью и полнотой, что делает их незаменимыми для пространственного планирования и развития территорий [18]. Детализированные трехмерные модели позволяют не только учитывать текущее состояние объектов недвижимости, но и прогнозировать их развитие с учетом различных факторов: плотность застройки, транспортная доступность и природные особенности территорий [19]. Эти данные становятся основой для принятия обоснованных решений в рамках градостроительного планирования, позволяя оптимизировать использование земельных ресурсов и ми-

минимизировать риски, связанные с неправильным размещением объектов инфраструктуры.

В рамках исследования, проведенного для оценки эффективности применения наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии для трехмерной идентификации объектов недвижимости, был проанализирован ряд требований к точности и скорости выполнения геодезических работ в городской среде [20].

В ходе эксперимента были проведены работы как традиционными методами с исполь-

зованием теодолитов и нивелиров, так и с помощью лазерного сканера Leica RTC360 и фотограмметрической камеры БВС DJI Matrice 300 RTK [21]. По результатам проведенных работ на 12 объектах, представляющих собой различные типы недвижимости, был проведен сравнительный анализ применения современных и традиционных технологий по следующим критериям: временные затраты на выполнение работ, полученная точность результатов измерений (табл. 2) [9]

Таблица 2

Результаты сравнения времени выполнения геодезических работ и точности результатов полученных измерений

№	Объект недвижимости	Город	Время выполнения комплекса геодезических работ на объекте		Временная эффективность применения современных технологий	Средняя квадратическая погрешность в определении координат, мм		Изменение СКО, мм
			Традиционные методы	Современные технологии		Традиционные методы	Современные технологии	
1	Земельный участок, 15 га	Краснодар	5 часов 50 мин	1 час 30 мин	4 часа 20 мин	9	3	6
2	Жилой дом, площадь застройки 1 га	Краснодар	6 часов 40 мин	2 часа 10 мин	4 часа 10 мин	11	4	7
3	Земельный участок, 18 га	Краснодар	6 часов	1 час 40 мин	4 часа 20 мин	10	3	7
4	Школа, 4 га	Краснодар	5 часов 40 мин	2 часа	3 часа 40 мин	11	4	7
5	Жилой дом, площадь застройки 1,1 га	Краснодар	6 часов 30 мин	2 часа 20 мин	4 часа 10 мин	13	6	7
6	Корпус университета, площадь застройки 0,8 га	Краснодар	5 часов 50 мин	1 час 50 мин	4 часа 00 мин	10	3	7
7	Земельный участок, 20 га	Краснодар	7 часов	3 часа	4 часа 00 мин	13	6	7
8	Земельный участок, 17 га	Майкоп	6 часов	2 часа 10 мин	3 часа 50 мин	12	4	8
9	Земельный участок, 12 га	Краснодар	5 часов	1 час 40 мин	3 часа 20 мин	11	4	7
10	Промышленное сооружение, площадь застройки 3 га	Анапа	5 часов 50 мин	2 часа	3 часа 50 мин	11	3	8
11	Путепровод, протяженность 35 м, 0,6 га	Краснодар	5 часов 20 мин	1 час 30 мин	3 часа 50 мин	9	3	6
12	Промышленное сооружение, площадь застройки 4,5 га	Адлер	6 часов 20 мин	2 часа 10 мин	4 часа 10 мин	12	5	7

Общая площадь исследований по 12 объектам недвижимости составила 97 га. Общее время выполнения измерений традиционными методами съемки составило 72 часа, современными средствами измерений – 24 часа 20 минут. Выигрыш по времени составил 47 часов 40 минут. Средняя квадратическая погрешность в определении координат по 12 объектам недвижимости, участвующим в исследовании, традиционными средствами измерения составила 11 мм, современными технологиями – 4 мм. Выигрыш в точности определения координат составил 7 мм.

Таким образом, по результатам исследований, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что применение современных технологий в разы эффективнее традиционных методов съемки, снижают трудозатраты и увеличивают точность. На основании результатов исследования была составлена сводная таблица применения современных и традиционных технологий съемки объектов недвижимости при выполнении геодезических работ по основным показателям (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение традиционных и современных технологий

Показатель	Традиционные методы	Наземное лазерное сканирование и фотограмметрия
Среднее время выполнения комплекса геодезических работ	6 часов	2 часа
Средняя квадратическая погрешность в определении координат	11 мм	4 мм
Количество объектов, на которых обнаружены ошибки в установленных границах	0 из 12	3 из 12
Оборудование, используемое для съемки	Теодолит, нивелир	Лазерный сканер Leica RTC360, БВС DJI Matrice 300 с поддержкой RTK

Проведенное исследование выявило существенную разницу во времени, необходимом для обработки и анализа информации. Традиционные подходы требуют в среднем около 6 часов для обработки данных одного объекта, тогда как НЛС и фотограмметрия сократили этот срок до менее чем 2 часов.

Стоит отметить, что нормативная средняя квадратическая ошибка при координировании границ объектов кадастровых работ для городских земель составляет 0,10 м согласно приказу Росреестра от 01.06.2021 N П/0241 [9]. В проведенном исследовании при использовании современных технологий средняя квадратическая погрешность в определении координат составила 4 мм, а при использовании традиционных – 11 мм.

Одним из наиболее важных аспектов применения НЛС и методов фотограмметрии является получение избыточной информации, что позволяет специалисту детализировать полученную модель и получать большее количество сведений об объекте. В результате обработки данных лазерного сканирования были выявлены отклонения от проектных параметров: кручение высотных трехгранных конструкций, осадок линейных и площадных сооружений, крен зданий, а также несоответствие фактических границ объектов на местности сведениям о границах, содержащимся в ЕГРН, которые не были зафиксированы традиционными методами.

Таким образом, результаты исследования продемонстрировали явные преимущества современных технологий: их применение не только существенно продемонстрировало эффективность в проведении геодезических работ, но и позволило значительно сократить время на выполнение задач в условиях интенсивного развития урбанизированных территорий.

Заключение

Использование технологий наземного лазерного сканирования и методов фотограмметрии при анализе различных видов недвижимости привело к уменьшению времени проведения полевых и камеральных работ и понижению средней квадратической погрешности в определении их координат. Ис-

пользование современных измерительных технологий позволяет выполнить трехмерную идентификацию объектов недвижимости, опирающуюся на данные лазерного сканирования и методы фотограмметрии, которые помогут сократить возможные юридические споры и уменьшить риски для владельцев объектов недвижимости.

Стоит отметить, что внедрение современных измерительных технологий и технологий обработки данных, основанных на машинном обучении, открывает новые возможности для получения ТИМ-моделей и трехмерной идентификации объектов недвижимости с целью

их дальнейшего внесения в планируемый к разработке и внедрению 3D-кадастр [11]. Решение задач мониторинга объектов недвижимости потенциально позволит в дальнейшем перейти на 4D-кадастр, основанный на динамичном наблюдении за объектами недвижимости с определенной периодичностью обновления геопространственной информации.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/22.16.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарафутдинова А. А., Брынть М. Я. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 57–67. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67. – EDN UONPQL.
2. Дьяченко Р. А., Борисов С. Н. О возможности использования API геоинформационных систем // Научные чтения профессора Н. Е. Жуковского. Сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского». – КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А. К. Серова, 2018. – С. 299–302. – EDN YPSAUK.
3. Баринова Т. А., Катрич А. Е. Наземное лазерное сканирование // Научные достижения и открытия современной молодежи : сборник статей победителей международной научно-практической конференции: в 2 частях, Пенза, 17 февраля 2017 года. Ч. 1. – Пенза : Наука и Просвещение, 2017. – С. 1569–1571. – EDN XXSPMN.
4. Конушина Е. Ю., Симашева Д. В. Фотограмметрия, как основополагающая дисциплина современного геодезиста // Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК : Сборник материалов национальной научно-практической конференции, Тюмень, 21–23 октября 2020 года. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 30–34. – EDN LLOUUI.
5. Красиков А. А. Необходимость интеграции геодезических и BIM-технологий в процессе проектирования зданий // НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ: Актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 августа 2023 года. – Пенза : Наука и Просвещение, 2023. – С. 185–187. – EDN OQTABM.
6. Литвиненко М. В. Практические аспекты исправления реестровых ошибок при наложении границ нескольких смежных земельных участков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 5. – С. 530–535. – DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-530-535. – EDN YMSADZ.
7. Краснопевцев Б. В. Фотограмметрия. – М. : УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – С. 91. – EDN QKHVXH.
8. Гура Д. А., Дубенко Ю. В., Бучацкий П. Ю., Марковский И. Г., Хушт Н. И. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 4 (251). – С. 74–80.
9. Аврунев Е. И., Горобцов С. Р. Геодезическое обеспечение кадастровых работ : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 239 с.
10. Брынть М. Я., Богомоллова Н. Н., Журавлев И. Н., Никитчин А. А. Возможности применения лазерного сканирования на стадии изысканий при реконструкции искусственных сооружений //

Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 43–53. – DOI 10.20295/2223-9987-2020-1-43-53. – EDN IEWCHM.

11. Гура Д. А., Ващенко Д. А., Беспятчук Д. А., Самарин С. В., Пшидаток С. К. Перспективы применения воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки для обеспечения пространственными данными 3D-кадастра // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. – 2023. – № 3. – С. 179–183. – DOI 10.33920/sel-04-2303-07. – EDN QVATCF.

12. Щенявская Л. А., Шалая А. А. Технология объединения пространственных данных, полученных по результатам наземного лазерного сканирования, цифровой аэрофотосъемки и ручного лазерного сканирования // *Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых : Материалы LI студенческой научной конференции, Краснодар, 29 февраля 2024 года*. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2024. – С. 509–515. – EDN UCRUHR.

13. Гура Д. А., Дьяченко Р. А., Шалая А. А. Разработка модульной структуры геоинформационной системы пространственного анализа данных // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. – 2024. – Т. 19, № 5(232). – С. 314–317. – DOI 10.33920/sel-04-2405-07. – EDN NUMDGH.

14. Дьяченко Р. А., Гура Д. А., Осенняя А. В. и др. Разработка структуры информационной системы геопространственных данных для решения задач территориального планирования // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 87–99. – DOI 10.30533/GiA-2024-013. – EDN YQASPD.

15. Золотухин В. В. Цифровое геодезическое оборудование в археологических исследованиях с применением методов геоинформационных систем // *Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: История, филология*. – 2011. – Т. 10, № 7. – С. 61–66. – EDN OFWUYJ.

16. Волынова М. П. Цифровизация результатов территориального планирования на примере Федеральной государственной информационной системы территориального планирования // *Цифровизация землепользования и кадастров: тенденции и перспективы : Материалы международной научно-практической конференции 25 сентября 2020 года*. – Москва : ГУЗ, 2020. – С. 70–74. – EDN RQJXV.

17. Портнов А. М., Добровольский Д. О. Сравнительная оценка геометрической сложности контуров объектов местности при осуществлении государственного земельного надзора и мониторинга земель на примере объектов капитального строительства // *Геодезия и картография*. – 2024. – Т. 85, № 3. – С. 50–61. – DOI 10.22389/0016-2024-1005-3-50-61. – EDN HTGACU.

18. Чернов А. В. Исследование вариантов построения 3D-модели объектов недвижимости для целей кадастра // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 192–210. – EDN YAATKP.

19. Богомолова Н. Н. Определение точности геодезических измерений при реконструкции исторических объектов // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 693–701. – DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-693-701. – EDN QLTIEJ.

20. Степанов И. Ю. Использование методов машинного обучения в геоинформационных моделях при решении задач геофизической разведки // *Вестник СГУГиТ*. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 108–117. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-2-108-117. – EDN BNXCBY.

21. Гура Д. А. Применение технологий машинного обучения для распознавания крыш объектов недвижимости // *Цифровые, компьютерные и информационные технологии в науке и образовании : Сборник статей Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 01–02 ноября 2023 года*. – Брянск : Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, 2023. – С. 301–309. – EDN OAKNKJ.

Об авторах

Дмитрий Андреевич Гура – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и геоинженерии Кубанского государственного технологического университета; кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии Кубанского государственного аграрного университета.

Получено 09.12.2024

© Д. А. Гура, 2025

Analysis of the effectiveness of modern measurement technologies for three-dimensional identification of real estate objects

D. A. Gura^{1,2}✉

¹ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

e-mail: gda-kuban@mail.ru

Annotation. The article discusses the possibilities of using ground-based laser scanning and photogrammetry methods to analyze the accuracy, time of work and effectiveness of geodetic work in the field of three-dimensional identification of movable objects. The article is devoted to the current direction of scientific development in the field of coordination of cadastral works in built-up areas. A number of experiments have been conducted with various real estate objects for a comparative analysis of traditional methods and modern technologies in the field of geodesy and cadastral works. As a result, it was revealed that the use of modern technologies makes it possible to significantly reduce the time for work, as well as more accurately determine the coordinates of the characteristic points of the boundaries of real estate. Additionally, it is noted that modern technologies have made it possible to identify errors in previously established boundaries of real estate objects that went unnoticed when using traditional methods, through increased technical characteristics of modern equipment (range, accuracy of angular and linear measurements, density and detail). The results of the experimental study show the effectiveness of the introduction of modern geodetic technologies in terms of the complexity of the work performed, which significantly improves spatial planning and development of territories.

Keywords: terrestrial laser scanning, photogrammetry methods, geodesy, three-dimensional identification of objects, state cadastral registration, spatial planning, measurement accuracy, Unified State Register of Real Estate

REFERENCES

1. Sharafutdinova A. A., Bryn M. Ya. (2021). Experience of using ground-based laser scanning and information modeling for engineering data management during the life cycle of an industrial facility *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGiT]*. Vol. 26, No. 1. pp. 57–67. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67 EDN UONPQL [in Russian].
2. Dyachenko R. A., Borisov S. N. (2018). On the possibility of using the API of geoinformation systems *Nauchnyye chteniya professora N.Ye. Zhukovskogo. Sbornik nauchnykh statey VIII Mezhdunarod-noy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnyye chteniya imeni professora N. Ye. Zhukovskogo»*. KVVAUL im. Geroya Sovetskogo Soyuza A. K. Serova, 2018 [Scientific readings of Professor N.E. Zhukovsky. Collection of scientific articles of the VIII International Scientific and practical Conference "Scientific readings named after Professor N. E. Zhukovsky". KVVAUL named after Hero of the Soviet Union A. K. Serov, 2018], pp. 299-302. EDN YPSAUK [in Russian].
3. Barinova T. A., Katrich A. E. (2017). Ground-based laser scanning // *Nauchnyye dostizheniya i otkrytiya sovremennoy molodozhi: sbornik statey pobediteley mezh-dunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 chastyakh, Penza, 17 fevralya 2017 goda. [Scientific achievements and discoveries of modern youth: a collection of articles by the winners of the international scientific and practical conference: in 2 parts, Penza, February 17]*, Vol. Part 1., pp. 1569-1571. EDN XXSPMN [in Russian].
4. Konushina E. Yu., Simasheva D. V. (2020). Photogrammetry as a fundamental discipline of a modern geodesist *Perspektivnyye razrabotki i proryvnyye tekhnologii v APK: Sbornik materialov natsio-nal'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen', 21–23 oktyabrya 2020 goda. [Promising developments and breakthrough technologies in agriculture: Proceedings of the National Scien-*

tific and Practical Conference, Tyumen, October 21-23, 2020]. Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, pp. 30–34. EDN LLOUJ [in Russian].

5. Krasikov A. A. (2023). The need to integrate geodetic and BIM technologies in the process of building design *NAUKA i OBRAZOVANIYE: Aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik sta-tey IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 25 avgusta 2023 goda* [SCIENCE and EDUCATION: Current issues, achievements and innovations: collection of articles of the IX International Scientific and Practical Conference, Penza, August 25, 2023], pp. 185–187. EDN OQTABM [in Russian].

6. Litvinenko M. V. (2018). Practical aspects of correcting registry errors when delineating the boundaries of several adjacent land plots *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka. [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerial photography]*. Vol. 62, No. 5. pp. 530-535. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-5-530-535. EDN YMSADZ [in Russian].

7. Krasnopevtsev B. V. Photogrammetry. Moscow: UPP "Reprography" MIIGAiK, 2008. P. 91. EDN QKHVXH [in Russian].

8. Gura D. A., Dubenko Yu. V., Buchatskiy P. Yu., Markovsky I. G., Khusht N. I. (2019). Monitoring of complex infrastructure facilities *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskkiye i tekhnicheskkiye nauki [Vestnik of the Adygea State University. Series 4: Natural, mathematical and technical sciences]*. № 4 (251). Pp. 74–80 [in Russian].

9. Avrunev E. I., Gorobtsov S. R. (2024). Geodetic support of cadastral works: a monograph *Novosibirsk: SGUGiT Publ.*, 239 p. [in Russian].

10. Bryn M. Ya., Bogomolova N. N., Zhuravlev I. N., Nikitchin A. A. (2020). Possibilities of using laser scanning at the survey stage during the reconstruction of artificial structures *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy [Bulletin of scientific research results]*. No. 1. pp. 43-53. DOI 10.20295/2223-9987-2020-1-43-53. EDN IEWCHM [in Russian].

11. Gura D. A., Vashchenko D. A., Bespyatchuk D. A., Samarin S. V., Pshidatok S. K. (2023). Prospects of using aerial laser scanning and aerial photography to provide spatial data of the 3d cadastre *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*. No. 3. pp. 179–183. DOI 10.33920/sel-04-2303-07. EDN QVATCF [in Russian].

12. Schenyavskaya L. A., Shalaya A. A. Technology of combining spatial data obtained from ground-based laser scanning, digital aerial photography and manual laser scanning *Molodezhnaya nauka. Sbornik luchshikh nauchnykh rabot molodykh uchenykh: Materialy LI studentcheskoy nauchnoy konferentsii, Krasnodar, 29 fevralya 2024 goda. [Youth Science. Collection of the best scientific papers of young scientists : Proceedings of the LI Student Scientific conference, Krasnodar, February 29 - 21, 2024]*. Pp. 509–515. EDN UCRUHR [in Russian].

13. Gura D. A., Dyachenko R. A., Shalaya A. A. (2024). Development of a modular structure of a geoinformation system for spatial data analysis *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]*. Vol. 19, No. 5(232). Pp. 314-317. DOI 10.33920/sel-04-2405-07. EDN NUMDGH [in Russian].

14. Dyachenko R. A., Gura D. A., Osennaya A. V. et al. (2024). Development of the structure of the geospatial data information system for solving territorial planning problems *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka. [Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerial photography]*. Vol. 68, No. 4. pp. 87-99. DOI 10.30533/GiA-2024-013. EDN YQASPD [in Russian].

15. Zolotukhin V. V. (2011) Digital geodetic equipment in archaeological research using methods of geoinformation systems *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya, filologiya [Vestnik of Novosibirsk State University. Series: History, philology]*. Vol. 10, No. 7. Pp. 61–66. EDN OFWUYJ [in Russian].

16. Volynova M. P. Digitalization of the results of territorial planning using the Federal State Information System of Territorial Planning *Tsifrovizatsiya zemlepol'zovaniya i kadaistrov: tendentsii i perspektivy: Materialy mezh-dunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 25 sentyabrya 2020*

goda [Digitalization of land use and cadastre: trends and prospects: Materials of the international scientific and practical conference on September 25, 2020]. Moscow: GUZ, 2020, pp. 70–74. EDN RQJJXV [in Russian].

17. Portnov A. M., Dobrovolsky D. O. (2024). Comparative assessment of the geometric complexity of the contours of terrain objects in the implementation of state land supervision and land monitoring using the example of capital construction facilities *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography]. Vol. 85. No. 3. pp. 50-61. DOI 10.22389/0016-2024-1005-3-50-61. EDN HTGACU [in Russian].

18. Chernov A. V. (2018). Research of options for constructing a 3D model of real estate objects for the purposes of cadastre *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGiT]. Vol. 23, No. 3. – Pp. 192–210. [in Russian].

19. Bogomolova N. N. (2022). Determination of the accuracy of geodetic measurements during the reconstruction of historical objects *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Izvestiya Peterburgskogo universiteta kommunikatsii]. Vol. 19, No. 4. Pp. 693-701. DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-693-701. EDN QLTIEJ [in Russian].

20. Stepanov I. Y. (2024). The use of machine learning methods in geoinformation models in solving problems of geophysical exploration *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGiT]. Vol. 29. No. 2. pp. 108-117. DOI 10.33764/2411-1759-2024-2-108-117. EDN BHXCBY [in Russian].

21. Gura D. A. Application of machine learning technologies for recognizing roofs of real estate objects // *Tsifrovyye, komp'yuternyye i informatsionnyye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Sbornik statey Mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Bryansk, 01–02 noyabrya 2023 goda*. [Digital, computer and information technologies in science and education: Collection of articles of the Interregional Scientific and Practical Conference with international participation, Bryansk, November 01-02, 2023.] Bryansk: Bryansk State University named after Academician I. G. Petrovsky, 2023. Pp. 301–309. – EDN OAKNKJ.

Author details

Dmitry A. Gura – Ph. D., Associate Professor of the Department of Cadastre and Geoengineering Kuban State Technological University; Ph. D., Associate Professor of the Department of Geodesy Kuban State Agrarian University.

Received 09.12.2024

© D. A. Gura, 2025

УДК [528.9:004]+502.48

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-143-153

Формирование карты эколого-хозяйственного зонирования территории муниципального района с применением ГИС-технологий

Е. В. Коцур^{1✉}, В. И. Татаренко², Н. А. Капитулина¹, Т. А. Щербакова¹

¹ Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,
г. Омск, Российская Федерация

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

e-mail: ev.kotsur@omgau.org

Аннотация. В статье представлена технология формирования карты эколого-хозяйственного зонирования (КЭХЗ) территории муниципального района на основе ГИС MapInfo Pro. Выполнен анализ достоинств геоинформационного программного обеспечения, который показал, что MapInfo Pro является наиболее удобной ГИС для формирования полномасштабных карт. Плюсом данной программы является не только удобный и незагруженный интерфейс, что делает процесс формирования карт достаточно несложным, но и возможность пространственного анализа графических и атрибутивных данных. Возможности программы имеют широкий диапазон проведения анализа накопленных сведений в связи с определенными потребностями и задачами. Дано описание функционала ГИС «Аксиома», которая является отечественным аналогом ГИС MapInfo Pro. В соответствии с методикой Е. В. Коцур разработана КЭХЗ, основой которой является цифровая модель местности (ЦММ). Технология подготовки векторной карты включает регистрацию раstra в определенном масштабе, создание картографических слоев и оцифровку объектов растрового изображения с применением специализированного инструментария ГИС, который дает возможность использования определенных функций, позволяющих минимизировать время для подготовки карты. Заключительным этапом на основе ЦММ является формирование карты видов агроландшафтов (КВА), КЭХЗ, которые необходимы для подготовки схем и проектов землеустройства территории, а также разработки вариантов развития систем земледелия на ландшафтной основе.

Ключевые слова: карта эколого-хозяйственного зонирования, ГИС-технологии, карта видов агроландшафтов, цифровая модель местности, алгоритм формирования карты, ГИС MapInfo Pro, экологически устойчивый агроландшафт

Для цитирования:

Коцур Е. В., Татаренко В. И., Капитулина Н. А., Щербакова Т. А. Формирование карты эколого-хозяйственного зонирования территории муниципального района с применением ГИС-технологий // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 143–153. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-143-153

Введение

Выбор программного обеспечения для создания карты эколого-хозяйственного зонирования территории муниципального района (МР) обусловлен наличием в ГИС MapInfo Pro связи между атрибутивной базой данных (БД) и гра-

фической, что дает возможность оперировать данными, полученными при проведении ЭХЗ. Также ГИС MapInfo Pro наделена функцией анализа пространственных данных, что является еще одним плюсом этой программы. Функционал MapInfo упростил работу, что значительно сократило её трудоемкость (рис. 1) [1, 2].



Рис. 1. Операции ГИС MapInfo Pro

ГИС MapInfo Pro – относительно простая в освоении и в работе, разработанная западными специалистами программа [1, 3, 4]. С помощью этого продукта решаются задачи в различных сферах деятельности. В землеустройстве, геодезии, строительстве MapInfo применяется в качестве мощного картографического редактора, реализующего метод послойного картографирования (рис. 2) [5].

В связи со сложившейся в настоящее время сложной ситуацией в мире корпорация Precisely Inc. (США), обладающая правами на MapInfo Pro, прекратила поддержку обеспечения ГИС-программы. В ответ на это российские разработчики предложили заменить MapInfo современным отечественным аналогом ГИС «Аксиома», которая еще в 2016 г. была зарегистрирована в Едином реестре российских программ для ЭВМ и БД. На данный момент программа апробирована и имеет успех у пользователей, которые отмечают, что практически весь функционал ГИС «Аксиома» аналогичен MapInfo Pro, а также они совместимы, что позволяет совершать обмен данными [6, 7].

Также данная система совместима с такими отечественными операционными системами, как Linux, СУБД Postgres Pro и т. д. Все перечисленное является плюсом для российских пользователей, так как позволяет более безболезненно перейти на импортозамещение, тем более что указом Президента с января 2025 г.

запрещено использовать иностранное программное обеспечение.



Рис. 2. Характеристика ГИС MapInfo Pro

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма формирования Кэхз в ГИС – программе MapInfo Pro. Из поставленной цели вытекают следующие задачи: сформировать Кэхз, описать данный процесс и составить алгоритм формирования Кэхз. Разработка алгоритма формирования Кэхз проведена на примере зонирования территории Тюкалинского муниципального района Омской области (Тюкалинского МР Омской области).

Методы и материалы

ЭХЗ территории Тюкалинского МР Омской области проведено по методике, разработанной Е. В. Коцур [1, 2] (рис. 3).

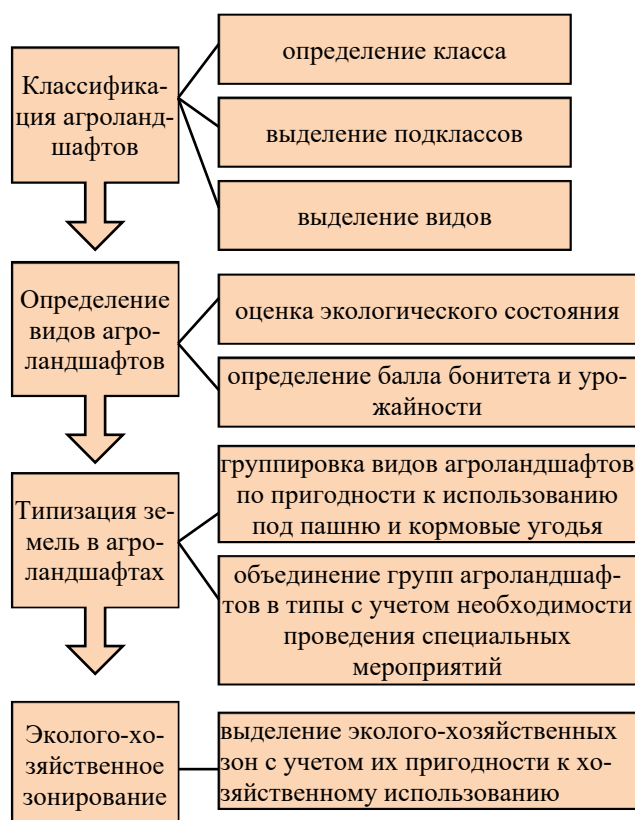


Рис. 3. Схема проведения ЭХЗ

Экологическое состояние агроландшафтов оценивалось по методике ученых кафедры землеустройства Омского государственного аграрного университета имени П. А. Столыпина [8–10]. Оценка проводилась по материалам почвенных обследований (почвенная карта на бумажной основе и почвенный очерк) с применением сравнительного метода.

По данной методике экологическое состояние агроландшафтов может быть разной экологической напряженности (удовлетворительной, слабой, средней, сильной, критической и кризисной). Оценка дается в баллах по шкале, разработанной для разных природно-климатических зон, при этом учитывается не только вид негативных процессов, но и степень их проявления. Оценка может проводиться по разным видам негативных процессов, характерным для той или иной местности. В данном случае оценивалось засоление, заболачивание, ветровая и водная эрозии, так как изучаемая территория более подвержена этим негативным процессам [11, 12].

Формирование Кэхз начинается с создания цифровой модели местности [1–3], основой которой является почвенная карта Тюкалинского МР Омской области, изготовленная в 1981 г. сотрудниками Омского филиала Западно-Сибирского государственного института по землеустройству (ЗАПСИБГИПРОЗЕМ). Карта представлена в графическом виде на бумажной основе в масштабе 1 : 100 000.

Сбор информации является целью первого этапа создания Кэхз территории МР (рис. 4).



Рис. 4. Первый этап создания Кэхз

Так как основой ЦММ изучаемого объекта является карта на бумажном носителе, то для работы в Mapinfo ее при помощи сканера преобразовали в растровое изображение и сохранили в формате TIFF. Для более точной привязки при регистрации раstra в ГИС-программе на него нанесли реперную сетку (расставили перекрестия) [1, 2]. Это позволило зарегистрировать растровое изображение без искажения. Регистрация раstra проходит в диалоговом окне «Регистрация изображения» (рис. 5).

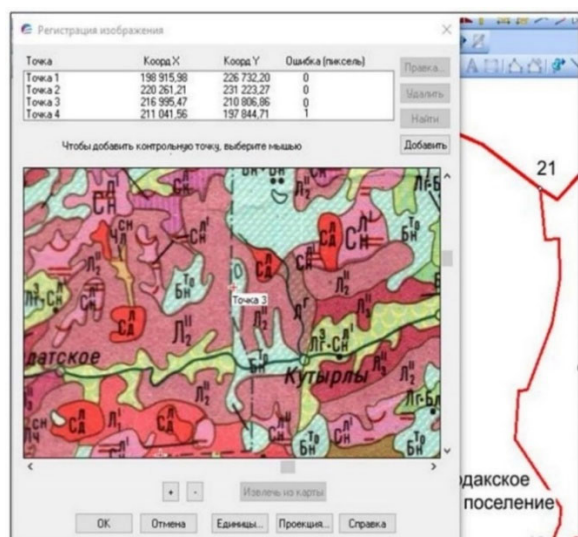


Рис. 5. Диалоговое окно «Регистрация изображения» [1]

Далее для векторизации карты создан необходимый набор слоев (рис. 6).

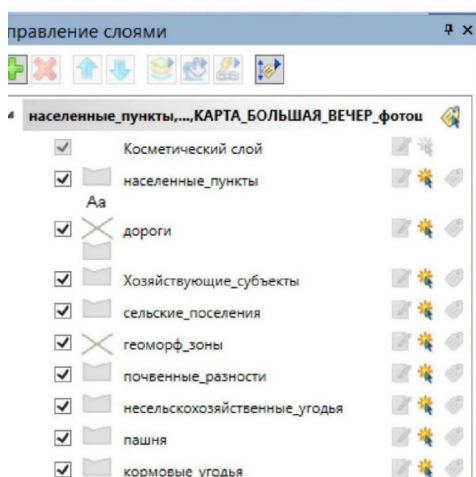


Рис. 6. Диалоговое окно «Управление слоями» с набором слоев, необходимых для создания ЦММ МР

Оцифровку ЦММ проводили в ручном режиме с применением таких инструментов, как «Полилиния» и «Полигон». Применение функций «Снэппинг» и «Автотрассировка» значительно ускорило процесс векторизации карты, соединяя соседние контуры по узлам [1, 2].

Необходимые для проведения ЭХЗ площади почвенных разностей, оцифрованных в слое «Почвенные_разности», вносились в список автоматически с помощью команды

«Обновить колонку». В дальнейшем их можно посмотреть двумя способами: либо открыв список с атрибутивными данными, либо на самой карте с применением инструмента «Информация» [1, 2] (рис. 7).

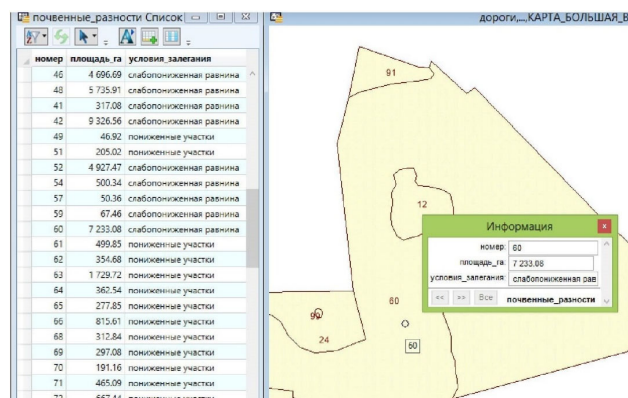


Рис. 7. Слой «Почвенные разности» ЦММ МР

Атрибутивные данные в списки других слоев, для которых нужны были площади контуров, вносились аналогично. Для неплощадных слоев данные в список вносились вручную [1, 2].

После формирования всех необходимых для создания ЦММ слоев сохраняется рабочий набор «ЦММ Тюкалинского МР Омской области» (рис. 8).

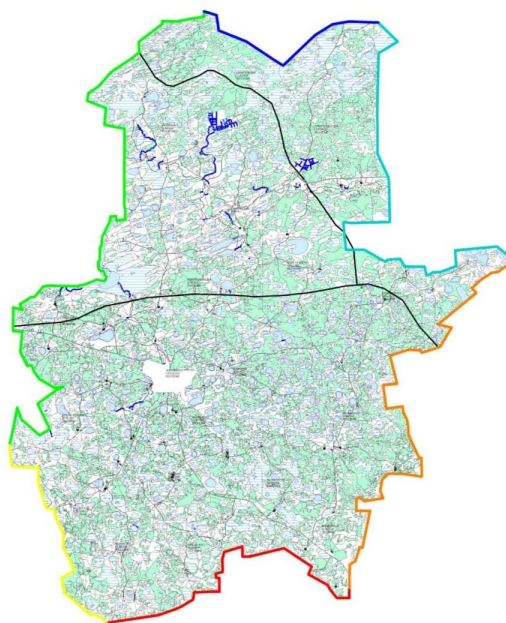


Рис. 8. ЦММ Тюкалинского МР Омской области

Формирование ЦММ является вторым этапом создания Кэхз (рис. 9).

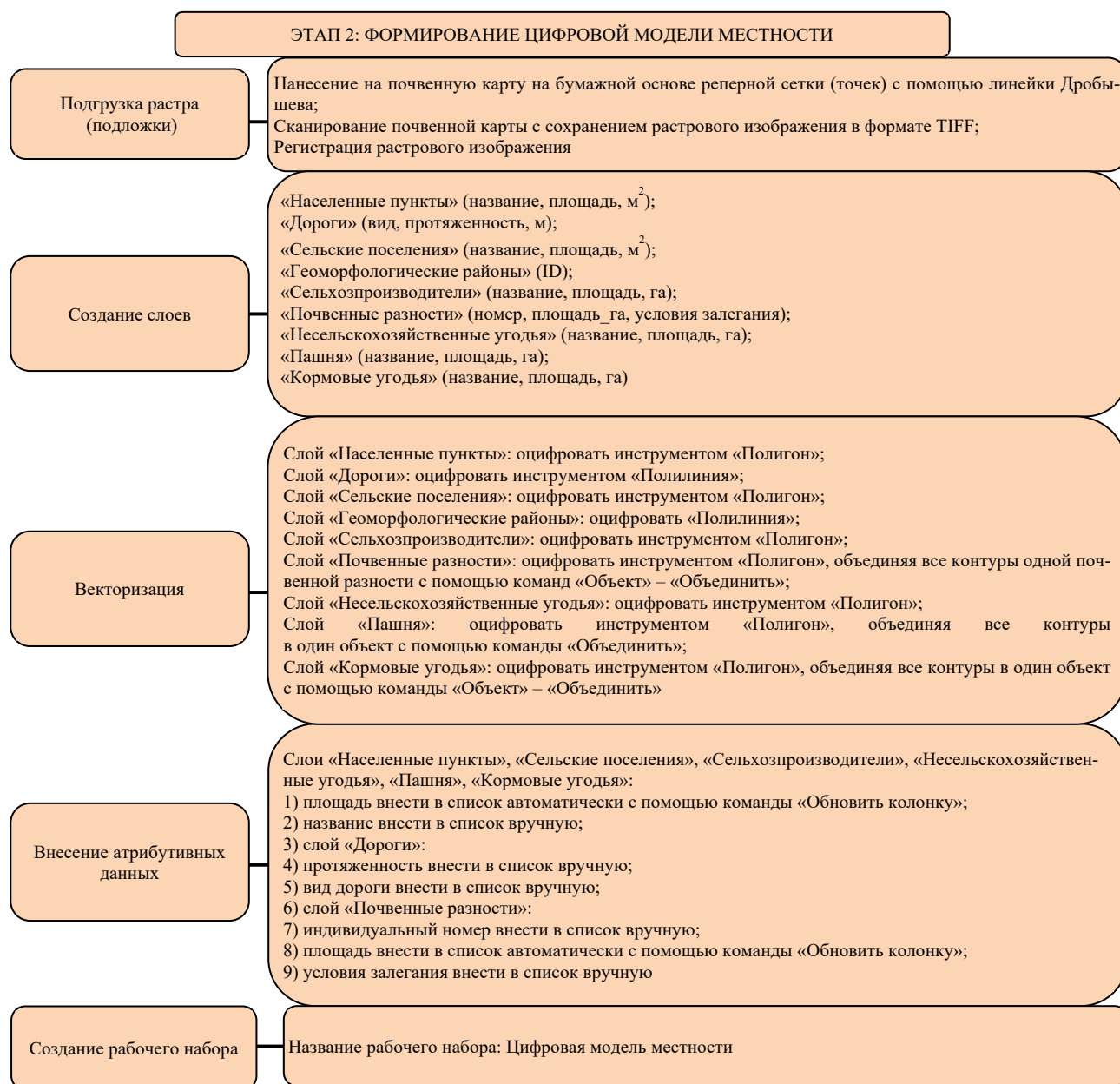


Рис. 9. Алгоритм проведения второго этапа создания Кэхз

Третьим этапом создания Кэхз является формирование карты видов агроландшафтов (Ква) Тюкалинского МР Омской области (рис. 10). Для дальнейшей работы к уже отработанным слоям ЦММ добавлены три новых слоя: «Виды_полевые», «Виды_кормовые», «Подклассы».

Целью данного этапа является выделение подклассов агроландшафтов, выделение и оценка видов агроландшафтов с внесением данных в список слоев (рис. 11).

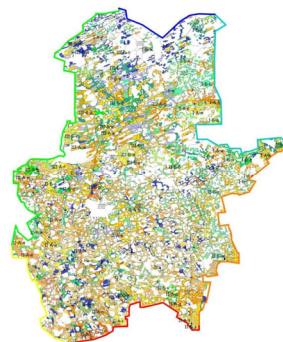


Рис. 10. Ква Тюкалинского МР Омской области

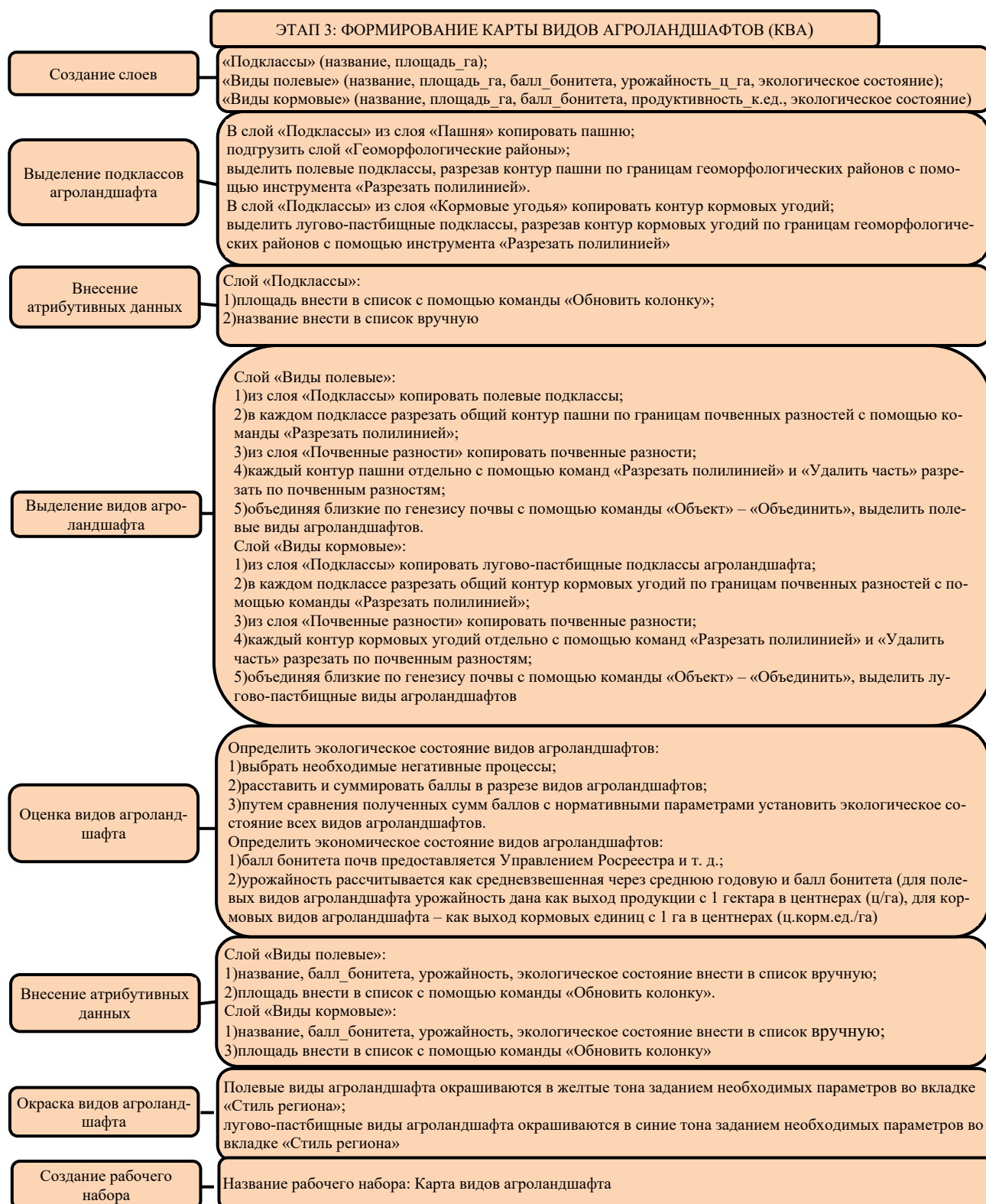


Рис. 11. Алгоритм проведения третьего этапа формирования Кэхз

Для дальнейшего формирования Кэхз Тюкалинского МР Омской области к созданным ранее слоям добавляются заключительные три слоя: «Группы», «Типы», «Эколого-хозяйственные зоны».

Эколого-хозяйственные зоны территории МР выделяются в процессе проведения четвертого этапа формирования Кэхз (рис. 12).

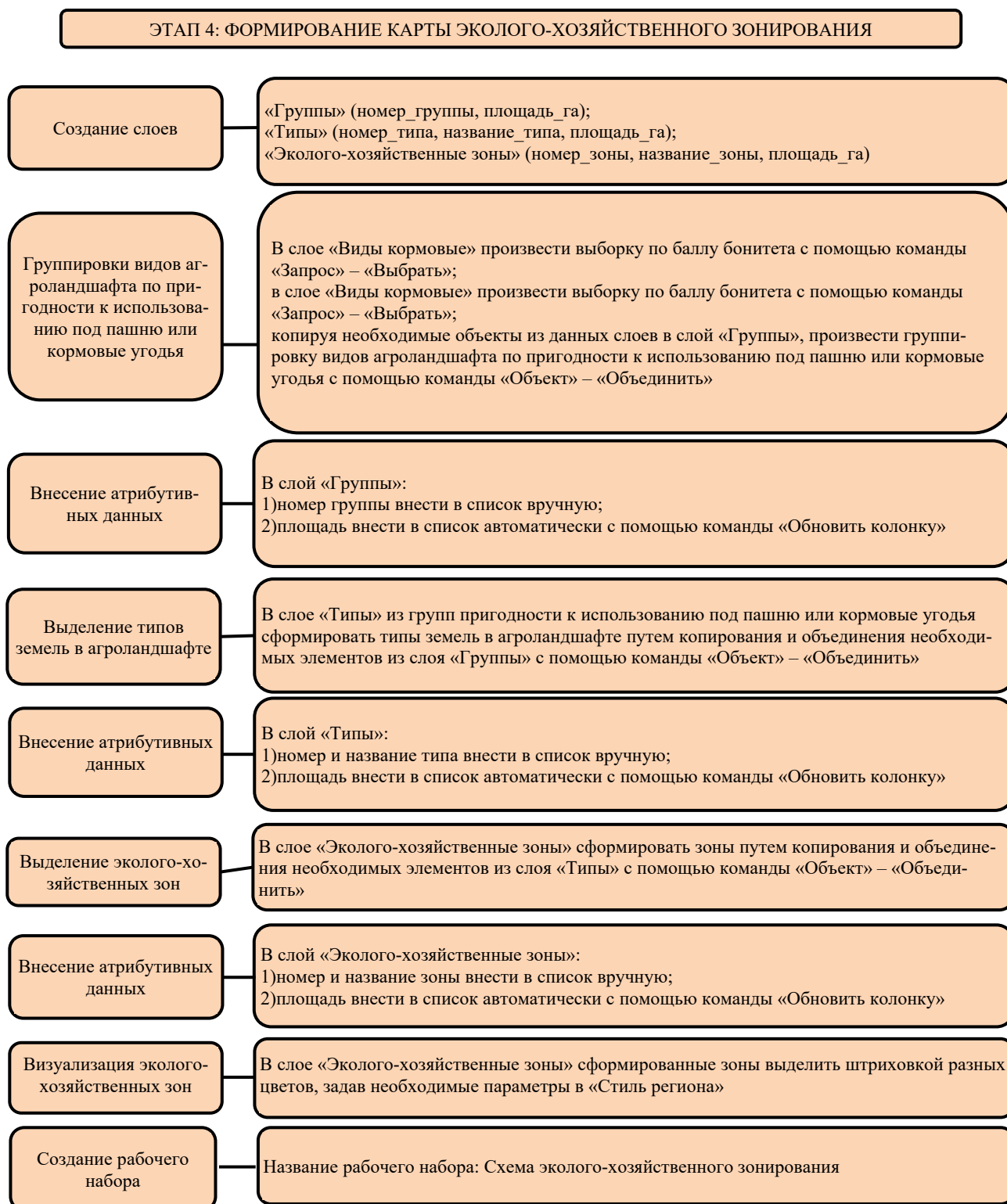


Рис. 12. Четвертый этап создания КЭХЗ

Рабочие наборы КВА и КЭХЗ имеют общие слои, находящиеся в динамике, т. е. вносимые в них изменения влекут за собой замену в обоих рабочих наборах [1, 2]. Такие слои являются фундаментом, а для внесения новой информации добавляются новые слои.

Результаты

Результатом проделанной работы является КЭХЗ Тюкалинского МР Омской области (рис. 13).

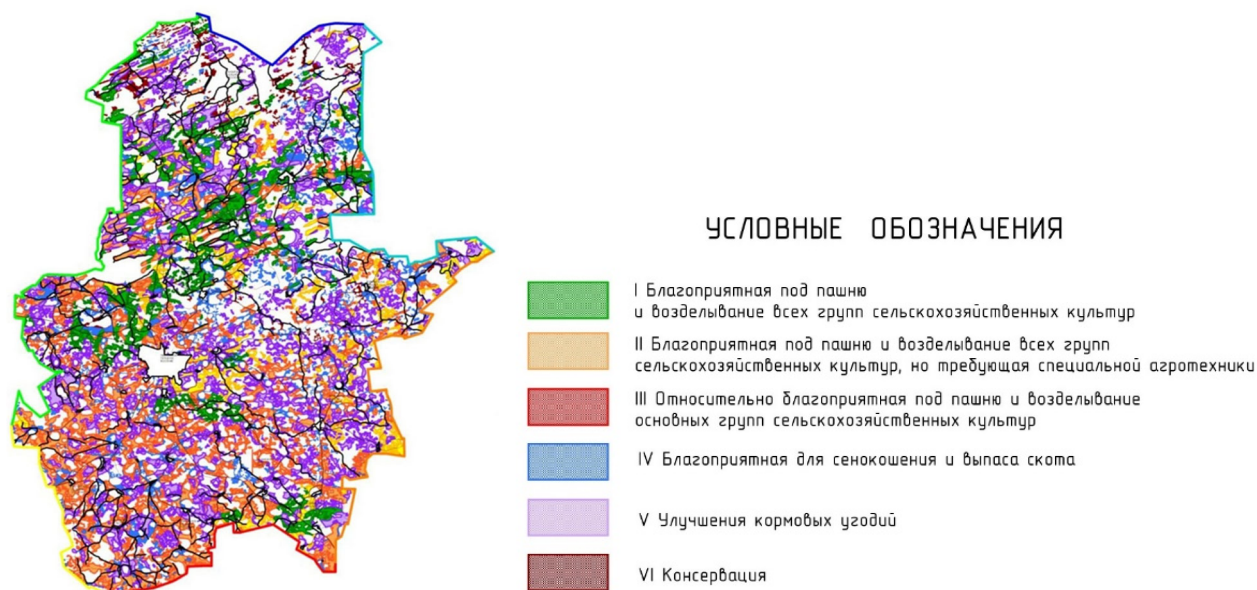


Рис. 13. КЭХЗ Тюкалинского МР Омской области

Таким образом, алгоритм формирования КЭХЗ МР в ГИС – программе MapInfo Pro разработан. Он состоит из четырех этапов:

- 1) сбор информации;
- 2) формирование ЦММ;
- 3) формирование КВА;
- 4) формирование КЭХЗ.

Пошаговый алгоритм проведения всех этапов представлен на рис. 4, 9, 11, 12.

Заключение

Графическая и атрибутивная БД, сформированные в результате проведения ЭХЗ и создания КЭХЗ, могут стать основой для формирования различных схем и проектов землеустройства территорий районов, а также создания картографического материала, необходимого при разработке адаптивных систем земледелия [13–15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коцур Е. В. Разработка методики формирования экологически устойчивого агроландшафта на основе ГИС-технологий : дис. ... канд. техн. наук – Коцур Елена Вильевна. – Новосибирск, 2020. – 156 с. – EDN MNJFEO.
2. Коцур Е. В. Использование ГИС-технологий как инструмента для формирования экологически устойчивого агроландшафта // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 156–172. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-1-156-172. – EDN NPRRLU.
3. Рулев А. С., Кошелева О. Ю., Кошелев А. В., Рулева О. В. Методика применения ГИС MapInfo в агролесомелиоративном картографировании // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – № 2 (30). – С. 8–14. – EDN QCWUXV.
4. Шек В. М., Кувашкина Т. А. Обзор инструментальных средств ГИС // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 10. – С. 126–128. – EDN NDVEPN.
5. Коцур Е. В., Дубровский А. В. Информационное обеспечение мероприятий по воспроизводству и повышению эффективности использования агроландшафтов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 229–240. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-229-240. – EDN SXMALD.
6. Жаренков М. Н., Сорока Ю. С., Хахулина Н. Б. О современных технологиях в кадастре недвижимости // Студент и наука. – 2023. – № 3 (26). – С. 54–58. – EDN OWETZY.
7. Каргашин П. Е. Основы цифровой картографии : учебное пособие для бакалавров. – М. : Дашков и К°, 2020. – 106 с. – ISBN 978-5-394-04073-3. – EDN QORHWI.

8. Коцур Е. В., Долматова О. Н., Мельникова А. М. Организация использования земель с применением ГИС-технологий (на примере Таврического муниципального района Омской области) // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 1. – С. 73–86. – DOI 10.30533/GiA-2023-008. – EDN WMNJOG.
9. Rogatnev Y. M., Khorechko I. V., Veselova M. N. Agricultural land use in the post-reform period (2000–2020) in a market economy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, June 20–21, 2021. Ussurijsk. – P. 032103. – DOI 10.1088/1755-1315/937/3/032103. – EDN GSFVYE.
10. Щерба В. Н., Долматова О. Н. Оценка состояния и перспективы развития системы землепользования южной лесостепи Омской области // Московский экономический журнал. – 2022. – Т. 7, № 5. – С. 107–122. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_5_323. – EDN DRDGAD.
11. Кочергина З. Ф. Ландшафтно-экологические основы рационализации землепользования (на материалах лесостепной зоны Омской области) : монография. – Омск : ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 224 с. – EDN QKZDUF.
12. Юшкевич Л. В., Хоречко И. В., Литвинова А. В. Экология земельных ресурсов : учебное пособие для вузов. – Омск : Омский ГАУ, 2015. – 116 с. – ISBN 978-5-89764-476-6. – EDN BCRHQN.
13. Добротворская Н. И., Середович В. А., Дубровский А. В., Орлова Е. С. Разработка геоинформационной основы системы адаптивно-ландшафтного земледелия // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 3, № 2. – С. 130–137. – EDN PCLNPX.
14. Долматова О. Н., Щерба В. Н. Информационное обеспечение эффективного сельскохозяйственного землепользования // Омский научный вестник. – 2022. – № 3. – С. 142–147.
15. Капитулина Н. А. Информационное обеспечение эффективного сельскохозяйственного производства на основе результатов зонирования // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2023. – Т. 12, № 2 (43). – С. 41–44. – EDN CWWVFL.

Об авторах

Елена Вильевна Коцур – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства.

Валерий Иванович Татаренко – доктор экономических наук, профессор кафедры технической безопасности.

Наталья Александровна Капитулина – старший преподаватель кафедры землеустройства.

Татьяна Александровна Щербакова – магистр кафедры землеустройства.

Получено 26.07.2024

© Е. В. Коцур, В. И. Татаренко, Н. А. Капитулина, Т. А. Щербакова, 2025

Formation of a map of ecological and economic zoning of the territory of a municipal district using GIS technologies

E. V. Kotsur¹, V. I. Tatarenko², N. A. Kapitulina¹, T. A. Shcherbakova¹

¹Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

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

e-mail: ev.kotsur@omgau.org

Abstract. The article presents the technology of forming a map of ecological and economic zoning (KEKHZ) of the territory of the MR based on GIS MapInfo Rgo. An analysis of the advantages of geo-information software was performed, which showed that MapInfo Pro is the most convenient GIS for the formation of full-scale maps. The advantage of this program is not only a user-friendly and unloaded interface, which makes the process of forming maps quite simple, but also the possibility of spatial analysis of graphic and attribute data. The program's capabilities have a wide range of

analysis of accumulated information in connection with certain needs and tasks. The functional description of GIS Axiom, which is a domestic analogue of GIS MapInfo Pro, is given. In accordance with the methodology of the author Kotsur E.V., a CEC has been developed, the basis of which is a digital terrain model (TSMm). The technology of preparing a vector map includes the registration of a raster at a certain scale, the creation of cartographic layers and the digitization of raster image objects using specialized GIS tools, which makes it possible to use certain functions that minimize the time for map preparation. The final measures based on the TSMm are the formation of a map of types of agricultural landscapes (KVA), KEKHZ, which are necessary for the preparation of schemes and projects for land management of the territory, as well as the development of options for the development of landscape-based farming systems.

Keywords: map of ecological and economic zoning, GIS technologies, map of agricultural landscape types, digital terrain model, map generation algorithm, GIS MapInfo Pro, environmentally sustainable agricultural landscape

REFERENCES

1. Kotsur, E. V. (2020). Razrabotka metodiki formirovaniya ehkologicheskoi ustoichivogo agrolandshafta na osnove GIS-tekhnologii. *Candidate's thesis*. Novosibirsk EDN MHJFEO [in Russian].
2. Kotsur, E. V. (2020). The use of GIS technologies as a tool for the formation of an environmentally sustainable agricultural landscape. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 156–172. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-1-156-172 EDN NPRRLU [in Russian].
3. Rulev, A. S., Kosheleva, O. Yu., Koshelev, A. V., & Ruleva, O. V. (2013). Methods of using GIS MapInfo in agroforestry mapping. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa [Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex]*, 2(30), 8–13. EDN QCWUXV [in Russian].
4. Shek, V. M., Kuvashkina, T. A. (2002). Review of GIS tools. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining information and analytical bulletin]*, 10, 126–128. EDN NDVEPN [in Russian].
5. Kotsur, E. V., Dubrovsky, A. V. (2020). Information support for measures for reproduction and increasing the efficiency of use of agricultural landscapes. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 229–240. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-229-240 EDN SXMALD [in Russian].
6. Zharenkov, M. N., Soroka, Y. S., Khakhulina, N. B. (2023). About modern technologies in the real estate cadaster. *Student i nauka [Student and science]*, 3(26), 54–58. EDN OWETZY [in Russian].
7. Kargashin, P. E. (2023). *Osnovy tsifrovoy kartografii [Fundamentals of digital cartography]*. Moscow: Dashkov and Co, 106 p. EDN QORHWI [in Russian].
8. Kotsur, E. V., Dolmatova, O. N., Melnikova, A. M. (2023) Organization of land use using GIS technologies (on the example of the Tavrichesky municipal district of the Omsk region). *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 67(1), 73–86. DOI 10.30533/GiA-2023-008. EDN WMNJOG [in Russian].
9. Rogatnev, Y. M., Khorechko, I. V., Veselova, M. N. (2021). Agricultural land use in the post-reform period (2000-2020) in a market economy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussuriysk, June 20–21, 2021, 032103. DOI 10.1088/1755-1315/937/3/032103. EDN GSFVYE.
10. Shcherba, V. N., Dolmatova, O. N. (2022). Assessment of the state and prospects for the development of the land use system of the Southern forest-steppe of the Omsk region. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 7(5), 107–122. DOI 10.55186/2413046X 2022_7_5_323. EDN DRDGAD [in Russian].
11. Kochergina, Z. F. (2007) *Landshaftno-ekologicheskiye osnovy ratsionalizatsii zemlepol'zovaniya (na materialakh lesostepnoy zony Omskoy oblasti) [Landscape-ecological foundations of rationalization of land use (based on materials of the forest-steppe zone of the Omsk region)]*. Omsk: Omsk State Agrarian University, 224 p. EDN QKZDUF [in Russian].
12. Yushkevich, L. V., Khorechko, I. V., Litvinova, A. V. (2015). *Ekologiya zemel'nykh resursov [Ecology of land resources]*. Omsk: Omsk State Agrarian University, 116 p. EDN BCRHQN [in Russian].
13. Dobrotvorskaya, N. I., Serevovich, V. A., Dubrovsky, A. V., & Orlova, E. S. (2011) Development of the geoinformation basis of the system of adaptive landscape agriculture // *In Sbornik materialov GEO-Sibir'-2011: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Ekonomicheskoe razvitiye Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravleniye i nedvizhimost'iu [Proceedings GEO-Siberia-2011: International Scientific Conference: Vol. 3.*

Economic Development of Siberia and the Far East. Enviromental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management] (pp. 130–137). Novosibirsk: SSGA Publ. EDN PCLNPX [in Russian].

14. Dolmatova, O. N., Shcherba, V. N. (2022). Information support for the effective use of agricultural land. *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 3, 142–147 [in Russian].

15. Kapitulina, N. A. (2023). Information support for efficient agricultural production based on the results of zoning. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravleniye [Azimuth of Scientific Research: economics and business]*, 12(2), 41–44. EDN CWWVFL [in Russian].

Author details

Elena V. Kotsur – Ph. D., Associate Professor of the Department of Land Management.

Valery I. Tatarenko – D. Sc., Professor of the Department of Technosphere Security.

Natalya A. Kapitulina – Senior lecturer of the Department of Land Management.

Tatyana A. Shcherbakova – MSc of the Department of Land Management.

Received 26.07.2024

© *E. V. Kotsur, V. I. Tatarenko, N. A. Kapitulina, T. A. Shcherbakova*, 2025

УДК [332.025.13:631.11]:004.6

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-154-162

Совершенствование мероприятий по государственному контролю за использованием земель сельскохозяйственного назначения с применением геопространственных баз данных

В. А. Павлова^{1✉}, А. А. Шпаков¹

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация

e-mail: vikalpav@mail.ru

Аннотация. Исследование рассматривает актуальные вопросы организации мероприятий государственного земельного контроля (надзора) в отношении земель сельскохозяйственного назначения. Авторами предлагается усовершенствовать процессы планирования и проведения соответствующих мероприятий, опираясь на технические решения в области автоматизированной обработки данных и их анализа в целях формирования баз данных, описывающих признаки нарушения законодательства в части использования земель сельскохозяйственного назначения. Проведенные исследования демонстрируют преимущества автоматизации процессов контрольной деятельности, заключающиеся в обмене данными между различными операторами сведений для эффективного решения задач земельного контроля.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, базы данных, земельный контроль, нарушения земельного законодательства, мониторинг земель, автоматизация земельного контроля

Для цитирования:

Павлова В. А., Шпаков А. А. Совершенствование мероприятий по государственному контролю за использованием земель сельскохозяйственного назначения с использованием геопространственных баз данных // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 154–162. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-154-162

Введение

Развитие технологических систем и сервисов оказало влияние практически на все отрасли народного хозяйства. По мнению видных ученых А. П. Карпика и В. Б. Жарникова, проведенная земельная реформа, результатом которой стала ликвидация государственной монополии собственности на землю, в совокупности с формированием нового технологического уклада во многом предопределили направление развития государственного управления земельными ресурсами в части применения новых подходов в решении задач по мониторингу земель [1].

Задачей государственной политики в области управления землями сельскохозяйственного назначения (далее – ЗСХН) всегда было обеспечение населения продуктами пи-

тания. Одним из инструментов решения задач в этой области является контроль за использованием земель соответствующей категории. В современных условиях с учетом непостоянства внешних экономических факторов вопросы контроля за использованием земель и вовлечения неиспользуемых сельскохозяйственных земель в оборот приобретают все большую значимость.

По мнению ученых Д. О. Добровольского и А. М. Портнова, существующая система государственного контроля за использованием земель в Российской Федерации не лишена недостатков. В качестве основных выделяется несовершенство методического обеспечения, низкая степень автоматизации процессов, отсутствие прозрачности в вопросах формирования планов проверок. В качестве решения учеными предлагается широко применять современные технологии получе-

ния и обработки пространственных данных (в том числе при помощи машинного обучения) для выделения и классификации различных признаков, характеризующих состояние земельного фонда Российской Федерации [2]. Важно отметить, что несмотря на ввод в промышленную эксплуатацию в 2018 г. государственной информационной системы «Типовое облачное решение по автоматизации контрольной (надзорной) деятельности» (далее – ТОР КНД) вопросы, связанные с автоматизацией процессов и увеличением прозрачности планирования и реализации мероприятий сняты, по мнению авторов, не были. При этом планы проверок не составляются ввиду действия соответствующего моратория (Постановление Правительства РФ от 10.03.2022 N 336 «Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора), муниципального контроля» – URL: <http://government.ru/docs/all/139693/> – Текст: электронный).

Целью исследования является разработка предложений по совершенствованию мероприятий по государственному контролю (надзору) за использованием земель сельскохозяйственного назначения.

Для достижения цели исследования необходимо оценить эффективность существующих механизмов по контролю за использованием земель сельскохозяйственного назначения, выявить недостатки и предложить пути их устранения.

Методы и материалы

Рассмотрена нормативно-правовая база в части подготовки и реализации контрольной (надзорной) деятельности, а также технические решения, в той или иной степени обеспечивающие соответствующие мероприятия. Для анализа собрана статистическая информация, содержащая данные органов исполнительной власти, описывающие количество, объем и результаты контрольной (надзорной) деятельности за 10 лет (2013–2023 гг.).

Предлагаемые технические решения подразумевают использование распределенных баз данных (язык SQL), применяемых в государственных информационных системах, и различных библиотек (в зависимости от языка программирования) для обработки изображений и других данных.

Использованы теоретические методы исследования: описание, сравнение и обобщение.

Результаты

Современные механизмы по контролю (надзору) за состоянием и использованием земель сельскохозяйственного назначения реализуются на трех уровнях: муниципальном, региональном и федеральном. Органом исполнительной власти, ответственным за разработку государственной политики в части мониторинга состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения, является Министерство сельского хозяйства (Приказ Минсельхоза России от 24 декабря 2015 г. № 664 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201603230036>. – Текст: электронный).

Мероприятия по контролю за использованием и состоянием земель из состава земель сельскохозяйственного назначения проводятся Федеральной службой по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор), подчиненной Минсельхозу России. Рассмотрим динамику и результативность проведения контрольных (надзорных) мероприятий в Российской Федерации за 10 лет в количественном отношении (рис. 1) [3–13].



Рис. 1. Количество и результаты контрольно-надзорных мероприятий за 2013–2023 гг.

Необходимо обратить внимание на источники информации, используемые органами исполнительной власти различного уровня для планирования и реализации контрольных (надзорных) мероприятий. Согласно данным итоговых докладов, формируемых ежегодно, планирование и реализация мероприятий осуществляется на основании сведений, поступающих в органы исполнительной власти из неспециализированных источников: публикаций в сети Интернет, обращений граждан и юридических лиц и др. Согласно действующему зако-

нодательству, существуют также специализированные информационные системы. В них содержится различная информация, так или иначе описывающая обязательные требования и категорирование объектов. Создан также реестр проверок, который содержит сведения о проведенных и планируемых контрольно-надзорных мероприятиях (далее – КНМ).

Поскольку мероприятия по контролю (надзору) за состоянием и использованием земель сельскохозяйственного назначения являются инструментом реализации государственной политики в части обеспечения наиболее полного использования природных ресурсов, необходимо провести сравнение динамики неиспользуемых земель из состава земель сельскохозяйственного назначения и количества земель, вовлекаемых в сельскохозяйственный оборот, по результатам соответствующих мероприятий (рис. 2).



Рис. 2. Динамика количества неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения и вовлечения их в оборот

Для оценки результативности и эффективности проводимых мероприятий по контролю за использованием земель сельскохозяйственного назначения целесообразно рассмотреть статистику выявленных нарушений в разрезе соответствующих правовых норм (табл. 1). С 2016 г. показатели (ст. 17.7, 19.4, 19.5–19.7, 20.25, ч. 1 КоАП РФ) вошли в обобщенную группу.

Важно отметить, что статистика нарушений по статьям 7.1 и 8.8 КоАП РФ не приводится, так как данные, используемые для проведения контрольных мероприятий Росреестром, поступают не в рамках мониторинга земель, проводимого ведомством (Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 22 июля 2021 г. № П/0315 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель, за исключением земель сельскохозяйственного назначения». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112100058>. – Текст: электронный).

Поскольку с 2020 г. в отчетной документации Россельхознадзора произошли изменения, связанные с переходом от предоставления количественной статистики в разрезе правонарушений с поштучного подсчета к погектарному, данные за 2020–2023 гг. будут приведены в площадной размерности (табл. 2).

Таблица 1

Количество выявленных нарушений на ЗСХН

Показатели		Год						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Статья КоАП	Установлено правонарушений всего, шт.	29831	33485	29204	24733	25219	24955	25109
	Наличие площадного показателя							
Ч. 1 ст. 8.6	Да	1307	1649	2241	1727	1710	1286	934
Ч. 2 ст. 8.6		1038	769	1344	1342	1232	1021	1009
Ч. 1 ст. 8.7		112	141	65	-	-	-	-
Ч. 2 ст. 8.7		18615	19344	9408	7225	10150	11579	12279
Ч. 2 ст. 8.8		-	1400	4597	5250	3641	1988	1760
Ст. 10.9	Нет	0	0	23	35	13	21	28
Ч. 2, 3 ст. 10.10		92	68	1552	1131	1196	935	1037
Ст. 17.7		-	59	117				
Ст. 19.4, 19.4.1, 19.5–19.7, ч. 1 ст. 20.25		8667	10055	9829	8019	7188	8049	7970

Часть статей КоАП при этом в источнике не приводится. Все показатели в таблице являются площадными (измеряются в гектарах).

Таблица 2
Нарушения, выявленные на ЗСХН

Показатели	Год			
	2020	2021	2022	2023
Установлено правонарушений всего, га	-	628909	1882973	~2600000
Ч. 1 ст. 8.6	-	938	2339	-
Ч. 2 ст. 8.6	-	2214	19199	-
Ч. 1 ст. 8.7	-	67535	51137	-
Ч. 2 ст. 8.7	-	554821	1783680	~2500000
Ст. 10.9	-	147	-	-
Ч. 2, 3 ст. 10.10	-	3002	-	-

Обращает на себя внимание тот факт, что если с 2014 по 2019 г. доклад Россельхознадзора имел единые показатели, то с 2020 г. набор данных в рамках доклада менялся ежегодно. Увеличилась доля округлений количественных показателей, сам набор показателей ежегодно уменьшался.

Основная часть нарушений земельного законодательства связана с неиспользованием земельных участков по целевому назначению. Основной признак – зарастание сельхозземель многолетней сорной и древесно-кустарниковой растительностью. Вторыми по частоте являются нарушения, связанные с порчей земель. Признаков нарушений два: нарушение почвенного покрова (снятие и перемещение плодородного слоя) и снижение качественных характеристик почвы в результате хозяйственной деятельности (применение пестицидов и агрохимикатов, размещение и (или) внесение отходов и органических удобрений). Третье место занимают нарушения, связанные с проведением работ и эксплуатацией мелиоративных систем. Признаки нарушения: несоответствие проводимых работ проектно-сметной документации, нарушение работы мелиоративных систем вследствие зарастания, заиливания и повреждения элементов мелиоративных систем.

По результатам приведенных сведений в части реализации механизмов государственного контроля (надзора) за использованием земель сельскохозяйственного назначения можно сделать следующие выводы:

1. Взаимосвязь между типом проверок и количеством земель, введенных в сельскохозяйственный оборот, отсутствует.

2. Количество выявляемых нарушений земельного законодательства в части использования земель сельскохозяйственного назначения меняется незначительно.

3. Контрольно-надзорные мероприятия не являются ведущим фактором ввода земель в оборот, их доля колеблется от 1 до 16 % (при отсутствии корректировки количества неиспользуемых земель иными факторами).

4. Основную долю выявляемых нарушений составляют нарушения, связанные с зарастанием земельных участков многолетней сорной и древесно-кустарниковой растительностью.

5. Реформа контрольно-надзорной деятельности, проведенная в 2020 г., не оказала существенного влияния на ввод сельхозземель в оборот.

6. Количество выявленных нарушений, связанных с порчей земель, сокращается.

7. Количество нарушений, связанных с ухудшением качественного состояния земель и выбытием из сельскохозяйственного оборота, увеличивается.

8. Результативность проверок возрастает (возрастает количество выявленных нарушений при уменьшении количества проверок), однако не взаимосвязана с показателем ввода земель в оборот. Чем больше внеплановых проверок, тем выше результативность.

9. Результативность внеплановых проверок связана с поступлением или наличием достоверной информации о нарушении обязательных требований земельного законодательства.

С учетом вышеизложенного авторами статьи предлагается усовершенствовать ряд процессов контрольной деятельности, связанных не с профилактической работой, а с усилением роли мониторинга земель и автоматизации выявления признаков нарушения земельного законодательства на землях сельскохозяйственного назначения.

Поскольку операторами данных могут выступать различные поставщики сведений и единый способ учета информации для таких поставщиков отсутствует, необходимо приводить данные к единому формату. По мнению авторов, достаточным функционалом для решения подобных задач обладают базы данных SQL с надстройками, поддерживающими обработку и хранение пространственных данных. Схема работы с источниками данных, извлечения сведений и их трансформации, по нашему мнению, должна выглядеть следующим образом (рис. 3).

Состав баз данных при этом может существенно отличаться. Для решения задач в области контроля за использованием ЗСХН нами предлагается сформировать несколько специализированных баз данных (БД): геопрограммная с признаками нарушений (полигоны с типом признака), правовая (содержит границы ЗУ из ЕГРН и сведения о правообладателе и (или) землепользователе), вспомогательные (данные агрохимических, почвенных, эколого-токсикологических обследований, сведения о термоточках (пожары), объектах мелиоративного комплекса и др.). При этом вспомогательные БД могут использоваться для дополнения отсутствующих сведений в других базах.

Рассмотрим решение задачи подготовки данных для определения признаков нарушения земельного законодательства при использовании ЗСХН в общем виде с использованием нескольких источников.



Рис. 3. Схема работы с пространственными данными в целях контроля за использованием ЗСХН

Для решения вышеуказанной задачи в качестве базового слоя выбран слой ЕГРН ($C_{егрн}$), содержащий сведения о кадастровом делении территории.

К базовому слою $C_{егрн}$ (сведения о границах ЗУ и правообладателях) необходимо присоединить дополнительные сведения, характеризующие качественное состояние рассматриваемого участка $C_{кач}$, а также сведения о наличии признаков нарушения законодательства $C_{нар}$. Результатом консолидации будет являться результирующий слой C_p , содержащий расширенный набор атрибутивных сведений.

В общем виде $C_p = \{C_{егрн}, C_{кач}, C_{нар}\}$.

Сведения о признаках нарушений $C_{нар}$ представляют собой совокупность пространственных объектов различного типа, характеризующихся площадью $S_{нар}$, видом нарушения $V_{нар}$.

Информация о качественных показателях $C_{кач}$ включает в себя сведения о состоянии земель, сбор которых предусмотрен действующим законодательством. На момент написания настоящей статьи их количество составляет 74 показателя P_k (совокупное число для почвенных, агрохимических и эколого-токсикологических обследований, загружаемых в ЕФИС ЗСН). В общем виде $C_{кач} = \sum P_{k1} + \dots + P_{kn}$. Необходимо отметить, что каждая качественная характеристика должна принадлежать области допустимых значений и (или) иметь неотрицательную динамику (за исключением случаев загрязнения почв). В случаях выхода из области допустимых значений можно сделать вывод о наличии загрязнений ЗСХН, а при отрицательной динамике – ухудшении их качественного состояния.

С учетом вышеизложенного, решение задачи выглядит следующим образом: $C_p = C_{егрн} \cap C_{кач} \cap C_{нар}$. Если $C_{кач} \geq 0$ и $C_{нар} \notin C_{егрн}$, нарушения земельного законодательства отсутствуют. В иных случаях выявлены нарушения.

В контексте объединения сведений при формировании результирующих наборов данных вышеуказанные формулы могут быть представлены в виде нескольких объединяемых БД, при этом C_p – это фактически консолидированная (результирующая) БД. Процесс формирования наборов данных без учета

трансформации и их консолидации по внешнему ключу представлен на рис. 4.

Кадастровый номер не может быть выбран в качестве внешнего ключа в ряде случаев, связанных с его отсутствием в ЕГРН, однако общая тенденция развития земельных отношений в Российской Федерации, по мнению авторов, приведет к формированию достаточного набора соответствующих данных в части кадастрового учета. Более того, в качестве базового слоя может использоваться иной источник информации или их набор, сформированный путем объединения сведений нескольких операторов. Обязательным условием является выбор кадастрового номера в формируемой таблице в качестве первичного ключа (primary key; свойства: not NULL, UNIQUE).

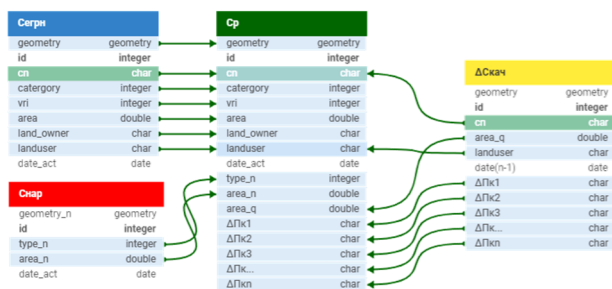


Рис. 4. Процесс формирования наборов данных без учета трансформации и их консолидации по внешнему ключу

Необходимо также отдельно обратить внимание на то, что геометрии ДСкач и Снар к моменту консолидации таблиц должны быть обрезаны по маске объектов слоя, выбранного в качестве базового, с последующим вычислением площадей (area_n и area_q). При вычислении ДСкач решение об обработке геометрий за различные периоды обследований должно применяться исходя из конкретной ситуации и решаемой задачи.

В случае отсутствия пересечений слоев Снар и Сегрн значения type_n и area_n будут пустыми (is NULL). При несовпадении значений столбца landuser в результирующей таблице необходимо сравнивать значения столбцов таблиц Сегрн и ДСкач, содержащих сведения о дате (date_act и date_n). Столбец date_n находится в таблице Скач последнего (ближай-

шего) к дате формирования обследования, на схеме он не представлен.

Алгоритм формирования набора данных для принятия решения в результате консолидации специализированных БД представлен на рис. 5.

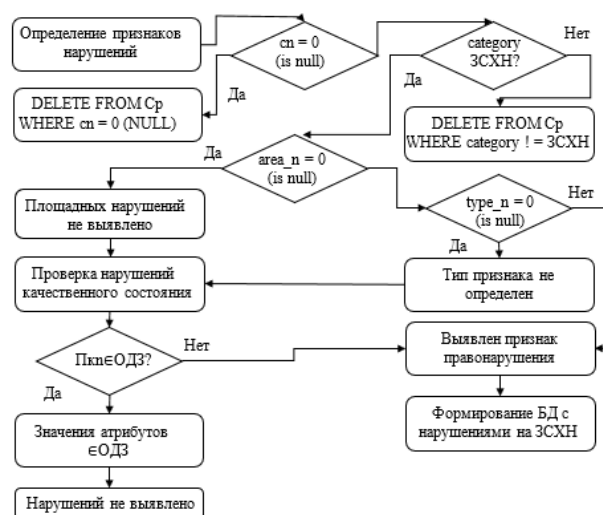


Рис. 5. Алгоритм формирования набора данных для принятия решения о наличии признаков правонарушений на земельном участке

После очистки результирующей БД от объектов, не содержащих признаков нарушений, возможно дальнейшее использование сведений для организации контрольно-надзорных мероприятий. Как можно видеть по представленной схеме, язык SQL позволяет достаточно легко проводить все необходимые операции по трансформации и обработке строк таблиц различных наборов данных.

Обсуждение

В рамках настоящего исследования были классифицированы признаки административных правонарушений, соответствующих статьям 8.6, 8.7 и 10.10 КоАП РФ. Сделан вывод о возможности применения методов автоматизированной обработки геопространственных сведений о состоянии и использовании ЗСХН в целях совершенствования подхода к

планированию и проведению мероприятий в рамках контрольно-надзорной деятельности.

Автоматизированная обработка специализированных сведений производится с учетом уже сложившихся механизмов сбора информации различными ведомствами и сводится к формированию дополнительных целевых БД, содержащих различные признаки нарушений земельного законодательства.

Результаты проведенного исследования не противоречат результатам работ других, упомянутых в настоящей статье авторов, являются возможным развитием предлагаемых способов решения задач, возникающих в соответствующей области управления земельными ресурсами.

Авторы настоящего исследования согласны с позицией Д. О. Добровольского и А. М. Портнова [2] в необходимости формирования централизованной системы планирования мероприятий федерального государственного земельного надзора и мониторинга земель, однако ввиду разграничения полномочий между Росреестром и Министерством сельского хозяйства необходимо обеспечить межведомственный обмен данными. Предлагаемый авторами статьи подход к формированию БД решает вышеуказанную задачу в полной мере.

В качестве необходимого уточнения представляется возможным отметить, что помимо правовой информации, необходимой для организации КНМ со взаимодействием с проверяемым лицом (поставщиком должен являться

Росреестр), возможно использование сведений о постановлениях по материалам о правонарушениях, ответственность за которые предусмотрена ст. 7.1 и 8.8 КоАП РФ, в качестве дополнительных индикаторов риска.

Заключение

В ходе исследования авторами рассмотрено текущее состояние механизмов контрольно-надзорной деятельности в контексте управления земельными ресурсами и обеспечения использования ЗСХН. Результаты анализа статистических сведений об объемах проводимых мероприятий и общей динамики используемых земель позволили сделать вывод о необходимости совершенствования механизмов контрольно-надзорной деятельности. Опорной точкой для развития выбрано совершенствование методологии, основанное на внедрении информационных технологий для работы с данными.

Выделены и классифицированы основные признаки нарушения законодательства в области использования ЗСХН, которые могут быть детектированы с использованием современных технологий. Дополнительно предложена модель формирования специализированных БД указанных признаков и общая логика принятия решения с использованием других БД, содержащих в себе необходимые сведения для информационного обеспечения контрольно-надзорной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Жарников В. Б. О концепциях и закономерностях развития землеустройства, кадастра и мониторинга земель // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 141–157. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157. – EDN OVKDIG.
2. Добровольский Д. О., Портнов А. М. Концепция централизованной системы планирования реализации государственного земельного надзора и мониторинга земель // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 157–167. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-157-167. – EDN RXOGWF.
3. Доклад Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору об осуществлении государственного контроля (надзора) в соответствующих сферах деятельности и об эффективности такого контроля (надзора) за 2013 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/news/ob-itogah-deyatelnosti-rosselhoznadzora-v-sfere-gosudarstvennogo-zemelnogo-nadzora-za-2013-god/> (дата обращения: 01.11.2024).
4. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2014 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2014-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

5. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2015 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2015-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

6. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2016 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyy-doklad-o-deyatelnosti-rosselhoznadzora-za-2016-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

7. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2017 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2017-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

8. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2018 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2018-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

9. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2019 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2019-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

10. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2020 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2020-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

11. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2021 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/2021-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

12. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2022 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyy-doklad-ob-osnovnyh-rezultatah-deyatelnosti-federalnoj-sluzhby-po-veterinarnomu-i-fitosanitarnomu-nadzoru-za-2022-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

13. Итоговый доклад о результатах и основных направлениях деятельности Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору за 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyy-doklad-ob-osnovnyh-rezultatah-deyatelnosti-federalnoj-sluzhby-po-veterinarnomu-i-fitosanitarnomu-nadzoru-za-2023-god/> (дата обращения: 01.11.2024).

Об авторах

Виктория Александровна Павлова – доктор экономических наук, зав. кафедрой землеустройства.

Андрей Андрианович Шпаков – аспирант кафедры землеустройства.

Получено 17.12.2024

© В. А. Павлова, А. А. Шпаков, 2025

Improvement of measures for state control over the use of agricultural land using geospatial databases

V. A. Pavlova¹ ✉, A. A. Shpakov¹

¹St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation

e-mail: vikalpav@mail.ru

Annotation. The study examines topical issues of the organization of state land control (supervision) measures in relation to agricultural land. The authors propose to improve the processes of planning and carrying out appropriate measures, based on technical solutions in the field of automated data processing and analysis in order to form databases describing signs of violation of legislation regarding the use of agricultural land. The conducted research demonstrates the advantages of automating the processes of control activities, consisting in the exchange of data between various information operators for the effective solution of land control tasks.

Keywords: geoinformation technologies, databases, land control, violations of land legislation, land monitoring, automation of land control

REFERENCES

1. Karpik, A. P. & Zharnikov, V. B. (2019). On concepts and patterns of development of land management, cadastre and land monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, V. 24, № 3. 141–157. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157. EDN OVKDIG [in Russian].
2. Dobrovolsky, D. O. & Portnov, A. M. (2024). The concept of a centralized planning system for the implementation of state land supervision and land monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, V. 29, № 3. 157–167. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-157-167. EDN RXOGWF [in Russian].
3. Report of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Supervision on the implementation of state control (supervision) in relevant fields of activity and on the effectiveness of such control (supervision) for 2013. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/news/ob-itogah-deyatelnosti-rosselhoznadzora-v-sfere-gosudarstvennogo-zemelnogo-nadzora-za-2013-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
4. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2014. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2014-god> / (date of reference: 11/01/2024) [in Russian].
5. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2015. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2015-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
6. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2016. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyj-doklad-o-deyatelnosti-rosselhoznadzora-za-2016-god> / (date of reference: 01.11.2024) [in Russian].
7. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2017. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2017-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
8. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2018. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2018-god> / (date of reference: 11/01/2024) [in Russian].
9. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2019. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2019-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
10. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2020. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2020-god> / (date of reference: 11/01/2024) [in Russian].
11. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2021. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/2021-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
12. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2022. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyj-doklad-ob-osnovnyh-rezultatah-deyatelnosti-federalnoj-sluzhby-po-veterinarnomu-i-fitosanitarnomu-nadzoru-za-2022-god> / (date of access: 01.11.2024) [in Russian].
13. Final report on the results and main activities of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance for 2023. Retrieved from <https://fsvps.gov.ru/files/itogovyj-doklad-ob-osnovnyh-rezultatah-deyatelnosti-federalnoj-sluzhby-po-veterinarnomu-i-fitosanitarnomu-nadzoru-za-2023-god> / (date of reference: 11/01/2024) [in Russian].

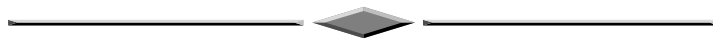
Author details

Victoria A. Pavlova – D. Sc., Head of the Department of Land Management.

Andrey A. Shpakov – Ph. D. Student, Department of Land Management.

Received 17.12.2024

© V. A. Pavlova, A. A. Shpakov, 2025



УДК 621.311.243 (571)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-163-169

Влияние излучения YAG:Nd³⁺-лазера накачки на генерационные характеристики внрезонаторного параметрического генератора света

В. С. Айрапетян¹, А. В. Макеев¹✉

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

e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Аннотация. Представлена методика расчетного и экспериментального исследований характеристик YAG:Nd³⁺- лазера с ламповой накачкой. Полученные значения расходимости излучения $\theta = 1,3$ мрад и выходной энергии импульса до 180 мДж позволяют говорить об эффективности его использования в качестве лазера накачки для внрезонаторного преобразования его длины волны в средний и дальний ИК диапазоны на нелиейнооптическом элементе из оксидных и халькогенидных кристаллов. Описаны основные особенности разработанной экспериментальной установки YAG:Nd³⁺ – лазера с неустойчивым резонатором и методики расчета. Оценено влияние возникающей в активном элементе термической линзы на качество выходного излучения лазера накачки. Показано, что при улучшении спектральной ширины излучения лазера накачки на 10 % становится возможным достичь спектральной ширины параметрического генератора света менее 1 см^{-1} .

Ключевые слова: YAG:Nd³⁺-лазер накачки, перестройка длины волны излучения, параметрический генератор света, нелинейно-оптический кристалл, амплитудные характеристики лазерного излучения

Для цитирования:

Айрапетян В. С., Макеев А. В. Влияние излучения YAG:Nd³⁺-лазера накачки на генерационные характеристики внрезонаторного параметрического генератора света // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 163–169. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-163-169

Введение

Целью статьи является поиск эффективных технических решений для совершенствования одного из методов перестройки длины волны лазерного излучения, а именно параметрического преобразования излучения.

В последнее время происходит активное развитие высокоэффективных источников лазерного излучения, таких как параметриче-

ские генераторы света (ПГС). Развитие данной технологии позволило реализовать плавную перестройку длины волны основного излучения, а также осуществлять перестройку дискретным способом, что подтверждается большим количеством публикуемых работ по этой тематике [1–4]. К таким лазерам предъявляют повышенные требования к качеству излучения; их применение особенно актуально для лидарных устройств дистанцион-

ного мониторинга состояния Земли и атмосферы, в устройствах связи, волоконной оптике, устройствах военного назначения. Применительно к разработанному авторами ранее внрезонаторному ПГС на кристаллах LiNbO_3 и HGS [5–7] наиболее оптимальным лазером накачки можно считать импульсный твердотельный лазер на кристалле YAG:Nd^{3+} с дополнительно реализованной высокоэффективной модуляцией добротности. С учетом того, что характеристики источника накачки напрямую влияют на эффективность перестройки, а также на качество выходного излучения работающего на его основе ПГС, задачей данного исследования был поиск путей совершенствования его характеристик.

Описание проблемы исследования

В процессе работы лазера происходит значительный спад характеристик по причине образования термооптических неоднородностей в объеме активного элемента из-за его нагрева от излучения ламповой накачки [8–10]. В данном случае около 10 % от мощности газоразрядной лампы конвертируется в нагрев активного элемента. Решением такой проблемы может стать монтаж дополнительного активного охлаждения кристалла YAG:Nd^{3+} , однако это решение также создает неустойчивость в работе резонатора из-за возникновения вибраций вследствие работы насосов и циркуляции хладагента охлаждающей установки.

Следствием возникновения градиента температуры в объеме кристалла YAG:Nd^{3+} является происходящая деформация торцов активного элемента, а также появление механических напряжений и анизотропности его оптических свойств [11, 12]. Данные факторы позволяют сделать вывод, что активный элемент, который подвергается воздействию излучения ламповой накачки большой мощности, может быть рассмотрен в виде термической линзы. При этом изменение мощности накачки вызывает смещение фокальных точек, образованных термической линзой активного элемента. При разработке оптической схемы неустойчивого резонатора были исследованы причины энергетической и спектральной нестабильности выходных характе-

ристических излучения и установлены предельно допустимые значения напряжения на импульсных лампах и скорости прокачки хладагента охлаждающей установки.

Разработка импульсного лазера накачки для внрезонаторного ПГС

Конструктивно для реализации лазера накачки использовалась схема неустойчивого резонатора. Такое решение было принято в связи с необходимостью генерации высокой выходной энергии в импульсе, с одновременным улучшением характеристики и спектральной ширины излучения. Также учитывалось, что разрабатываемый YAG:Nd^{3+} -лазер предназначен для накачки ПГС лидарного комплекса, излучение которого проходит расстояния в несколько километров в открытой атмосфере Земли, следовательно, расходимость излучения не должна превышать 1 мрад.

Схема конструкции исследуемого резонатора лазера YAG:Nd^{3+} представлена на рис. 1.

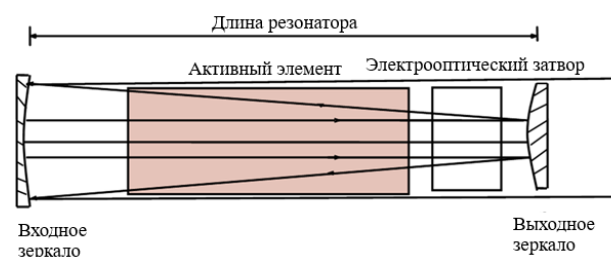


Рис. 1. Схема конструкции резонатора YAG:Nd^{3+} -лазера

Генерация осуществлялась при использовании активного элемента, который изготовлен из кристалла иттрий-алюминиевого граната YAG с примесью ионов неодима, атомарная концентрация которого составляла приблизительно 1,2 %. Активный элемент изготовлен в виде цилиндра длиной 100 мм и диаметром 8 мм. В качестве модулятора добротности использован электрооптический затвор, изготовленный на кристалле дидейтерофосфата калия DKDP, с нанесением на боковые грани кристалла токопроводящих электродов. Входное и выходное зеркала резонатора изготовлены в виде вогнутых пластин из бесцветного стекла К8 с радиусами кривизны

860 и 640 мм, а также диаметром апертуры 25 и 15 мм соответственно. Пропускательно-отражательные свойства зеркал оценивались на длине волны $\lambda = 1,064$ мкм. Коэффициенты отражения составили 86,5 % для выходного зеркала и 99,5 % для входного зеркала. Импульсная лампа накачки марки ИНП 7,5/90 вместе с активным элементом из YAG:Nd³⁺ смонтированы внутри цилиндрического полого диффузного отражателя.

Экспериментальная установка

Измерение величины и качества термической линзы активного элемента выполнялось на стенде, схема которого представлена на рис. 2.

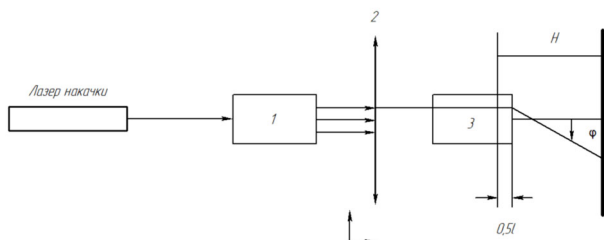


Рис. 2. Схема стенда для определения значения оптической силы термической линзы, возникающей вследствие нагрева активного элемента из кристалла YAG:Nd³⁺

Излучение лазера преобразуется в телескопической системе 1 и далее проходит сквозь диафрагму с входным зрачком 0,8 мм 2, которая смонтирована таким образом, что возможно осуществлять позиционирование в двух плоскостях; размер входного зрачка значительно меньше диаметра кристалла активного элемента 3 $d = 8$ мм. Измерение оптической силы тепловой линзы в сечении активного элемента и величины aberrаций выполнялось путем перемещения диафрагмы на величину a_1 с одновременным детектированием координат луча a_2 лазера на приемном устройстве 4.

Расчет изменения кривизны волнового фронта выполнялся исходя из зависимости

$$R_T = \frac{IT_0T}{2V\delta}. \quad (1)$$

При этом для случая отсутствия каких-либо aberrаций в оптической системе лазера накачки справедливо соотношение

$$a_1 + a_2 = \phi H = x_1(R_T H). \quad (2)$$

В формулах (1), (2) ϕ – угол отклонения луча от горизонтальной оси; H – расстояние от выходной грани до приемного устройства; $l = 100$ мм – длина активного элемента лазера; δ – коэффициент теплопроводности активного элемента; T – уровень вносимых термооптических искажений, для кристалла из YAG:Nd³⁺ равен $82 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$; T_0 – полная мощность тепловыделения в активном элементе; V – объем используемого активного элемента.

Для измерения энергетических и спектральных характеристик излучения YAG:Nd³⁺-лазера был сконструирован экспериментальный стенд спектрофотометра, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.

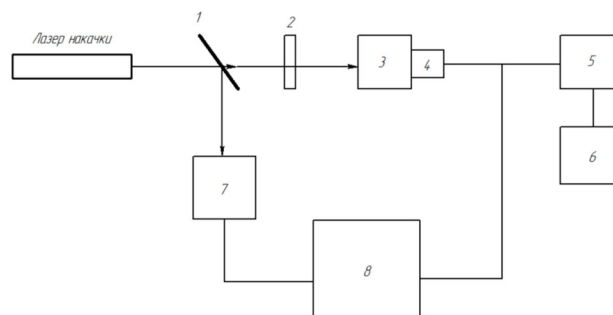


Рис. 3. Схема спектрофотометрического стенда

Стенд состоит из исследуемого лазера накачки YAG:Nd³⁺, светоделителя 1, светофильтра 2, монохроматора МДР-12 3, фотоприемного устройства с диапазоном работы 0,8–2,4 мкм 4, аналого-цифрового преобразователя 5, персонального компьютера 6 со специализированным программным обеспечением, фотоэлектронного умножителя марки 7 ФЭУ-83 и высокоскоростного двухканального осциллографа 8.

Данная установка позволяет выполнять измерения следующих величин: длительности импульса, длины волны и спектральной ширины излучения лазера. Результаты измерений: длительность импульса по полувысоте $\tau_u = 20$ нс,

длина волны излучения $\lambda = 1,06415$ мкм, спектральная ширина $\Delta\lambda = 1,93 \cdot 10^{-3}$ Å.

Результаты и обсуждение

Экспериментально исследовалась зависимость выходной энергии излучения лазера от длины волны, а также измерялась угловая расходимость, (2θ) излучения лазера накачки в точке, где полная интенсивность падает до уровня 0,5. Произведена оценка влияния диаметра диафрагмы в фокальной плоскости линзы на выходные характеристики YAG:Nd³⁺-лазера.

Для оценки расходимости выходного излучения YAG:Nd³⁺-лазера в области перетяжки луча выполнялось измерение поперечного распределения интенсивности. Область перетяжки располагалась в фокальной плоскости линзы с фокусным расстоянием $F = 1$ м.

Были получены следующие результаты: максимально эффективная генерация, равная 42 %, была достигнута при использовании зеркал с коэффициентом пропускания на уровне 86,5 %, а также выводе лазера в импульсно-периодический режим работы. Частота повторения импульсов составляла 30 Гц. Максимальная выходная энергия, которой удалось достичь для данной конструкции лазера, составила 180 мДж. Для описанной конструкции характерно изменение траектории пучка внутри резонатора при внеосевом прохождении толстых линз и падении пучка на линзу под различными углами, величина которых отличается от нормального. Полный угол расходимости выходного пучка лазера накачки составил приблизительно 1,3 мрад, относительная погрешность измерения составила 4 %. В ходе экспериментов было установлено, что на величину расходимости не оказывало существенного влияния изменение выходной энергии излучения лазера, а также коэффициент отражения выходного зеркала.

Экспериментальное измеренное значение параметра качества выходного излучения (коэффициент M^2) равно примерно 1,7, что близко соответствует значению одномодового режима. Графически результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4 и 5.

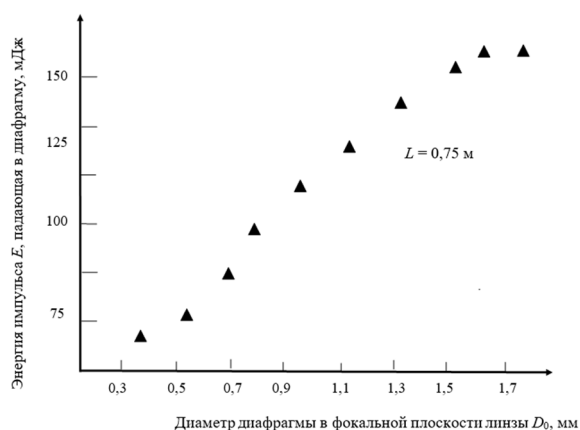


Рис. 4. График влияния диаметра диафрагмы в фокальной плоскости линзы на энергетические характеристики выходного излучения YAG:Nd³⁺-лазера

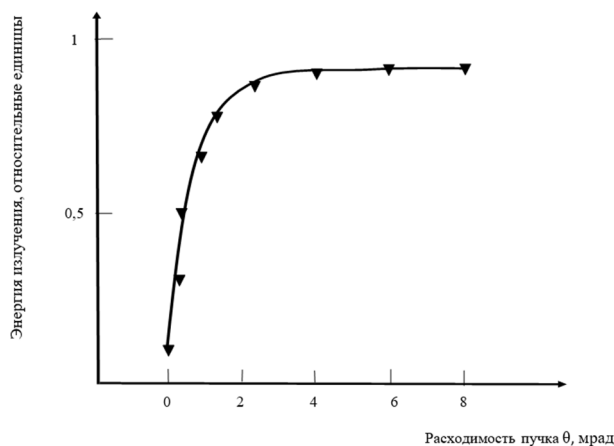


Рис. 5. График расходимости выходного излучения

Выводы

Разработана оптическая схема телескопического резонатора YAG:Nd³⁺-лазера накачки. Проведено комплексное экспериментальное исследование генерационных характеристик. По результатам экспериментов сделан вывод о том, что уменьшение числа поперечных мод не оказало влияния на однородность поля, также данный фактор не снизил энергию выходного излучения лазера накачки. Получены следующие характеристики: рабочая длина волны $\lambda = 1,06415$ мкм, максимальное значение выходной энергии в импульсе равно 180 мДж, расходимость излучения на уровне 1,5 мрад,

частота следования световых импульсов 30 Гц. Такие характеристики лазера накачки существенно улучшают энергетические и пространственно-временные характеристики ПГС, а также позволяют повысить эффективность преобразования основного излучения на длине волны λ в ближний и средний инфракрасный диапазон, а именно 1,41–4,24 мкм, до уровня, равного приблизительно 29 %.

Финансирование

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bigotta S., Stoppler G., Schoner J., Schellhorn M., Eichhorn M. Novel non-planar ring cavity for enhanced beam quality in high-pulse-energy optical parametric oscillators // Opt. Materials Express. – 2014. – Vol. 4, No. 3. – P. 411–423. – DOI 10.1364/OME.4.000411.
2. Chen Y., Liu G. Y., Yang C., Yao B. Q., Wang R. X., Mi S. Y., Yang K., Dai T. Y., Duan X. M., Ju Y. L. 10.1 μm CdSe optical parametric oscillator with continuous-wave seed injection // Opt. Lett. – 2020. – Vol. 45. – P. 2119–2122. – DOI 10.1364/OL.391547. – EDN AHSMVY.
3. Mackanos M. A. W., Simanovskii D., Joos K. M., Schwettman H. A., Jansen E. D. Mid infrared optical parametric oscillator (OPO) as a viable alternative to tissue ablation with the free electron laser (FEL) // Lasers Surg. Med. – 2007. – Vol. 39. – P. 230–236. – DOI 10.1002/lsm.20461. – EDN MHRSIR.
4. Zhao B. R., Chen Y., Yao B. Q., Yao J. Y., Guo Y. W., Wang R. X., Dai T. Y., Duan X. M. High-efficiency, tunable 8-9 μm BaGa₄Se₇ optical parametric oscillator pumped at 2.1 μm // Opt. Mater. Express. – 2018. – Vol. 8. – P. 3332–3337. – DOI 10.1364/OME.8.003332. – EDN YOEFMW.
5. Айрапетян В. С., Широкова Т. А., Пасько П. Г. ИК параметрический лазер с высокой эффективностью излучения во всем диапазоне перестройки частоты // Вестник НГУ. Сер. Физика. – 2013. – Т. 10, № 4. – С. 6–10.
6. Айрапетян В. С., Макеев А. В. Параметрический генератор света на кристалле HGS с плавной перестройкой длины волны в диапазоне 4,75–9,07 мкм // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34, № 1. – С. 57–60. – DOI 10.15372/AOO20210107.
7. Hayrapetyan V. S., Makeev A. V., Shaburova A. V. Optical parametric oscillator on hgs crystal with 5–9 mkm frequency reset // Proceedings of the SPIE. – 2019. – Vol. 11208. – 5 pp. – DOI 10.1117/12.2540427.
8. Ананьев Ю. А., Шестобитов В. Е. Влияние краевых эффектов свойства неустойчивого резонатора // Квантовая электроника. – 1971. – № 3. – С. 82.
9. Емельянова Ю. В., Туркевич Л. Г., Маркова Г. В. О получении равномерного распределения интенсивности в лазерном излучении // Письма в ЖТФ. – 1977. – Т. 3, вып. 8. – С. 367–369.
10. Guilian G., Park Y. K., Byer R. I. Radial birefringen element and its applications to laser resonator design // Opt. Lett. – 1980. – V. 5. – P. 491.
11. Ананьев Ю. А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. – М. : Мир, 1982. – 355 с.
12. Anan'ev Y. A. Laser Resonators and Beam Divergence Problem – 1992. – P. 442. – DOI 10.1201/9781003062899.

Об авторах

Валерик Сергеевич Айрапетян – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии.

Александр Викторович Макеев – ассистент кафедры специальных устройств, инноватики и метрологии.

Получено 19.02.2025

© В. С. Айрапетян, А. В. Макеев, 2025

Influence of YAG:Nd³⁺-Pump Laser on the Generation Characteristics of an Extracavity Optical Parametric Oscillator

V. S. Ayrapetyan¹, A. V. Makeev¹✉

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

e-mail: makeeffsan@yandex.ru

Abstract. The paper presents a calculation and experimental study technique for the characteristics of a lamp-pumped YAG:Nd³⁺ laser. The obtained values of radiation divergence $\theta = 1.3\text{--}1.5$ mrad and output pulse energy up to 180 mJ suggest its efficiency as a pump laser for extracavity wavelength conversion to the mid – and far – IR ranges on a nonlinear optical element made of oxide and chalcogenide crystals. The main features of the developed experimental setup for a YAG:Nd³⁺ laser with an unstable resonator and the calculation technique are described. The influence of the thermal lens arising in the active element on the quality of the output radiation of the pump laser is estimated. It is shown that by improving the spectral width of the pump laser radiation by 10%, it becomes possible to achieve a spectral width of the parametric light oscillator of less than 1 cm^{-1} .

Keywords: YAG:Nd³⁺ – pump laser, optical parametric oscillator, wavelength tuning, amplitude characteristics of laser radiation, nonlinear optical crystal

REFERENCE

1. Bigotta, S., Stoppler, G., Schoner, J., Schellhorn, M., Eichhorn, M. (2014) Novel non-planar ring cavity for enhanced beam quality in high-pulse-energy optical parametric oscillators. *Opt. Materials Express*. Vol. 4, No. 3. P. 411–423. DOI 10.1364/OME.4.000411.
2. Chen, Y., Liu, G. Y., Yang, C., Yao, B. Q., Wang, R. X., Mi, S. Y., Yang, K., Dai, T. Y., Duan, X. M., Ju, Y. L. (2020) 10.1 μm , CdSe optical parametric oscillator with continuous-wave seed injection. *Opt. Lett.* Vol. 45. P. 2119–2122. DOI 10.1364/OL.391547. EDN AHSMVY.
3. Mackanos, M. A. W., Simanovskii, D., Joos, K. M., Schwettman, H. A., Jansen, E. D. (2007) Mid infrared optical parametric oscillator (OPO) as a viable alternative to tissue ablation with the free electron laser (FEL). *Lasers Surg. Med.* Vol. 39. P. 230–236. DOI 10.1002/lsm.20461. EDN MHR SIR.
4. Zhao, B. R., Chen, Y., Yao, B. Q., Yao, J. Y., Guo, Y. W., Wang, R. X., Dai, T. Y., Duan X. M. High-efficiency, tunable 8-9 μm BaGa₄Se₇ optical parametric oscillator pumped at 2.1 μm . *Opt. Mater. Express*. 2018. Vol. 8. P. 3332–3337. DOI 10.1364/OME.8.003332. EDN YOEFMW.
5. Ayrapetyan, V. S., Shirokova, T. A., Pas'ko, P. G. (2013) IR parametric laser with high radiation efficiency in the entire frequency tuning range *Vestnik NGU. Seriya: Fizika. [Bulletin of NSU. Series: Physics]*, Vol. 10, No. 4. P. 6–10 [in Russian].
6. Ayrapetyan, V. S., Makeev, A. V. (2021) Parametric light oscillator on an HGS crystal with smooth wavelength tuning in the range of 4.75–9.07 μm . *Optika atmosfery i okeana [Optics of the atmosphere and ocean]* Vol. 34. No. 01. P. 57–60. DOI 10.15372/AOO20210107 [in Russian].
7. Ayrapetyan V., Makeev A. (2019) Optical parametric oscillator on hgs crystal with 5-9 mkm frequency reset *Proceedings of the SPIE*. 2019. Vol. 11208. 5 pp. DOI 10.1117/12.2540427.
8. Ananyev, Yu. A. Shestobitov V. E. (1971) Influence of edge effects on the properties of an unstable resonator, *Kvantovaya elektronika [Quantum Electronics]*. No. 3. P. 82 [in Russian].
9. Emelyanova Yu. V., Turkevich L. G., Markova G. V. (1977) On obtaining a uniform intensity distribution in laser radiation, *Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki [Letters to the Journal of Technical Physics]* Vol. 3, issue. 8. P. 367–369 [in Russian].
10. Guilian, G., Park, Y. K., Byer, R. I. (1980) Radial birefringent element and its applications to laser resonator design. *Opt. Lett.* V. 5. p. 491.

11. Ananyev, Y. A. (1982) *Opticheskie rezonatory i problema rashodimosti lazernogo izlucheniya* [Optical resonators and the problem of laser radiation divergence] Moscow Mir, 355 p.: ill. [in Russian].
12. Anan'ev Y. A. (1992) «Laser Resonators and Beam Divergence Problem» Hilger, N. Y.

Author details

Valerik S. Ayrapetyan – D. Sc., Professor, Head of the Department of Special Devices of Innovation and Metrology.

Aleksander V. Makeev – Assistant of the Department of Special Devices, Innovations and Metrology.

Received 19.02.2025

© *V. S. Ayrapetyan, A. V. Makeev, 2025*

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ОЛЕГА АЛЬБЕРТОВИЧА МАЙЕРА, ПЕРВОГО ДЕКАНА ОПТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА НИИГАиК



(19.02.1925–23.02.1985)

Есть замечательная фраза, которую приписывают драматургу А. М. Володину (фронтовику, автору пьесы «Пять вечеров» и сценария к фильму «Осенний марафон»): «Родные и близкие думают, что нас знают. Нет, они нас помнят».

Авторы настоящего очерка рассказывают о человеке, которого мало кто знает, но многие помнят.

Олег Альбертович Майер родился 19 февраля 1925 г. в городе Пятигорске Ставропольского края в семье врачей.

Отец – Майер Альберт Иванович, выпускник медицинского факультета Киевского университета. Стажировался в Лейпциге, Германия. В советское время работал в системе армейского санаторно-курортного лечения на Кавказе.

Мать – Коломиец Екатерина Кирилловна, из дворянского рода. В 1909 г. окончила с отличием двухгодичные медицинские курсы, медсестра.

Сохранилась фотография 1937 г., на которой Олегу Майеру 12 лет (рис. 1). Через три

года он лишится мамы, а в 1947 г. останется и без отца, который умрет от заражения крови во время проводимой им операции. Но это случится уже в Сибири, куда семья Майеров была переселена по национальному признаку с началом Великой Отечественной войны. Юношеские увлечения надолго сохранятся в жизни Олега, особенно игра в бадминтон, нередко демонстрируемая им даже в соревнованиях 1960–1970 гг.



Рис. 1. Олегу Майеру 12 лет

В марте 1942 г. Олег Альбертович окончил курсы геодезистов и в 17 лет стал техником на строительстве железной дороги. По воспоминаниям самого Олега Альбертовича, в 1943 г. ему пришлось строить железную дорогу на восточном берегу Волги во время Сталинградской битвы. В 1944 г. он начал работать по специальности «навалоотбойщик на отбойном молотке». В 1946 г. он горный мастер шахты № 48 треста «Октябрьуголь», затем помощник маркшейдера.

В том же 1946 г. произошли два важных события: окончена средняя школа и следует поступление в НИИГАиК на специальность «Аэрофотогеодезия». В 1951 г. институт был окончен с отличием, причем среди сокурсников (рис. 2) О. А. Майера были и будущие руководители НИИГАиК: Сергей Иванович Родионов (ректор) и Петр Александрович Карев (проректор).



Рис. 2. Студенческая группа О. А. Майера

По окончании учебы О. А. Майер работает в Сибирском отделении «Союзмаркштреста» Министерства угольной промышленности СССР.

В 1954 г. женится на Клавдии Павловне Терентьевой. На семейной фотографии (рис. 3) – супруги с первенцем Борисом.



Рис. 3. Семья Майеров, 1950-е гг.

Успешно складывается производственная деятельность: в 1955 г. Олег Альбертович – начальник Новосибирской партии главгеологии РСФСР, одновременно преподает в Новосибирском геологоразведочном техникуме и на кафедре фотограмметрии НИИГАиК; в 1956 г. – инженер и начальник стереофотограмметрической партии в Сибирской топографо-маркшейдерской экспедиции № 305 Всесоюзного маркшейдерского треста, активный рационализатор (рис. 4); в 1960 г. он переходит в НИИГАиК на должность доцента кафедры фотограмметрии, 7 февраля 1962 г. ему присвоено ученое звание доцента.



Рис. 4. О. А. Майер с сотрудниками стереоцеха, 1956 г.

Вся дальнейшая жизнь Олега Альбертовича связана с оптическим факультетом НИИГАиК, которым он руководил в качестве его первого декана с августа 1966 по 1981 г.

Основные этапы этой деятельности: 29 июля 1964 г. на Новосибирском приборостроительном заводе состоялось совещание с обсуждением учебного плана подготовки оптиков, представленного О. А. Майером; 24.09.1964–20.05.1966 – стажировка в ЛИТМО и ЛОМО, г. Ленинград; 06.08.1966 – приказ ректора К. Л. Проворова о назначении О. А. Майера деканом оптического факультета НИИГАиК; с 1970 г. он одновременно заведует кафедрой оптики; с 1974 г. – доцент кафедры спектроскопии.

О. А. Майер за годы работы проявил себя широко эрудированным и высококвалифицированным специалистом в области оптического приборостроения, педагогической и научной деятельности, внес значимый личный вклад в организацию и развитие оптического факультета. Работу декана активно совмещал с

учебным процессом, преподавал теорию оптических систем, активно участвовал в работе экспертной группы НПЗ (рис. 5).



Рис. 5. Майер Олег Альбертович, 1976 г.

Из воспоминаний студента группы ОТ-42 об экзамене 16 января 1981 г. по дисциплине «Теория оптических систем»: «Олег Альбертович объявил, что экзамен будет принимать с конспектами, в билете будет один теоретический вопрос из 25 по списку и одна задача. Перед нами он принимал экзамен у параллельной группы ОИ-41, и ответы ему не понравились. Спрашивал он серьезно: одна из девушек зашла на экзамен в 9 часов утра, а вышла в 9 часов вечера. Я приехал утром, но был уже одиннадцатым. Взял билет № 1. Готовился недолго, отвечал уверенно. Были некоторые недочеты в задаче, но Майер не стал задавать дополнительных вопросов и поставил «отлично». Всего сдавали экзамен 22 студента. Двое из них «завалили», 6 получили «удовлетворительно», 9 – «хорошо», 5 – «отлично». На графике сдачи экзамена Майер написал: «График, как полированное стекло, отражает полную оптическую неоднородность в знаниях группы». И расписался».



Рис. 6. Майер О. А. в коллективе кафедры оптики: второй ряд, второй слева, 1982 г.

Из воспоминаний сотрудников факультета:

«Олег Альбертович делал ставку на своих учеников. Из своего второго выпуска он практически за руку отвел 10 человек поступать на целевые места в аспирантуру ЛИТМО и Государственный оптический институт. Все они, защитив диссертации, вернулись в родной вуз» (О. К. Ушаков, доцент, первый директор ИОиОТ);

«Олег Альбертович поручил мне заказать изготовление Знамени для оптического факультета. Из красного дорогого материала с расшитыми надписями (рис. 7). Сделал он это по своей инициативе на свои личные деньги. Только наш факультет имел такое оригинальное Знамя. Оно стояло в кабинете декана, рядом с рабочим столом» (Т. Г. Огнева, старший лаборант).



Рис. 7. Знамя оптического факультета (с двух сторон)

Олег Альбертович был энергичным, доброжелательным, скромным, аккуратным и добродушным человеком. Обладал крупной комплекцией – под два метра ростом. Если сердился, то по делу.

В год 50-летия НИИГАиК в 1983 г. О. А. Майер был награжден орденом «Знак Почета», ранее отмечен знаком «Отличник геодезии и картографии», почетными грамотами разного уровня.

19 февраля 1985 г. ему исполнилось 60 лет, а 23 февраля 1985 г. его не стало – скончался от тяжелой неизлечимой болезни. Похоронен на Заельцовском кладбище г. Новосибирска в одной могиле с отцом.

4 апреля 2008 г. вышел приказ № 1/55 ректора СГГА о создании в вузе аудитории имени первого декана оптического факультета НИИГАиК Олега Альбертовича Майера.

В подготовке очерка авторам помогли документами и фактами дети юбиляра – Борис Олегович и Екатерина Олеговна Майеры.

Сын – Майер Борис Олегович, преподавал на оптическом факультете НИИГАиК, но основным местом его работы стал Новосибирский педуниверситет. Он доктор философских наук, кандидат физико-математических наук, до весны 2024 г. – проректор по научной работе.

Неоднократный призер и победитель соревнований по ушу (тайцзицюань) в Китае и Корее.

Дочь – Майер Екатерина Олеговна, доктор медицинских наук, профессор, более 20 лет проработала в хирургии, получила второе высшее образование – юридическое. В настоящее время профессор Новосибирского государственного университета, преподает медицинское право.

*Материал подготовили к. т. н., доценты кафедры
фотоники и приборостроения СГУГиТ
П. В. Петров, О. К. Ушаков*