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

Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка

Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying

68 • 01 • 2024

Москва, Россия
Moscow, Russia

О журнале

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

About the Journal

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

LICENSE the material is published on the basis of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Редакционная коллегия

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

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

© МИИГАиК

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

Подписано в печать 28.02.2024.
Гарнитура Source Serif Pro.
Формат 60×90 1/8.
Бумага мелованная.
Печать цифровая.
Объем 13 усл. печ. л.
Тираж 500 экз.
Заказ № 00. Цена договорная.

Редакция
Служба редакционно-издательской деятельности и наукометрии

Отпечатано в типографии ООО «ПринтСайдАп»
printside.ru

Editorial Board

EDITOR-IN-CHIEF	**Viktor P. Savinykh**	RAS Academician, Professor, Doctor of Engineering; Russia
DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF	**Andrey A. Maiorov**	Professor, Doctor of Engineering; Russia
MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD	**Valeriy G. Bondur**	RAS Academician, Professor, Dr. of Sciences; Russia
	Alexander G. Chibunichev	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Oleg V. Denisenko	Doctor of Engineering; Russia
	Slaveyko Gospodinov	Professor, Doctor of Geodesy; Bulgaria
	Alexei D. Gvishiani	RAS Academician, Dr. Sci. (Phys.-Math), Russia
	Petr Holota	Doctor of Engineering; Czech Republic
	Alexander P. Karpik	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Wolfgang Kresse	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Vasiliy A. Malinnikov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Elena M. Mazurova	Doctor of Engineering; Russia
	Sergey S. Nekhin	Doctor of Engineering; Russia
	Viktor B. Nepoklonov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Yuri M. Neyman	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Jürgen Oberst	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	José Joaquín Vila-Ortega	PhD in Engineering; Colombia
	Yuri I. Pimshin	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Yuri G. Raizman	PhD in Engineering; Россия
	Harald Schuh	Professor, Doctor of Engineering; Germany
	Alexander P. Sizov	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Georgy A. Ustavich	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Tamara V. Vereshchaka	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Stanislav N. Yashkin	Professor, Doctor of Engineering; Russia
	Igor G. Zhurkin	Professor, Doctor of Engineering; Russia

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

© MIIGAiK

Project Management by:
Nina V. Fomina
Edited by:
Ekaterina P. Vrublevskaya
Illustrations by:
Ekaterina D. Zhuravlyova
Layout design by:
Svetlana V. Ledneva

Published on 28.02.2024.
Font Source Serif Pro.
Format 60×90 1/8.
Coated paper.
Digital print.
13 printed sheet.
500 copies. Order No. 00.

Editorial Office
Department of Scientometrics
and Publishion

Printed by PrintSide
printside.ru

Содержание

DOI:10.30533/GiA-2024

ГЕОДЕЗИЯ

Косарев Н.С., Падве В.А., Косарева Д.И. 8
Анализ устойчивости геодезических пунктов наземных и ГНСС-сетей с использованием синтезированных алгоритмов МНК-оптимизации данных

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Братков В.В. 21
Зонирование воздействия вулкана Эбеко (Курильские острова) на прилегающие земли по данным материалов аэрокосмических съемок

ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

Колесников А.А. 33
Использование больших языковых моделей в геоинформационных технологиях

Бирюков Н.А., Майоров А.А., Лапчинская М.П. 44
Семантическая сегментация геополей с использованием нейронных сетей на примере проблематики выделения зданий на космо- и аэрофотоснимках

Остроухов А.В. 62
Оценка потенциальной природной уязвимости ландшафтов геоинформационными методами (на примере Хабаровского края)

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Ковязин В.Ф., Нгуен Чыонг Ан 73
Оценка состояния лесного фонда провинции Донг Най Вьетнама по данным дистанционного зондирования Земли

Козина М.В., Студенкова Н.А., Гатина Н.В., Пальцева Д.Е. 84
Практика сбора, анализа и обработки семантических и пространственных данных о землях сельскохозяйственного назначения для информационного обеспечения кадастровой оценки

ХРОНИКА

Фёдор Васильевич Дробышев 99

Contents

DOI:10.30533/GiA-2024

GEODESY

Kosarev N.S., Padve V.A., Kosareva D.I. 8
Analysis of stability of geodetic points in terrestrial and GNSS networks using technologies of synthesized version of algorithms LS-optimization of data

EARTH AEROSPACE SURVEY, PHOTOGRAMMETRY

Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Bratkov V.V. 21
Zoning of the impact of the Ebeko volcano (Kuril Islands) on adjacent lands by the materials of aerospace surveys

GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY

Kolesnikov A.A. 33
Using large language models in geoinformation technologies

Biryukov N.A., Maiorov A.A., Lapchinskaya M.P. 44
Geofields semantic segmentation by neural networks on example of building extraction on satellite and aerial images problematic

Ostroukhov A.V. 62
Assessment of the potential natural vulnerability of landscapes using geoinformation methods (by the example of the Khabarovsk Territory)

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

Kovyazin V.F., Truong An Nguyen 73
Assessment of the forest fund state in Dong Nai province, Vietnam, using remote sensing data of Earth

Kozina M.V., Studenkova N.A., Gatina N.V., Paltseva D.E. 84
Practices of collecting, analyzing and processing of semantic and spatial data on agricultural land for information support of cadastral valuation

CHRONICLE

Fedor Drobyshev 99

УДК 528.3
DOI:10.30533/GiA-2024-001

CC BY

Анализ устойчивости геодезических пунктов наземных и ГНСС-сетей с использованием синтезированных алгоритмов МНК-оптимизации данных

Н.С. Косарев[1] ✉, **В.А. Падве**[1], **Д.И. Косарева**[1]

[1] Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия
✉ kosarevnsk@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Косарев Н.С., Падве В.А., Косарева Д.И. Анализ устойчивости геодезических пунктов наземных и ГНСС-сетей с использованием синтезированных алгоритмов МНК-оптимизации данных // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 8–20. DOI:10.30533/GiA-2024-001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА устойчивость геодезических пунктов, деформация, МНК-оптимизация, синтезированный вариант параметрической версии, регуляризация решения, псевдообратная матрица, дефект матрицы, масштабный показатель точности (МПТ), ковариационная матрица, коррелированные массивы

АННОТАЦИЯ В статье рассматриваются вопросы анализа устойчивости геодезических пунктов в пространстве-времени. Первый пример описывает ситуацию с двумя подвижными реперами в нивелирной сети, мобильность которых определяется надежно. Здесь используется вариант МНК[1]-оптимизации коррелированных парных данных. Второй пример иллюстрирует более сложную геопространственную ситуацию на объекте, подверженном деформационным процессам. Этот пример, использующий данные ГНСС[2]-наблюдений, анализируется как свободная сеть. В такой ситуации наглядно проявляются достоинства синтезированного варианта параметрической версии (СВПВ) МНК-оптимизации ГНСС-наблюдений. Центральный блок гиперматрицы коэффициентов СВПВ представляет собой стабилизирующее слагаемое, обеспечивающее регуляризацию решения по А.Н. Тихонову. Кроме того, в теле обратной матрицы коэффициентов автоматически вычисляются элементы регуляризованной псевдообратной матрицы $\mathbf{A}^{+}$ для исходной матрицы плана $\mathbf{A}$. С помощью псевдообратной

1 МНК — метод наименьших квадратов; англ. — «least squares», LS.

2 ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система.

матрицы $\mathbf{A}^+$ вычисляется ранг исходной матрицы **A**, по которому определяется ее дефект *d*, используемый при вычислении корректного значения безразмерного масштабного показателя точности данных μ^2. Моделирование деформаций для второго примера потребовало дополнительно воспользоваться переходом от приращений геоцентрических координат к топоцентрическим. В результате были получены два массива точек фрагмента ГНСС-сети, сопровождаемых соответствующими ковариационными матрицами координат. По этим коррелированным массивам выполнялся их анализ, подтвердивший, что деформация имела место именно на том пункте, где она и моделировалась.

1 Введение

Анализ устойчивости опорных пунктов классических и спутниковых сетей является неотъемлемым звеном при проведении деформационного мониторинга критически важных объектов инфраструктуры [1–3]. Некорректный учет или неверный выбор опорных пунктов в деформационных сетях приводит к построению недостоверных прогнозных моделей поведения различных инженерных объектов, что, в свою очередь, может привести к серьезным последствиям социального и экономического характера.

Устойчивость опорных пунктов геодезического построения (ГП) в пространстве-времени, применяемого при анализе деформационных процессов техногенного или природного происхождения, определяется лишь путем повторных наблюдений на пунктах объекта. В этом случае предполагается, что результаты каждого цикла наблюдений подвергаются МНК-оптимизации, результаты которой характеризуются соответствующей ковариационной матрицей [4].

В зарубежной литературе геодезические построения, которые развиваются на объекте, подверженном деформационным процессам, классифицируются на два вида: абсолютные и относительные[3]. В абсолютных ГП опорные пункты размещаются вне деформационной части объекта, подверженного геодезическому мониторингу. Таким образом, предполагая, что эти опорные пункты остаются устойчивыми в пространстве-времени, можно оценить абсолютные смещения объекта мониторинга [5]. В относительных ГП все пункты предполагаются расположенными внутри деформационной части объекта, подверженного геодезическому мониторингу. В этом случае могут быть оценены только относительные смещения элементов объекта мониторинга [6].

В отечественной и зарубежной литературе вопросу устойчивости опорных пунктов высотной основы посвящено огромное количество публикаций. Так, в работе В.Н. Ганьшина и соавт.[4] сделан обзор существующих подходов решения озвученной проблемы начиная с 60-х до 80-х годов XX века. П.Д. Пеневым в статье [7] предложена методика определения устойчивости исходных реперов, базирующаяся на анализе свободной нивелирной сети, в которой псевдообратная матрица вычисляется по методу P. Meissl[5] [8]. Б.Н. Дьяков в работе [9] провел сравнительный анализ способов Костехеля и Марчака, по результатам которого была отмечена необходимость учета значения рейтинга каждого репера в сети при поиске наиболее устойчивого пункта в свободной нивелирной сети. В работах М.Г. Мустафина [10–14] обобщен современный российский и мировой опыт по оценке устойчивости опорных пунктов высотной основы.

3 Chrzanowski A., Chen Y.Q., Secord J.M. Geometrical analysis of deformation surveys // Proceedings of a Workshop on Deformation Measurements. 1986. P. 170–206.

4 Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов / В.Н. Ганьшин, А.Ф. Стороженко, А.Г. Ильин и др. М.: Недра, 1981. 215 с.

5 Meissl P. The internal accuracy of a pile of points // Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen. 1962. Vol. 50. Iss. 5. P. 6. (Оригинал на немецком языке.)

Вопрос стабильности опорных пунктов в спутниковых геодезических построениях и в сетях деформационного мониторинга в российской технической литературе освещен не так широко, как в зарубежных публикациях [15, 16]. Существует лишь ряд исследований, связанных в основном с анализом высотного положения отдельных пунктов, подверженных влиянию температуры окружающей среды [17–19]. В то же время следует отметить, что задача контроля устойчивости опорных пунктов в спутниковых геодезических построениях, предназначенных для деформационного мониторинга, не является тривиальной, так как требует учета различных сезонных вариаций, вызванных такими факторами, как приливные эффекты, нагрузочные влияния, а также остаточное воздействие неучета тропосферной задержки, которое особенно проявляется при обработке ГНСС-измерений в методе точного точечного позиционирования (англ. — «Precise Point Positioning», PPP) [20, 21]. Все это говорит о необходимости проведения исследований, направленных на решение озвученной выше задачи.

В рамках данной работы авторами предложен один из возможных вариантов решения задачи по анализу устойчивости опорных пунктов в спутниковых сетях с использованием синтезированного варианта параметрической версии алгоритма МНК-оптимизации данных. В качестве тест-объектов, на которых были проведены исследования, выступили одномерные и трехмерные геодезические построения.

2 Описание синтезированного варианта параметрической версии алгоритма МНК-оптимизации данных

Синтезированный вариант алгоритма параметрической версии МНК-оптимизации данных (СВПВ) [22, 24] схематически характеризуется структурой, представленной в табл. 1.

Таблица 1
Структурная схема алгоритма СВПВ: $\mathbf{M}\boldsymbol{b} = \boldsymbol{L}$

Table 1
Block diagram of the SVPV algorithm: $\mathbf{M}\boldsymbol{b} = \boldsymbol{L}$

	M			***b***		***L***
$\mathbf{K}_{\Delta}^{-1}$	**0**	$-\boldsymbol{I}$		$\boldsymbol{V}_{\Delta}$		**0**
0	$\mathbf{K}_{x}^{-1} = \alpha \cdot \mathbf{I}$	$\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}$	·	$\boldsymbol{\delta X}$	=	**0**
$-\boldsymbol{I}$	$\boldsymbol{A}$	**0**		$\boldsymbol{\lambda}$		$\boldsymbol{L}$

В табл. 1 обозначено: $\mathbf{K}_{\Delta}^{-1} = \mathbf{K}_{\boldsymbol{L}}^{-1}$ — обратная ковариационная матрица исходных данных Δ, она же — свободных членов $\boldsymbol{L}$. Центральный блок $\alpha \cdot \mathbf{I}$ гиперматрицы коэффициентов $\mathbf{M}$ — стабилизирующее слагаемое, обеспечивающее регуляризацию решения[6]. Коэффициент α (параметр регуляризации) в стабилизирующем слагаемом принимается равным 10^{-m}. Блок $\boldsymbol{I}$ — единичная матрица, а блок $\boldsymbol{A}$ — матрица плана геодезического построения. Гипервектор корней системы $\boldsymbol{b}$ содержит три блока: МНК-поправки к данным $\boldsymbol{V}_{\Delta}$, МНК-поправки $\boldsymbol{\delta X}$ к приближенным значениям параметров $\boldsymbol{X}^{0}$ и множители Лагранжа λ.

Блоки решения $\boldsymbol{b} = \mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{L}$ образуют структуру, изображенную в табл. 2.

Таблица 2
Структурная схема решения алгоритма СВПВ: $\boldsymbol{b} = \mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{L}$

Table 2
Block diagram of the solution of the SVPV algorithm: $\boldsymbol{b} = \mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{L}$

b		**$\mathbf{M}^{-1}$**				***L***
$\boldsymbol{V}_{\Delta}$		$\mathbf{K}_{\Delta}^{\text{ур}}$	$\mathbf{K}_{12}$	$\mathbf{K}_{13}$		**0**
$\boldsymbol{\delta X}$	=	$\mathbf{K}_{21}$	$\mathbf{K}_{x}^{\text{ур}}$	$\mathbf{A}^{+}$	·	**0**
$\boldsymbol{\lambda}$		$\mathbf{K}_{31}$	$(\mathbf{A}^{+})^{T}$	$\mathbf{K}_{33}$		$\boldsymbol{L}$

6 Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.

В табл. 2 обозначено: гипервектор решения $\boldsymbol{b}$; блоки априорных ковариационных матриц уравненных значений данных $\mathbf{K}_{\Delta}^{\text{ур}}$ и параметров $\mathbf{K}_{x}^{\text{ур}}$; блок $\mathbf{A}^{+}$ — регуляризованная псевдообратная матрица, характеризующаяся свойством наименьших квадратов (РП-МНК-матрица); $\mathbf{K}_{ij}$ — вспомогательные блоки, которые могут быть использованы при пошаговой реализации алгоритма СВПВ.

Блоки $\mathbf{A}^{+}$ и $(\mathbf{A}^{+})^{T}$ обеспечивают вычисление априорной ковариационной матрицы уравненных значений параметров: $\mathbf{K}_{\tilde{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}^{+}\mathbf{K}_{\mathbf{y}}(\mathbf{A}^{+})^{T}$. Они же дают возможность определения ранга исходной матрицы плана $\mathbf{A}$ по формуле С.Р. Рао[7], что позволяет просто оценивать дефект d исходной матрицы $\mathbf{A}$ и корректно вычислять величину масштабного показателя точности (МПТ).

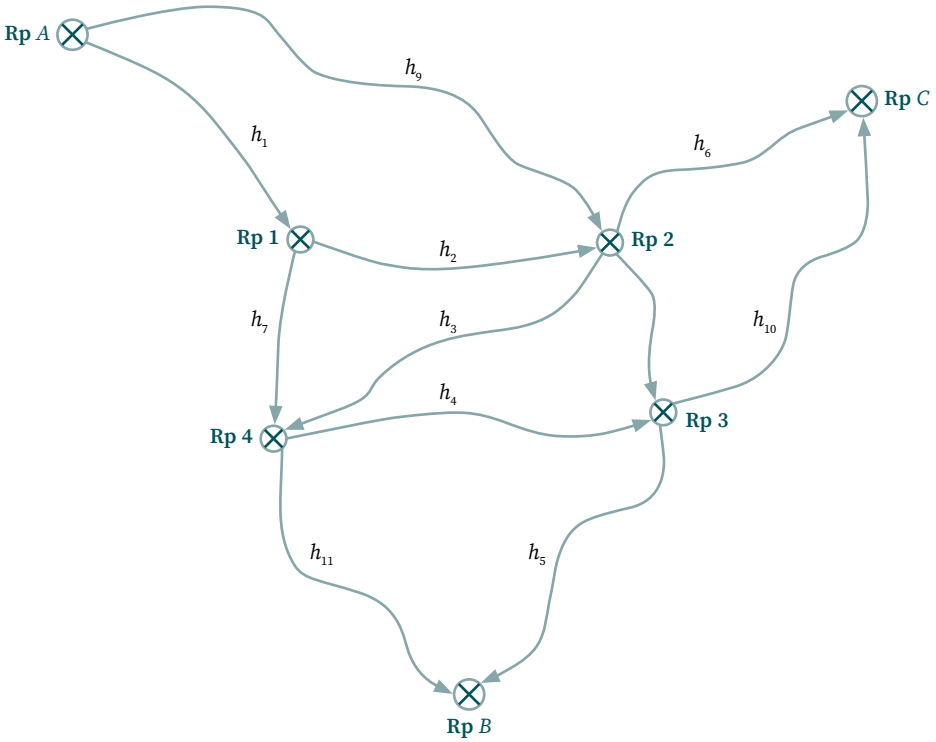
3 Результаты и обсуждение

3.1 Стабильность реперов нивелирования

Рассмотрим анализ стабильности в пространстве-времени отметок четырех реперов, которые определялись дважды по материалам нивелирования III класса (рис. 1).

Рис. 1
Схема нивелирной сети III класса

Fig. 1
Diagram of a class III leveling network



В табл. 3 приведены результаты измеренных превышений в первом и втором циклах.

Таблица 3
Результаты измерений превышений в первом и втором циклах

Table 3
Results of excess measurements in the first and second cycles

Цикл	Измеренные превышения, м										
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}	h_{11}
1	4,098	−3,226	−2,593	4,380	0,620	−2,310	−5,840	1,780	**0,910**	**−4,080**	5,022
2	4,098	−3,326	−2,493	4,280	0,720	−2,210	−5,840	1,780	**0,810**	**−3,980**	5,022

7 Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применения. М.: Наука, 1986. 548 с.

Рис. 2
Массивы уравненных значений отметок реперов сети нивелирования III класса по циклам и их апостериорные ковариационные матрицы

Fig. 2
Arrays of equalized values of reference points of the class III leveling network by cycles and their a posteriori covariance matrices

Стабильные реперы II класса Rp *A* (отметка 29,634 *м*), Rp *B* (отметка 32,916 *м*) и Rp *C* (отметка 28,237 *м*) охватывали изучаемый регион, в котором были заложены четыре новых репера: Rp 1, ..., Rp 4.

Два цикла нивелирования III класса y и y' проводились в разное время, и в каждом цикле использовалось лишь девять превышений, набор которых определялся различными факторами организационного плана. Материалы нивелирования по каждому циклу подвергались МНК-оптимизации, результатом которой были массив уравненных значений отметок определяемых реперов и массив апостериорных значений ковариационных матриц этих отметок $\mathbf{K}_y$ и $\mathbf{K}_{y'}$ (рис. 2).

Анализ коррелированных разностей отметок

α= 0,05 $t_т$ = 1,96

Первый цикл

Уравненные отметки			Ковариационная матрица отметок первого цикла K_y, см²			
№	y, м	СКП, мм				
1	33,746	14	**1,86**	0,60	0,54	0,97
2	30,533	10	0,60	**0,99**	0,44	0,43
3	32,305	9	0,54	0,44	**0,88**	0,59
4	27,920	11	0,97	0,43	0,59	**1,22**

Второй цикл

Уравненные отметки			Ковариационная матрица отметок второго цикла K_y, см²			
№	y', м	СКП, мм				
1	33,744	8	**0,70**	0,24	0,25	0,47
2	30,433	8	0,24	**0,62**	0,27	0,26
3	32,207	8	0,25	0,27	**0,60**	0,43
4	27,926	10	0,47	0,26	0,43	**0,92**

Разности, см

№	$d = y - y' = W$	$d^{доп} = t_т\sqrt{N_{jj}}$	Решение	Ковариационная матрица разностей: $K_d = K_y + K_{y'} = N_\Delta$, см²			
1	0,20	3,14	нормально	**2,56**	0,84	0,79	1,44
2	**9,96**	2,49	много	0,84	**1,61**	0,71	0,68
3	**9,76**	2,38	много	0,79	0,71	**1,48**	1,02
4	−0,58	2,86	нормально	1,44	0,68	1,02	**2,13**

При обработке коррелированных парных данных y и y' по способу условий, их уравнения связи — это элементарные линейные функции (разности данных):

1
$$\Phi_{k1}(Y_{n1}) = D_{k1} = Y_{k1} - Y_{k1} = 0_{k1},$$

где n – число наблюдений,
k – количество пар.

Ковариационные матрицы данных y и y' представляют собой блочно-диагональную структуру следующего вида:

2
$$\mathbf{K}_Y = \begin{matrix} \mathbf{K}_y & 0 \\ 0 & \mathbf{K}_{y'} \end{matrix}$$

Коэффициенты $B_{kn} = \{\partial D_{k1} / \partial Y_{k1}\}$ линеаризованных условных уравнений поправок $B_{nk} \cdot \tilde{V}_{k1} + W_{k1} = 0_{k1}$ представляют собой блоки единичных матриц:

3
$$\mathbf{B}_{kn} = \left(\mathbf{I}_{kk} \quad \vdots - \mathbf{I}_{kk}\right).$$

Свободные члены W_{k1} этих уравнений поправок равны разностям данных наблюдений в парах:

4
$$W_{k1} = y_{k1} - y'_{k1} = d_{k1}.$$

Дальнейшее развитие процесса МНК-оптимизации коррелированных парных данных имеет смысл, если разности-невязки (4) не превышают допустимых значений:

$$d_j^{\text{доп}} = w_j^{\text{доп}} = t_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{N_{jj}} = t_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\{K_y + K_{y'}\}_{jj}}, \forall j = 1,\ldots,k. \quad (5)$$

Здесь $t_{1-\alpha/2}$ — (100-α/2) %-я квантиль стандартного нормального распределения, а величины N_{jj} — диагональные элементы ковариационной матрицы разностей-невязок:

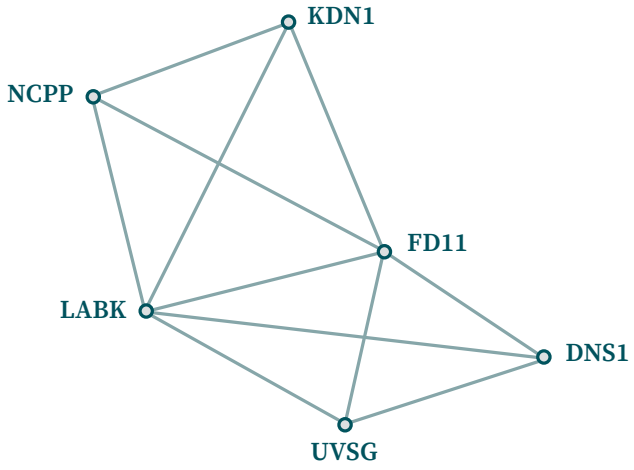
$$\mathbf{N}_\Delta = \mathbf{B}\mathbf{K}_Y\mathbf{B}^T = \mathbf{K}_y + \mathbf{K}_{y'} = \mathbf{K}_d = \mathbf{K}_W. \quad (6)$$

Единичные недопустимые разности d_j свидетельствуют либо о грубых промахах в отдельных первичных или вторичных данных, либо о **перемещении *j*-й точки в пространстве**.

Как следует из рис. 2, два репера — № 2 и № 3, соединенные превышением h_8, опустились практически на 10 см, а само измеренное значение этого превышения осталось неизменным. Превышение h_7, связывающее стабильные реперы № 1 и № 4, также сохранило свое численное значение. Остальные превышения, связывающие эти реперы с двумя стабильными реперами № 1 и № 4 и опорными реперами Rp *A*, Rp *B* и Rp *C*, изменились на те же 10 см.

Рис. 3
Фрагмент ГНСС-сети

Fig. 3
A fragment of the GNSS network



3.2 Стабильность опорных пунктов в ГНСС-построениях

Измерения в более сложной пространственной конструкции геодезического построения – сети геодезических пунктов (рис. 3), находящейся в сложных физико-географических условиях и характеризующейся активной динамикой, обусловленной добычей углеводородов [23], проводились с использованием ГНСС-технологий.

Результаты сеансов ГНСС-наблюдений рассматривались как наблюдения в **свободном** геодезическом построении и были подвергнуты МНК-оптимизации с использованием алгоритма СВПВ [22, 24].

Структурная схема алгоритма СВПВ ($Mb = L$), реализующего МНК-оптимизацию ГНСС-наблюдений, представлена в табл. 1.

Фрагмент матрицы плана сети $\mathbf{A}_{45\cdot18}$ для ГНСС-построения, изображенного на рис. 3 (табл. 4), сформирован из триад вида $\pm\mathbf{I}_{3\cdot3}$, которые описывают связи концов базовых линий. В табл. 4 представлен северо-западный фрагмент этой матрицы, содержащий базовые линии между пунктами NCPP–KDN1 и NCPP–LABK. Подобным же образом описаны остальные базовые линии указанной сети.

Таблица 4
Фрагмент матрицы плана

Table 4
Fragment of the plan matrix

Базовые линии	1_NSPP			2_KDN1			3_LABK		
	X_1	Y_1	Z_1	X_2	Y_2	Z_2	X_3	Y_3	Z_3
NCPP–KDN1	**−1**	0	0	**1**	0	0	0	0	0
	0	**−1**	0	0	**1**	0	0	0	0
	0	0	**−1**	0	0	**1**	0	0	0
NCPP–LABK	**−1**	0	0	0	0	0	**1**	0	0
	0	**−1**	0	0	0	0	0	**1**	0
	0	0	**−1**	0	0	0	0	0	**1**

Данная матрица плана оказалась матрицей **неполного столбцового ранга**. Для определения ее дефекта $d = k - R(\mathbf{A})$ использовалась формула С.Р. Рао

7 $$\mathrm{R}(\mathbf{A}_{nk}) = \mathrm{R}(\mathbf{A}^{+}_{kn} \cdot \mathbf{A}_{nk} = \mathrm{H}_{kk}) = tr\,(\mathrm{H}_{kk}).$$

Участвующая в формуле $\mathbf{A}^{+}$ — регуляризованная псевдообратная матрица, характеризующаяся свойством наименьших квадратов (РП-МНК-матрица), вычисляется автоматически отдельным блоком ($\mathbf{A}^{+}_{kn}$) в теле обратной гипер-матрицы коэффициентов $\mathbf{M}^{-1}$ (см. табл. 2).

Апостериорная ковариационная матрица МНК-оптимизированных координат объекта $\mathbf{K}^{\text{ур}}_{\bar{\mathbf{x}}}$ вычислялась отдельно по формуле

8 $$\mathbf{K}^{\text{ур}}_{\bar{\mathbf{x}}} = \bar{\mathbf{K}}_{\bar{\mathbf{x}}} = \mu^2 \cdot \mathbf{A}^{+}\mathbf{K}_{\Delta}(\mathbf{A}^{+})^{T}.$$

МПТ μ^2, реализующий переход от априорной ковариационной матрицы к апостериорной, вычисляется по формуле

9 $$\mu^2 = \frac{\tilde{V}^{T} K_{\Delta}^{-1} \tilde{V}}{n - k + d}.$$

В заключение вычисляются оптимизированные значения всех шести координат ГНСС-объекта и их показатели точности.

Дальнейшие исследования стабильности объекта выполнялись путем моделирования «проседания» одного из пунктов по направлению нормали к эллипсоиду. Результаты сеансов были получены путем искусственного «понижения» отметки пункта UVSG в топоцентрической системе координат ENU [25] по каждой базовой линии, соединяющей остальные пункты фрагмента (см. рис. 3) с UVSG на 0,02 м.

Переход от приращений геоцентрических координат ΔX, ΔY, ΔZ к топоцентрическим координатам E, N, U осуществлялся по формуле

10 $$\begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix} = \mathbf{R}_b^{T} \cdot \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix},$$

где $\mathbf{R}_b$ – матрица преобразования

11 $$\mathbf{R}_b = \begin{pmatrix} -\sin L & -\cos L \cdot \sin B & \cos L \cdot \cos B \\ \cos L & -\sin L \cdot \sin B & \sin L \cdot \cos B \\ 0 & \cos B & \sin B \end{pmatrix},$$

где B и L — геодезические широта и долгота первого пункта базовой линии (b), вторым концом которой всегда был пункт UVSG.

Вычисленное значение топоцентрической высоты U понижалось на указанные выше 0,02 м, а затем выполнялся обратный переход от топоцентрических координат к приращениям геоцентрических координат:

12 $$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \mathbf{R}_b \cdot \begin{pmatrix} E \\ N \\ U \end{pmatrix}.$$

Все пять триад приращений координат базовых линий, вычисленных по формуле (12), вводились заново в соответствующие измеренные значения триад в алгоритме СВПВ. Алгоритм вырабатывал новый вектор МНК-поправок к приближенным значениям координат этой сети (табл. 5).

Изменения МНК-поправок (корней решения алгоритма СВПВ) четко отражают наибольшие изменения таких поправок для координат пункта UVSG, для которого было смоделировано «понижение» отметки U вдоль по нормали к эллипсоиду. Разности, найденные по материалам двух циклов наблюдений, оценивались на допустимость по формуле (5).

Таблица 5
Сравнительная таблица изменений МНК-поправок в приближенные значения пространственных координат *XYZ*

Table 5
Comparative table of changes in LS-corrections to approximate values of spatial coordinates *XYZ*

Пункт	МНК-поправки, см		Разности d, см	$d^{доп}$, см	Решение
	Цикл 1	Цикл 2			
NCPP	82,50	82,54	0,04	0,12	Хорошо
	191,53	191,69	0,16	0,24	Хорошо
	−147,07	−146,78	0,30	0,46	Хорошо
KDN1	−30,60	−30,56	0,04	0,11	Хорошо
	−106,99	−106,83	0,16	0,25	Хорошо
	−32,94	−32,64	0,30	0,47	Хорошо
LABK	−30,40	−30,36	0,04	0,12	Хорошо
	−107,47	−107,30	0,16	0,24	Хорошо
	−35,09	−34,80	0,29	0,44	Хорошо
FD11	−30,45	−30,41	0,04	0,13	Хорошо
	−106,31	−106,14	0,16	0,27	Хорошо
	−33,56	−33,27	0,29	0,51	Хорошо
UVSG	**−30,34**	**−30,58**	**−0,24**	**0,11**	**Плохо**
	−106,55	**−107,29**	**−0,74**	**0,24**	**Плохо**
	−33,91	**−35,37**	**−1,46**	**0,48**	**Плохо**
DNS1	40,34	40,37	0,03	0,12	Хорошо
	249,06	249,23	0,17	0,24	Хорошо
	268,79	269,08	0,29	0,43	Хорошо

Естественно, что остальные пункты, хотя и не меняли свое пространственное положение, также получили новые МНК-поправки, не превышающие 3 мм. Алгоритм СВПВ является сложным нелинейным преобразованием значительного объема данных, в связи с чем такие поправки — это «числовой шум», который сопровождает математические преобразования данного алгоритма.

4 Выводы

В данной работе выполнен анализ устойчивости геодезических пунктов в наземных и ГНСС-сетях с использованием синтезированных алгоритмов МНК-оптимизации геопространственных данных.

Первый пример описывает ситуацию с двумя подвижными реперами в нивелирной сети, мобильность которых определяется надежно. Второй пример иллюстрирует более сложную геопространственную ситуацию на объекте, подверженном деформационным процессам. Этот пример, использующий данные ГНСС-наблюдений, анализируется как свободная сеть. Моделирование деформаций для второго примера потребовало дополнительно воспользоваться переходом от приращений геоцентрических координат к топоцентрическим. В результате были получены два массива точек фрагмента ГНСС-сети, сопровождаемых соответствующими ковариационными матрицами координат. По этим коррелированным массивам выполнялся их анализ, подтвердивший, что деформация имела место именно на том пункте, где она и моделировалась.

Рассмотренные примеры мониторинга геопространственных данных с использованием синтезированного варианта алгоритма параметрической версии МНК-оптимизации таких данных как в примере с нивелирной сетью, так и в случае анализа ГНСС-наблюдений для фрагмента пространственного геодезического построения, находящегося в сложных физико-географических

условиях, а также вероятностно-статистический анализ полученных результатов демонстрируют мощный потенциал реализованного вычислительного аппарата.

Описанная и проиллюстрированная на примерах технология СВПВ использует регуляризацию данных по А.Н. Тихонову, автоматически строит псевдообратную матрицу $\mathbf{A}^{+}$, характеризующуюся свойством наименьших квадратов с точностью до параметра регуляризации α. Дополнительно следует отметить, что при вычислении обратной матрицы коэффициентов автоматически определяются априорные значения ковариационных матриц МНК-оптимизированных (уравненных) значений как результатов измерений, так и координат пунктов (параметров).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Duchnowski R., Wyszkowska P. Unstable Object Points during Measurements — Deformation Analysis Based on Pseudo Epoch Approach // Sensors. 2022. Vol. 22. 9030. DOI:10.3390/s22239030.
2. Zhou J., Shi B., Liu G., Ju S. Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station // PLoS ONE. 2021. Vol. 16(5). P. e0251281. DOI:10.1371/journal.pone.0251281.
3. Banimostafavi Z., Sharifi M.A., Farzaneh S. Evaluation of unstable points detection methods in geodetic GNSS-based networks // Iranian Journal of Geophysics. 2023. Vol. 16(4). P. 175–192. DOI:10.30499/ijg.2023.350587.1441.
4. Amiri-Simkooei A.R., Alaei-Tabatabaei S.M., Zangeneh-Nejad F., Voosoghi B. Stability analysis of deformation-monitoring network points using simultaneous observation adjustment of two epochs // Journal of Surveying Engineering. 2017. Vol. 143(1). P. 04016020. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000195.
5. Odziemczyk W. Application of Optimization Algorithms for Identification of Reference Points in a Monitoring Network // Sensors. 2021. Vol. 21. P. 1739. DOI:10.3390/s21051739.
6. Маркузе Ю.И., Лэ Ань Куонг. Исследование алгоритма для анализа деформаций геодезических пунктов при наблюдении за горизонтальными смещениями гидротехнических сооружений // Геодезия и картография. 2017. № 7. С. 23–30. DOI:10.22389/0016-7126-2017-925-7-23-30.
7. Пенев П.Д. Анализ устойчивости реперов высотной основы // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2005. № 4. С. 3–16.
8. Wiśniewski Z., Kamiński W. Estimation and Prediction of Vertical Deformations of Random Surfaces, Applying the Total Least Squares Collocation Method // Sensors. 2020. Vol. 20. P. 3913. DOI:10.3390/s20143913.
9. Дьяков Б.Н. Сравнительный анализ способов Костехеля и Марчака // Маркшейдерский вестник. 2009. № 6. С. 43–46.
10. Мустафин М.Г., Наумов А.С. Контроль допустимых деформаций земной поверхности при строительстве вертикальных выработок в условиях застроенных территорий // Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 194–197.
11. Нгуен Х.В., Мустафин М.Г. Анализ и пути развития методов оценки устойчивости опорных реперов при наблюдениях за оседаниями земной поверхности // Естественные и технические науки. 2017. № 5(107). С. 89–96.
12. Мустафин М.Г., Нгуен Х.В. Способ оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений // Естественные и технические науки. 2018. № 11(125). С. 240–247.
13. Мустафин М.Г., Нгуен Х.В. Оценка вертикальных смещений оснований зданий и сооружений на основе анализа элементов деформационной сети // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 3. С. 11–19. DOI:10.22389/0016-7126-2019-945-3-11-19.
14. Мустафин М.Г., Васильев Г.Е. Оценка смещений пунктов свободной геодезической сети при повторных наблюдениях с незакрепленных точек // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28. № 4. С. 38–48.
15. Owczarz K. A review of geodetic and remote sensing methods used for detecting surface displacements caused by mining // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 609. No. 1. P. 012076. DOI:10.1088/1755-1315/609/1/012076.
16. Eteje S.O. Detailed Geodetic Technique Procedures for Structural Deformation Monitoring and Analysis // International Journal of Scientific and Technological Research. 2020. Vol. 6(7). P. 7–23. DOI:10.7176/JSTR/6-07-02.

17. Шестаков Н.В., Герасимов Г.Н., Герасименко М.Д. Учет сезонных вариаций координат пунктов GPS/ГЛОНАСС-наблюдений при исследовании современных движений земной коры // Геодезия и картография. 2009. № 9. С. 46–51.
18. Богданец Е.С., Черёмухина О.О. Анализ влияния температурного поля на высотное положение сети базовых GNSS-станций // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2017. № 1. С. 17–21.
19. Бовшин Н.А. Исследование зависимости координат EPN/IGS-станций от температуры окружающей среды // Геодезия и картография. 2022. № 3. С. 2–13. DOI:10.22389/0016-7126-2022-981-3-2-13.
20. Калинников В.В., Устинов А.В., Косарев Н.С. Влияние атмосферных нагрузок на результаты спутникового мониторинга здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 методом PPP // Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25. № 3. С. 34–41. DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-3-34-41.
21. Вшивкова О.В., Маслов Е.В. Влияние ошибки моделирования тропосферной задержки на результаты высокоточного позиционирования PPP-методом // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 2. С. 21–31. DOI:10.30533/GiA-2023-009.
22. Падве В.А. Математическая обработка и анализ результатов геодезических измерений: монография. В 2 ч. Ч. 2. Синтезированные и комбинированные алгоритмы точностной МНК-оптимизации и анализа результатов измерений. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. 135 с.
23. Карпик А.П., Обиденко В.И., Косарев Н.С., Шендрик Н.К. Исследование однородности координатной основы ГСК-2011 при построении геодезической сети специального назначения // Геодезия и картография. 2021. № 10. С. 2–12. DOI:10.22389/0016-7126-2021-976-10-2-12.
24. Падве В.А., Косарев Н.С. Синтезированные варианты МНК-оптимизации геопространственных данных в геодезии, ГНСС-технологиях, метрологии и кадастре. Новосибирск: СГУГиТ, 2024. 166 с.
25. Teunissen P.J.G., Montenbruck O. (eds.) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer International Publishing AG, 2017. 1272 p.

АВТОРЫ

Косарев Николай Сергеевич
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,
факультет геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
0000-0003-1806-3651

Падве Владимир Абрамович
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра прикладной информатики и информационных систем,
факультет геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
0000-0003-3865-474X

Косарева Дарья Ивановна
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра кадастра и территориального планирования,
факультет кадастра и природопользования

Поступила 15.01.2024. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 528.3
DOI:10.30533/GiA-2024-001

CC BY

Analysis of stability of geodetic points in terrestrial and GNSS networks using technologies of synthesized version of algorithms LS-optimization of data

Nikolai S. Kosarev[1] ✉, **Vladimir A. Padve**[1], **Daria I. Kosareva**[1]

[1] Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
✉ kosarevnsk@yandex.ru

CITATION Kosarev NS, Padve VA, Kosareva DI. Analysis of stability of geodetic points in terrestrial and GNSS networks using technologies of synthesized version of algorithms LS-optimization of data. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(1): 8–20. DOI:10.30533/GiA-2024-001.

KEYWORDS stability of geodetic points, deformation, LS-optimization, synthesized version of the parametric version, regularization of the solution, pseudo-inverse matrix, matrix defect, scale accuracy index (SAI), covariance matrix, correlated arrays

ABSTRACT The problems of analyzing the stability of geodetic points in space-time are considered. The first example describes the situation of two movable benchmarks in a leveling network, the mobility of which is reliably determined. A variant of LS-optimization of correlated paired data is used. The second example illustrates a more complex geospatial situation at an object to deformation processes. This example, which uses global navigation satellite systems (GNSS) observational data, is analyzed as a loose network. In such a situation, the advantages of the synthesized version of the parametric version (SVPV) of LS-optimization of GNSS observations are manifested clearly. The central block of the hypermatrix of the SVPV coefficients is a stabilizing component that ensures the regularization of the Tikhonov solution. In addition, the body of the inverse coefficient matrix automatically calculates the elements of the regularized pseudo-inverse matrix $\mathbf{A}^+$ for the original matrix of plan $\mathbf{A}$. Using the pseudo-inverse matrix $\mathbf{A}^+$, the rank of the original matrix $\mathbf{A}$ is calculated, which is used to determine its defect d, which is used to calculate the correct value of the dimensionless scale accuracy index (SAI) of the μ^2 data. Deformation modeling for the second example required additional use of the transition from geocentric to telocentric increments. As a result, two arrays of points of the GNSS network fragment were obtained, accompanied by corresponding covariance coordinate matrices. Their analysis was carried out on these correlated arrays, which confirmed that the deformation took place exactly at the point where it was modeled.

REFERENCES

1. Duchnowski R, Wyszkowska P. Unstable Object Points during Measurements — Deformation Analysis Based on Pseudo Epoch Approach. ***Sensors***. 2022;22: 9030. DOI:10.3390/s22239030.
2. Zhou J, Shi B, Liu G, Ju S. Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station. ***PLoS ONE***. 2021;16(5): e0251281. DOI:10.1371/journal.pone.0251281.
3. Banimostafavi Z, Sharifi MA, Farzaneh S. Evaluation of unstable points detection methods in geodetic GNSS-based networks. ***Iranian Journal of Geophysics***. 2023;16(4): 175–192. DOI:10.30499/ijg.2023.350587.1441.
4. Amiri-Simkooei AR, Alaei-Tabatabaei SM, Zangeneh-Nejad F, Voosoghi B. Stability analysis of deformation-monitoring network points using simultaneous observation adjustment of two epochs. ***Journal of Surveying Engineering***. 2017;143(1): 04016020. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000195.
5. Odziemczyk W. Application of Optimization Algorithms for Identification of Reference Points in a Monitoring Network. ***Sensors***. 2021;21: 1739. DOI:10.3390/s21051739.
6. Markuze YuI, Le AC. Investigation of an algorithm for analyzing deformations of geodetic points when observing horizontal displacements of hydraulic structures. Geodesy and Cartography. 2017;78(7): 23–30. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2017-925-7-23-30.
7. Penev PD. Stability analysis of height reference points. ***Izv. Vuzov "Geodesy and aerophotosurveying"***. 2005;4: 3–16. (In Russian).
8. Wiśniewski Z, Kamiński W. Estimation and Prediction of Vertical Deformations of Random Surfaces, Applying the Total Least Squares Collocation Method. ***Sensors***. 2020; 20:3913. DOI:10.3390/s20143913.
9. Dyakov BN. Comparative analysis of the methods of Kostehel and Marczak. ***Mine Surveyor's Bulletin***. 2009;6: 43–46. (In Russian).
10. Mustafin MG, Naumov AS. Controls allowed earth deformation construction vertical openings in built-up area. ***Journal of Mining Institute***, 2012;198: 194–197. (In Russian).
11. Nguyen HV, Mustafin MG. Analysis and ways of development of methods for assessing the stability of reference benchmarks when observing earth surface sedimentation. ***Natural and technical sciences***. 2017;5(107): 89–96. (In Russian).
12. Mustafin MG, Nguyen HV. A method for assessing vertical displacements of the foundations of buildings and structures. ***Natural and technical sciences***. 2018;11(125): 240–247. (In Russian).
13. Mustafin MG, Nguyen HV. The estimation of the building's vertical shifts and construction groundworks on the basis of deformation network element analysis. ***Geodesy and Cartography***. 2019;80(3): 11–19. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2019-945-3-11-19.
14. Mustafin MG, Vasiljev GE. Estimation of deformations of free geodetic networks by repeating measurements from unfixed stations. ***Vestnik SGUGiT***. 2023;28(4): 38–48. (In Russian). DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-4-38-48.
15. Owczarz K. A review of geodetic and remote sensing methods used for detecting surface displacements caused by mining. ***IOP Conference Series: Earth and Environmental Science***. 2020;609(1): 012076. DOI:10.1088/1755-1315/609/1/012076.
16. Eteje SO. Detailed Geodetic Technique Procedures for Structural Deformation Monitoring and Analysis. ***International Journal of Scientific and Technological Research***. 2020;6(7): 7–23. DOI:10.7176/JSTR/6-07-02.
17. Shestakov NV, Gerasimov GN, Gerasimenko MD. Account of season coordinates variations of GPS/GLONASS — observation stations while researching current crustal movements. ***Geodesy and Cartography***. 2009;(9): 46–51. (In Russian).
18. Bogdanets ES, Cheryomukhina OO. Analysis of the influence of the temperature field on the altitude position of a network of GNSS base stations. ***Izv. Vuzov "Geodesy and aerophotosurveying"***. 2017;1: 17–21. (In Russian).
19. Bovshin NA. Investigating the ambient temperature dependence of EPN/IGS stations positions. ***Geodesy and Cartography***. 2022;83(3): 2–13. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2022-981-3-2-13.
20. Kalinnikov VV, Ustinov AV, Kosarev NS. Impact of atmospheric loadings on the results of GNSS monitoring of main building of Zagorskaya PSPP-2 by PPP method. ***Vestnik SGUGiT***. 2020;25(3): 34–41. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-3-34-41.
21. Vshivkova OV, Maslov EV. The effect of the tropospheric delay modeling error on the results of precise point positioning (PPP). ***Izvestia Vuzov "Geodesy and aerophotosurveying"***. 2023;67(2): 21–31. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-009.

22. Padve VA. *Matematicheskaya obrabotka i analiz rezul'tatov geodezicheskikh izmerenii* [Mathematical processing and interpretation of the results of geodetic measurements] [monogrphy]. In 2 parts. Part 2. Sintezirovanniye I kombinirovannye algoritmy tochnostnoi MNK-optimizatsii I analiza rezul'tatov izmerenij [Synthesized and combined algorithms for precision OLS optimization and analysis of measurement results]. Novosibirsk: SSUGT; 2018. 134 p. (In Russian).
23. Karpik AP, Obidenko VI, Kosarev NS, Shendrik NK. Studying the homogeneity of the coordinate base SSC-2011 at arranging a special-purpose geodetic network. *Geodesy and Cartography*. 2021;82(10): 2–12. DOI:10.22389/0016-7126-2021-976-10-2-12.
24. Padve VA, Kosarev NS. *Sintezirovanniye varianty MNK-optimizatsii geoprostranstvennykh dannykh v geodezii, GNSS-tekhnologiyakh, metrologii i kadastre* [Synthesized options for least squares optimization of geospatial data in geodesy, GNSS technologies, metrology and cadastre]. Novosibirsk: SSUGT; 2024. 166 p. (In Russian).
25. Teunissen PJG, Montenbruck O (eds.) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer International Publishing AG; 2017.1272 p.

AUTHORS

Nikolai S. Kosarev
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,
Faculty of Geodesy and Management
Ph.D. in Engineering, Associate Professor
0000-0003-1806-3651

Vladimir A. Padve
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Applied Information Science and Systems,
Faculty of Geodesy and Management
Ph.D. in Engineering, Associate Professor
0000-0003-3865-474X

Daria I. Kosareva
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Cadastre and Territorial Planning, Faculty of Cadastre and Land Use

Submitted: January 15, 2024. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 528.88:528.946:551.1/.4
DOI:10.30533/GiA-2024-002

CC BY

Зонирование воздействия вулкана Эбеко (Курильские острова) на прилегающие земли по данным материалов аэрокосмических съемок

В.А. Мелкий[1] ✉, **А.А. Верхотуров**[1], **В.В. Братков**[2]

[1] Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
[2] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ vamelkiy@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Братков В.В. Зонирование воздействия вулкана Эбеко (Курильские острова) на прилегающие земли по данным материалов аэрокосмических съемок // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 21–32. DOI:10.30533/GiA-2024-002.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА мониторинг земель, аэрокосмические исследования Земли, вулканическая опасность, геоинформационные технологии, тематическое картографирование, вулканогенные отложения

АННОТАЦИЯ Цель работы — выявление характера изменения земель, окружающих вулканическую постройку Эбеко в результате негативного воздействия характерных опасных процессов. В статье приведены данные, полученные в ходе исследования распространения вулканогенных отложений на территории, прилегающей к эруптивному центру, и картографические материалы, полученные на основе дешифрирования космических снимков и цифровой аэрофотосъемки (ЦАФС). В работе использовались материалы полевых исследований вулканогенных отложений, космические снимки, данные ЦАФС. Составление и оформление картографических материалов выполнялось с применением ГИС[1]-технологий и компьютерных методов анализа. Дешифрирование материалов космических съемок и ЦАФС, а также анализ информации об изменениях состояния вулкана Эбеко позволили выделить подзоны вулканического воздействия на земли, расположенные на склонах вулканической постройки и вблизи нее. Проверка достоверности выполнена при проведении полевых экспедиционных исследований. Результаты дешифрирования аэрокосмических снимков позволили

1 ГИС — геоинформационная система.

на основе определения пространственного распределения отложений определенной размерности выявить подзоны сильного, среднего и слабого воздействия на земли, расположенные вокруг вулканической постройки Эбеко, и составить карту вулканоопасности.

1 Введение

Ведение земельного кадастра и мониторинга земель осуществляется в соответствии с Земельным кодексом РФ. По целевому назначению земли разделены на семь категорий, которые классифицированы эмпирически с учетом сложившегося земле- и природопользования, принципов охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Статьей 67 Земельного кодекса РФ установлена необходимость осуществления государственного мониторинга земель[2], представляющего собой систему наблюдения за использованием и состоянием земель. Объектами государственного мониторинга земель являются все земли в РФ независимо от форм собственности, их целевого назначения и разрешенного использования [1], в том числе земли в зонах вулканического воздействия. Темпы использования земель человечеством в настоящее время резко возросли и требуют разработки новых научно обоснованных подходов к организации их использования в рамках концепции устойчивого развития [2].

Вулканические извержения сопровождаются множеством различных опасностей. Земли, расположенные вокруг вулканов, подвержены риску воздействия вулканогенных продуктов. Население, ведущее здесь какую-либо деятельность, должно быть осведомлено о характере возможной опасности, чтобы быть готовым к реагированию. Земли, окружающие вулканы, следует различать по степени опасности возможного воздействия на них и заносить соответствующую информацию об обременениях в зоне с особыми условиями использования территории в Единый государственный реестр недвижимости.

Объектом для исследования послужил вулкан Эбеко, деятельность которого характерна для эксплозивных вулканов. На склонах вулкана вследствие извержений скапливаются разнообразные отложения, представленные вулканогенными породами, вынесенными на поверхность в результате эксплозивной и фреатической деятельности. Перемещение по склонам конуса вулканической постройки обломков вулканогенного материала[3], разброс тефры, эмиссия и распространение газово-пепловых облаков представляют опасность различной степени для людей и строений, располагающихся на пути их движения [3–5].

Вулкан Эбеко (№ 290380 в каталоге Volcanoes of the World[4]) расположен в северо-восточной части острова Парамушир Большой Курильской гряды. Группа эруптивных конусов — Северный, Средний и Южный кратеры — локализована в объединенной привершинной впадине вдоль крупной разломной зоны северо-северо-восточного простирания. Периоды проявлений эруптивной активности на вулкане Эбеко зафиксированы и подтверждены в голоцене 20 раз[5]. Извержения, датируемые XVII–XX веками, характеризовались как небольшие или умеренные взрывы из вершинного кратера (VEI 1–2), сопровождавшиеся

2 Земельный Кодекс Российской Федерации (с изменениями на 4 августа 2023 г.) от 1 июля 2021 г. № 276-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/744100004?ysclid=lm2v5gfc3m726877926 (дата обращения: 15.11.2023).

3 Братков В.В., Заурбеков Ш.Ш., Мелкий В.А., Вазарханов И.С. Геоэкология: учебник. М.: КноРус, 2021. 282 с.

4 Siebert L., Simkin T.S., Kimberly P., Volcanoes of the World: a regional directory, gazetteer, and chronology of volcanism during the last 10,000 years, 3rd edition. Berkeley, CA: University of California Press; 2010. 551 p.

5 Ebeko (290380) // Volcanoes of the World (v. 5.1.3; 13 Oct 2023). Distributed by Smithsonian Institution, compiled by E. Venzke. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=290380 (дата обращения: 15.11.2023).

интенсивной фумарольной активностью. Фумарольная деятельность наблюдается в вершинных кратерах, на внешних склонах конуса и в боковых кратерах Незаметном и Неожиданном, расположенных юго-восточнее привершинной впадины. Извержение, во время которого проводились полевые экспедиционные исследования, охватывает период с июня 2022 по ноябрь 2023 года и представляет повышение термальной активности и периодические выбросы эруптивной колонны, сопровождаемые распространением шлейфов пепла.

2 Материалы и методы

В основу настоящего исследования положен анализ космических снимков, полученных со спутников семейства Landsat, Sentinel-2 и Канопус-В. Источниками материалов послужили интернет-ресурсы US Geological Survey, а также снимки, предоставленные Научным центром оперативного мониторинга Земли, и др.[6]

На район исследования отбирались космические снимки со спутников Landsat с минимальной площадью снежного покрова и низким покрытием облаками (табл. 1).

Дополнительным источником послужили снимки со спутников Sentinel-2, Канопус-В (табл. 2), а также материалы цифровой аэрофотосъемки.

Таблица 1
Параметры сцен Landsat района вулкана Эбеко

Table 1
Parameters of the Landsat scenes of the Ebeko Volcano area

Спутник / сканер	Идентификатор сцены	Разрешение, м	Дата съемки	Облачность района интереса, %
Landsat 1 / MSS	108025	80	08.09.1972	55,33
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	20.09.2000	11,21
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	21.07.2001	0,18
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	29.09.2003	6,40
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	30.08.2004	11,70
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	08.09.2007	10,22
Landsat 5 / TM	100025	30	03.07.2009	0,03
Landsat 5 / TM	100025	30	25.07.2009	0,00
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	02.08.2011	0,00
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	05.09.2012	0,18
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	23.08.2013	0,00
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	11.09.2014	0,00
Landsat 7 / ETM+	100025	15–30	13.08.2015	1,53
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	06.07.2016	0,00
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	22.07.2016	7,16
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	14.09.2018	1,04
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	17.07.2020	10,82
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	05.08.2021	23,87
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	09.09.2022	46,32
Landsat 8 / OLI	100025	15–30	26.07.2023	55,33

6 Landsat Missions // United States Geological Survey (USGS). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions (дата обращения: 01.11.2023); Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ntsomz.ru/o-tsentre/ (дата обращения: 15.11.2023).

Таблица 2
Параметры сцен Sentinel-2 и Канопус-В района вулкана Эбеко

Table 2
Parameters of the Sentinel-2 and Kanopus-V scenes of the Ebeko Volcano area

Спутник / сканер	Идентификатор сцены	Разрешение, м	Дата съемки
Sentinel-2 / MSI	003559	10–60	09.10.2018
Sentinel-2 / MSI	004639	10–60	05.06.2018
Канопус-В	32768_32767	2,5–12	14.06.2023

Методологической базой для выявления на снимках вулканогенных отложений, накапливающихся в результате определенных процессов, являются теоретические и методические работы ученых, изучавших эксплозивную деятельность вулкана Эбеко[7] [6, 7]. При дешифрировании спутниковых изображений и дальнейшем геоинформационном моделировании применялись хорошо зарекомендовавшие себя методики в области дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли [8–12].

Трансформация растительного покрова изучалась посредством анализа временного ряда нормализованного относительного индекса растительности (*англ.* — «Normalized Difference Vegetation Index», NDVI). Предварительно исходные данные подверглись процедуре атмосферной коррекции.

3 Результаты и обсуждение

3.1 Вулканическая деятельность Эбеко

Фундамент субконтинентального или континентального типа, как правило, имеет различную проницаемость земной коры, сложен горными породами известково-щелочных серий. Широкий ряд магматитов от базальтов до риолитов, где бóльшую часть занимают андезиты[8], обеспечивает значительное разнообразие проявлений вулканической активности[9]. Для вулканов островных дуг, где промежуточные магматические очаги расположены между коровыми блоками[10], характерны проявления вулканической деятельности эксплозивно-фреатического подтипа.

Эксплозивная деятельность характеризуется различной интенсивностью [13], которая определяется индексом вулканической эксплозивности (*англ.* — «Volcanic Explosivity Index», VEI)[11]. Такого рода деятельность хорошо изучена во время Большого трещинного Толбачинского извержения [14], при котором наблюдались проявления с VEI = 4. Эксплозивные выбросы вулканов уверенно распознаются даже на космических снимках с низким разрешением

7 Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.; Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 3. С. 69–81; Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские острова): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 2 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 4. С. 24–41.

8 Сергеев К.Ф. Тектоника Курильской островной системы. М.: Наука, 1976. 240 с.

9 Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.

10 Melkiy V.A., Osipenko A.B., Rostovtseva Yu.V. A Model of the Earth's Crust Evolution in the Pacific-Type Island Arcs Based on Study of the Fe-Ti-Oxides. Abstracts European Union of Geosciences. EUG 9. Strasbourg, France, 23–27 March 1997. Abstract Supplement. No. 1. Strasbourg: Terra Nova 9, 1997. 52/1P14. P. 475.

11 King H.M. Volcanic Explosivity // Geology.com. Geoscience News and Information; 2008 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/ (дата обращения: 15.11.2023).

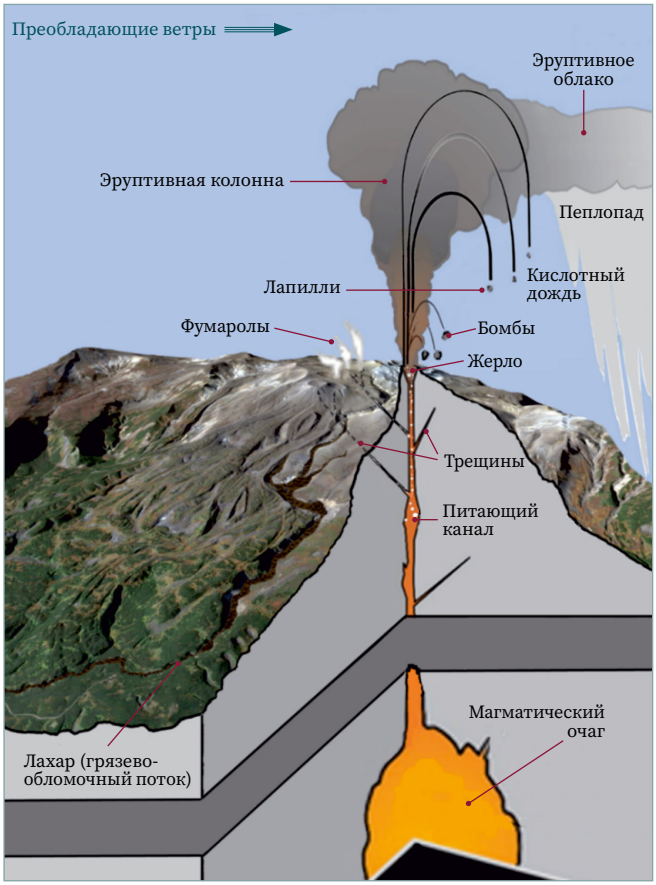


Рис. 1
Вулканическая деятельность Эбеко и связанные с ней опасности

Fig. 1
Ebeko volcanic activity and related hazards



Рис. 2
Эруптивная газо-тефровая колонна, выброшенная вулканом Эбеко 8 августа 2023 года. (Фото А.А. Верхотурова и В.В. Браткова)

Fig. 2
An eruptive tefra-gas column ejected by the Ebeko volcano on August 08, 2023. (Photo by A.A. Verkhoturov and V.V. Bratkov)

изображений, полученных с метеорологических геостационарных спутников. Использование материалов с космических аппаратов Meteosat, NOAA, JMA не единожды позволяло фиксировать эксплозии вулканов в удаленных и малонаселенных районах. Совершенно очевидно, что использование такого рода информации имеет большое значение при осуществлении мониторинга вулканоопасности.

Во время взрывов происходят эксплозивные выбросы эруптивных колонн. Газово-тефровые колонны выбрасываются над жерлом вулкана на высоту до нескольких километров (рис. 1[12]). Крупные обломки выпадают из эруптивной колонны вблизи от центра взрыва. Более мелкие частицы вулканического пепла, выброшенные на большую высоту, могут переноситься воздушными потоками на сотни и тысячи километров от вулкана, покрывая при выпадении огромные площади земель. Основную опасность при эксплозивных извержениях представляют обломки тефры различной размерности. Извержения с VEI = 1,2 представляют опасность только в нескольких километрах от вулкана, более крупные извержения могут представлять опасность на удалении в десятки километров[13].

При взрывах 5–6 и 8–9 августа 2023 года выброшены газо-тефровые колонны, которые поднялись на высоту 3,5 км над уровнем моря (рис. 2) и распространялись в южном и юго-восточном направлениях на 10–12 км. Тефра, выброшенная в результате взрывного дробления магматического материала андезитового состава из жерла, представлена бомбами (до 0,5 м), лапилли и пепловым материалом размером до 2 мм.

Облака пепла, унесенные ветром, могут представлять опасность для самолетов на удалении в несколько тысяч километров от места извержения. Вулканический пепел при массовом выпадении представляет опасность для дорожного движения, линий электропередач, а крупные пепловые частицы и лапилли повреждают промышленное

12 Рисунок заимствован из Myers B., Brantley S.R., Stauffer P., Hendley J.W.II. What are volcano hazards? (revised March 2008): U.S. Geological Survey Fact Sheet 002–97, 1997. 2 p. DOI:10.3133/fs00297 (https://pubs.usgs.gov/publication/fs00297); Stovall W.K., Driedger C.L., Westby E.G., Faust L.M. (eds). Hendley J.W.II. Living With Volcano Hazards: U.S. Geological Survey. Fact Sheet 2018–3075, 2016. 6 p. DOI:10.3133/fs20183075 (с изменениями).

13 Waythomas C.F., Power J.A., Richter D.H., McGimsey R.G. Preliminary volcano-hazard assessment for Akutan Volcano east-central Aleutian Islands, Alaska // U.S. Geological Survey Open-File Report 98–360. 1998. DOI:10.3133/ofr98360.

оборудование, лесные и сельскохозяйственные культуры, затрудняют течение воды в естественных и искусственных водотоках. Зерна тефры различного размера и химического состава могут оказывать негативное воздействие на объекты недвижимости здоровье людей и животных.

На склонах вулкана Эбеко в процессе извержений 2018–2020 и 2022–2023 годов скопилось относительно небольшое количество пепла [15, 16]. Выпавший при извержениях пирокластический материал, попадая в русла рек, а также расплавляя снежный или ледовый покров, насыщается водой. Разжиженная пирокластика периодически устремляется вниз по долинам, образуя лахары, которые могут опустошить земли на расстоянии до 100 км и более вниз по течению от некоторых вулканов. Большинство лахаров быстро перемещается вниз по склонам вулкана в виде русловых потоков по долинам рек, стекающих с вулканической постройки. Скорость течения в некоторых лахарах может достигать 20–40 м/с, а концентрация твердого стока >750 тыс. частей на 1 млн не является редкостью[14] [17]. Так, водно-грязево-обломочная масса лахаров на склонах вулкана Эбеко 4 сентября 2017 года была представлена механической смесью плотностью 1100–1600 кг/м^3. В движение вовлекались песок, гравий, галечник и валуны размером до 2 м в диаметре. Объем отложений в зоне аккумуляции на р. Кузьминке составил 63 тыс. м^3 и р. Матросской — 110 тыс. м^3 [18].

3.2 Зонирование земель по степени воздействия вулкана Эбеко

Для дешифрирования космических снимков с целью выявления состояния растительного покрова использовался программный комплекс QGIS, с помощью которого выделены контуры поверхностей, покрытых различными отложениями. Максимально прогнозируемая мощность пеплопадов в Северо-Курильске даже в случае сильного извержения вулкана составит менее 5 см [6]. Растительный покров в привершинной части склонов вулкана Эбеко испытывает постоянное негативное воздействие пеплопадов и кислотных осадков. В этой подзоне наблюдается частичное или полное отсутствие растительности, о чем свидетельствуют низкие значения NDVI [19, 20]. Анализ космических снимков позволил выделить районы, где почвенно-растительный покров испытывает накопительный негативный эффект от частых пеплопадов (NDVI < 0,4).

На составленной карте зонирования вулканоопасности выделены подзоны сильного, умеренного и слабого воздействия на земли, расположенные на склонах вулкана и его окрестностях. Сильное воздействие на людей и строения, расположенные на склонах вулкана Эбеко, могут оказывать сход лахаров и выпадение из эруптивной колонны вулканических бомб размером более 2 см. В подзоне среднего воздействия возможна хозяйственная деятельность исключительно при соблюдении рекомендаций и принятии мер, позволяющих обеспечить безопасную эксплуатацию зданий и машин. Основными поражающими факторами в этой подзоне являются лахары, выходы из русловых врезов водно-грязево-обломочных потоков, а также прилет бомб и резургентного материала щебеночного размера. В подзоне слабой опасности угрозу безопасности людей и сооружений может представлять только воздействие лахаров в случае очень сильных извержений, а также прохождения водно-грязевых потоков.

Анализ пространственного распространения и интенсивности вулканических процессов позволил выполнить зонирование территории с выделением подзон (рис. 3):

- сильного воздействия, к которой относится территория в радиусе 1 км вокруг активного эруптивного центра вулкана Эбеко, где могут выпадать наибольший слой тефры и обломки более 0,2 м в диаметре, а также

14 Schmincke H.-U. Volcanism. Heidelberg: Springer-Verlag; 2004. 324 p.

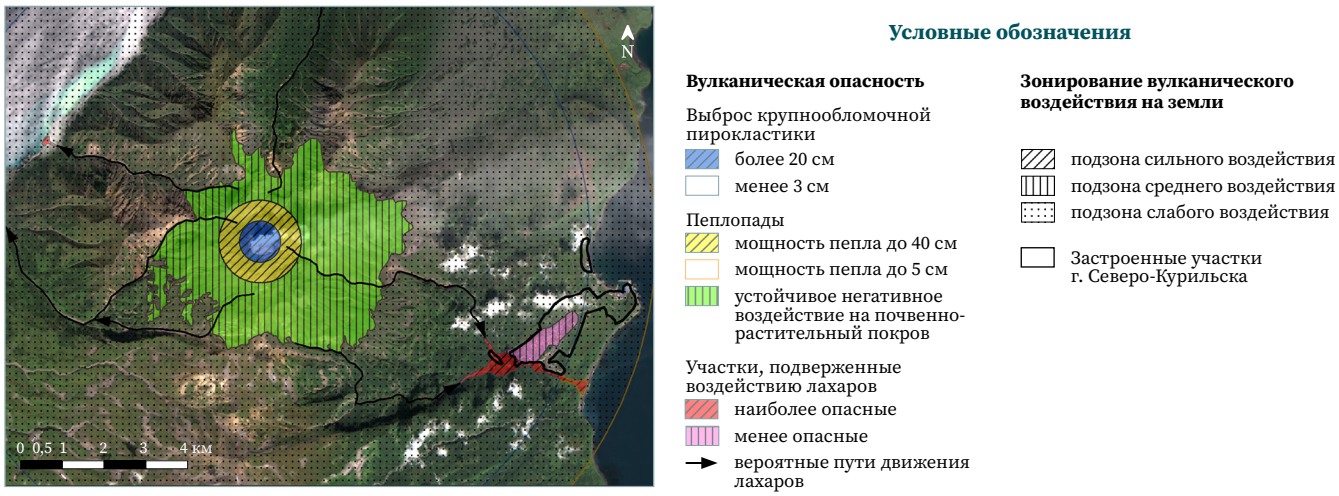


Рис. 3
Карта зонирования земель в зависимости от вулканических процессов Эбеко

Fig. 3
Land zoning map by the effects of Ebeko volcanic processes

проходят пути схода лахаров и располагаются наиболее вероятные места аккумуляции материала;

– среднего воздействия, к которой отнесены участки с меньшей вероятностью прохождения лахаров и районы на склонах, где почвенно-растительный покров испытывает накопительный негативный эффект от регулярных пеплопадов;
– слабого воздействия, которая включает районы, не вошедшие в вышеотмеченные подзоны, в радиусе до 10 км от кратера вулкана Эбеко.

4 Выводы

Выявлены подзоны сильного, среднего и слабого воздействия на земли, расположенные вокруг вулканической постройки Эбеко, и составлена карта зонирования территории. Карта зонирования иллюстрирует потенциальные вулканические воздействия на земли, окружающие вулканический эруптивный центр: выпадение крупных обломков при обрушении эруптивной колонны, распространение вулканических газов. На большее расстояние выносятся главным образом лахары, сбегающие по долинам рек, расположенных на склонах вулканической постройки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке гранта Правительства Сахалинской области в форме субсидии молодым ученым на реализацию научно-исследовательского проекта (Постановление ПСО № 486 от 27.10.2022), выданного Министерством цифрового и технологического развития Сахалинской области.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Креймер М.А., Трубина Л.К. Некоторые аспекты интеграции кадастра и геоэкологии в управлении землепользованием // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2009. № 5. С. 26–29.
2. Карпик А.П., Жарников В.Б. О концепциях и закономерностях развития землеустройства, кадастра и мониторинга земель // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 2019. Т. 24. № 3. С. 141–157. DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157.
3. Belfiore O.R., D'Allestro P., Parente C. GIS Application To Map Volcanic Risk In Vesuvian Area // IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics. 2014. Vol. 2. P. 40–45.
4. Wilson G., Wilson T., Deligne N., et al. Framework for developing volcanic fragility and vulnerability functions for critical infrastructure // Journal of Applied Volcanology. 2017. Vol. 6. No. 14. DOI:10.1186/s13617-017-0065-6/.
5. Лаверов Н.П., Добрецов Н.Л., Богатиков О.А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2005. 604 с.

6. Belousov A., Belousova M., Auer A., et al. Mechanism of the historical and the ongoing Vulcanian eruptions of Ebeko volcano, Northern Kuriles // Bulletin of Volcanology. 2021. Vol. 83. No. 4. DOI:10.1007/s00445-020-01426-z.
7. Kotenko T.A., Smirnov S.Z., Timina T.Y. The 2022 Activity of Ebeko Volcano: The Mechanism and Ejecta // Journal of Volcanology and Seismology. 2023. Vol. 17. P. 259–277. DOI:10.1134/S0742046323700264/.
8. Хренов А.П. Исследование активных вулканов методами дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 166–178.
9. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Космический метод прогноза землетрясений на основе анализа динамики систем линеаментов // Исследования Земли из космоса. 2005. № 3. С. 37–52.
10. Хренов А.П., Ярмолюк В.В. Мониторинг природных катастроф — извержений и землетрясений — методами дистанционного зондирования и минимизация их последствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 246–256.
11. Хатиб А., Малинников В.А. Интеграция результатов независимых классификаций разновременных материалов космической съемки для повышения достоверности выявления изменения объектов земной поверхности // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 2. С. 175–183. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-2-175-183.
12. Мелкий В.А., Верхотуров А.А. Технология комплексного мониторинга состояния земель и динамики природных процессов в Сахалинской области // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2017. Т. 23. С. 178–194. DOI:10.24057/2414-9179-2017-3-23-178-194.
13. Newhall C.G., Self S., Robock A. Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts // Geosphere. 2018. Vol. 14. P. 572–603.
14. Gordeev E.I., Muravyev Ya.D., Samoilenko S.B., et al. First results from the 2012–2013 Tolbachik fissure Eruption // Bulletin of the Volcanological Society of Japan. 2013. Vol. 58. No. 2. P. 1–8.
15. Дегтерев А.В., Чибисова М.В. Вулканическая активность на Курильских островах в 2019 г. // Геосистемы переходных зон. 2020. Т. 4. № 1. С. 93–102. DOI:10.30730/2541-8912.2020.4.1.093-102.
16. Дегтерев А.В., Чибисова М.В. Активизация вулкана Эбеко в мае — июле 2020 г. (о. Парамушир, Северные Курилы) // Геосистемы переходных зон. 2020. Т. 4. № 4. С. 500–505. DOI:10.30730/gtrz.2020.4.4.500-505.
17. Blong R.J., Grasso P., Jenkins S.F., et al. Estimating building vulnerability to volcanic ash fall for insurance and other purposes. Journal of Applied Volcanology, 2017. 6(2). DOI:10.1186/s13617-017-0054-9.
18. Котенко Т.А., Котенко Л.В. Реальность угрозы схода лахаров на г. Северо-Курильск на примере селей 4 сентября 2017 г. в бассейнах рек Кузьминка и Матросская (о. Парамушир) // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы XXI региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский, 2018. С. 56–59.
19. Верхотуров А.А., Мелкий В.А., Лобищева И.И. Использование космических снимков среднего разрешения для оценки воздействия вулканических эксплозий на экосистемы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 4. № 1. С. 17–24. DOI:10.33764/2618-981X-2020-4-1-3-11.
20. Верхотуров А.А. Оценка пространственно-временной трансформации острова Матуа (Курильский архипелаг), обусловленной активностью вулкана Пик Сарычева // Геодезия и картография. 2023. № 6. С. 42–49. DOI:10.22389/0016-7126-2023-996-6-42-49.

АВТОРЫ **Мелкий Вячеслав Анатольевич**
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН),
Южно-Сахалинск, Россия
лаборатория вулканологии и вулканоопасности
д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник
0000-0001-8919-8508

Верхотуров Алексей Александрович
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, (ИМГиГ ДВО РАН), Южно-Сахалинск, Россия
лаборатория региональной геологии и геохимии
канд. техн. наук, старший научный сотрудник
0000-0002-3826-7339

Братков Виталий Викторович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра географии, картографический факультет
д-р геогр. наук
0000-0001-5072-1859

Поступила 29.12.2023. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 528.8: 911.5: 551.58
DOI:10.30533/GiA-2024-002

CC BY

Zoning of the impact of the Ebeko volcano (Kuril Islands) on adjacent lands by the materials of aerospace surveys

Vyacheslav A. Melkiy[1] ✉, **Alexey A. Verkhoturov**[1], **Vitaliy V. Bratkov**[2]

[1] Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
[2] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ vamelkiy@mail.ru

CITATION Melkiy VA, Verkhoturov AA, Bratkov VV. Zoning of the impact of the Ebeko volcano (Kuril Islands) on adjacent lands by the materials of aerospace surveys. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(1): 21–32. DOI:10.30533/GiA-2024-002.

KEYWORDS land monitoring, aerospace exploration of the Earth, volcanic hazard, geoinformation technologies, thematic mapping, volcanic deposits

ABSTRACT The goal of the study is to identify nature of land changes as a result activity of the Ebeko volcano. The article presents data from a study of the distribution of volcanic sedimentations. Field studies, satellite images and digital aerial photography data were used. The cartographic materials were created and analyzed using GIS technology. The analysis made it possible to identify subzones with volcanic impact on land. Confirmation of these conclusions was made during field expeditions. Lahar flows and large volcanic bombs of block and rubble size fall and rubble can have a significant impact on people and buildings. In the subzone of moderate impact, the main destructive factors are lahars emerging from channel incisions, as well as falling crushed stone bombs. In the zone of weak impact in the event of very strong eruptions is posed by coarse tephra, as well as mudflows. The results of decoding and interpretation of aerospace images made it possible, based on determining the spatial distribution of sediments of a certain dimension, to identify subzones of strong, medium and weak impact on the lands, located around the Ebeko volcanic edifice, and to draw up a volcanic hazard map.

ACKNOWLEDGEMENTS The research was performed with the support of a grant from the Government of the Sakhalin Region in the form of a grant to young scientists for the implementation of a research project (Resolution No. 486 dated 10/27/2022), issued by the Ministry of Digital and Technological Development of the Sakhalin Region.

REFERENCES

1. Kreymer MA, Trubina LK. Nekotorye aspekty integratsii kadastra I geoe'ko-logii v upravlenii zemlepol'zovaniem [Some aspects of the integration of cadastre and geoecology in land use management]. *Izvestiya Vuzov "Geodesy and aerophotosurveying"*, 2009; 53(5): 26–29. (In Russian).
2. Karpik AP, Zharnikov VB. About concepts and tendencies of development of land management, cadastre and land monitoring. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*. 2019; 24(3): 141–157. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2019-24-3-141-157.
3. Belfiore O.R., D'Allestro P, Parente C. GIS Application To Map Volcanic Risk In Vesuvian Area. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics.* 2014;2: 40–45.
4. Wilson G, Wilson T, Deligne N, et al. Framework for developing volcanic fragility and vulnerability functions for critical infrastructure. *Journal of Applied Volcanology*. 2017;6: 14. DOI:10.1186/s13617-017-0065-6.
5. Laverov NP, Dobretsov NL, Bogatikov OA, et al. Laverov NP (ed.) *Noveyyshiy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii* [Modern and Holocene Volcanism in Russia]. Moscow: Nauka; 2005. 604 p. (In Russian).
6. Belousov A, Belousova M, Auer A., et al. Mechanism of the historical and the ongoing Vulcanian eruptions of Ebeko volcano, Northern Kuriles. *Bulletin of Volcanology*. 2021;83: 4. DOI:10.1007/s00445-020-01426-z.
7. Kotenko TA, Smirnov SZ, Timina TY. The 2022 Activity of Ebeko Volcano: The Mechanism and Ejecta. *Journal of Volcanology and Seismology*. 2023;17: 259–277. DOI:0.1134/S0742046323700264.
8. Khrenov AP. Active volcanoes monitoring by remote sensing methods. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2011;8(2): 166–178. (In Russian).
9. Bondur VG, Zverev AT. Kosmicheskiy metod prognoza zemletryaseniy na osnove analiza dinamiki sistem lineamentov [A method of earthquake forecast based on the lineament dynamic analysis using satellite imagery]. *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*. 2005;3: 37–52. (In Russian).
10. Khrenov AP, Yarmolyuk VV. Monitoring prirodnykh katastrof — izverzheniy I zemletryaseniy — metodami distantsionnogo zondirovaniya I minimizatsiya ikh posledstviy [Remote sensing for hazardous eruption and earthquake monitoring and reducing the risks of environmental impact]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012;9(3): 246–256. (In Russian).
11. Khatib A, Malinnikov VA. Collecting results of independent classifications of space survey multi-temporal materials to improve the reliability of detecting changes of the Earth's surface objects. *Izvestiya vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"*. 2021;65(2): 175–183. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-2-175-183.
12. Melkiy VA, Verkhoturov AA. Geoinformation and cartographic support for monitoring natural and technogenic processes based on atlas mapping in the Sakhalin region. *Proceedings of the International conference "InterCarto. InterGIS"*. 2017;23: 178–194. (In Russian). DOI:10.24057/2414-9179-2017-3-23-178-194.
13. Newhall CG, Self S, Robock A. Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. *Geosphere*. 2018;14: 572–603.
14. Gordeev EI, Muravyev YaD, Samoilenko SB, et al. First results from the 2012–2013 Tolbachik fissure Eruption. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*. 2013;58(2): 1–8
15. Degterev AV, Chibisova MV. The volcanic activity at the Kuril Islands in 2019. *Geosystems of Transition Zones*. 2020;4(1): 93–102. (In Russian). DOI:10.30730/2541-8912.2020.4.1.093-102.
16. Degterev AV, Chibisova MV. Activation of the Ebeko volcano in May — July, 2020 (Paramushir Island, Northern Kuril Islands). *Geosystems of Transition Zones*. 2020;4(4): 500–505. (In Russian). DOI:10.30730/gtrz.2020.4.4.500-505.
17. Blong RJ, Grasso P, Jenkins SF, et al. Estimating building vulnerability to volcanic ash fall for insurance and other purposes. *Journal of Applied Volcanology*. 2017;6: 2. DOI:https://doi.org/10.1186/s13617-017-0054-9/.
18. Kotenko TA, Kotenko LV. Real'nost' ugrozy skhoda lakharov na g. Severo-Kuril'sk na primere seley 4 sentyabrya 2017 g. v basseynakh rek Kuz'minka i Matrosskaya (o. Paramushir) [The reality of the threat of lahars descending on the city of Severo-Kurilsk using the example of mudflows on September 4, 2017 in the basins of the Kuzminka and Matrosskaya rivers (Paramushir Island)]. *Volcanism and related processes: Proceedings of the XXI regional*

scientific conference, dedicated on the Volcanologist's Day, March 29–30, 2018. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2018: 56–59, (In Russian). kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2018/art13.pdf
19. Verkhoturov AA, Melkiy VA, Lobishcheva II. Using medium-resolution satellite images to assess impact of volcanic explosions on ecosystems. *Interexpo Geo-Siberia*. 2020;4(1): 3–11. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2020-4-1-3-11.
20. Verkhoturov AA. Assessing spatial and temporal transformation of Matua Island territory caused by the activity of Sarychev Peak volcano. *Geodesy and cartography*. 2023;84(6): 42–49. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-996-6-42-49.

AUTHORS

Vyacheslav A. Melkiy
Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
Laboratory of Volcanology and Volcano Hazard
Dr. Sci. (Engineering)
0000-0001-8919-8508

Alexey A. Verkhoturov
Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
Laboratory of Regional Geology and Geochemistry
Ph.D. in Engineering
0000-0002-3826-7339

Vitaliy V. Bratkov
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geography, Faculty of Cartography
Dr. Sci. (Geography)
0000-0001-5072-1859

Submitted: December 29, 2023. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 528.9:004
DOI:10.30533/GiA-2024-003

CC BY

Использование больших языковых моделей в геоинформационных технологиях

А.А. Колесников[1]

[1] Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия
alexeykw@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Колесников А.А. Использование больших языковых моделей в геоинформационных технологиях // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 33–43. DOI:10.30533/GiA-2024-003.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА геоинформационные технологии, большие языковые модели, LLM, искусственный интеллект, автоматизация, Chat GPT

АННОТАЦИЯ Одним из наиболее проработанных и простых в использовании направлений генеративных моделей с точки зрения оперирования функциональностью для конечных пользователей являются большие языковые модели, позволяющие выполнять различные операции с текстовыми данными. Поскольку современная цифровая картография максимально быстро включает в свой инструментарий последние достижения в области информационных технологий, представляется актуальным рассмотреть основные сферы использования больших языковых моделей применительно к типовым задачам обработки пространственных данных в виде описания сводных показателей атрибутивных значений, формирования элементов географического описания, получения последовательностей выполнения определенных задач в геоинформационных системах, построения запросов к данным на языке SQL, написания фрагментов программного кода отдельных скриптов и модулей для ГИС, генерации картографических изображений по описанию. На основе результатов проведенных экспериментов сделан вывод о том, что большинство перечисленных базовых задач хорошо автоматизируются с помощью больших языковых моделей, но с учетом необходимости проверки и корректировки результатов специалистами в области картографии и геоинформатики.

1 Введение

Одним из самых популярных направлений в информационных технологиях, а также в смежных областях в последние несколько лет стало использование генеративного искусственного интеллекта (*англ.* — «Generative Artificial Intelligence», GenAI, генеративный искусственный интеллект). Данный термин обозначает один из элементов области искусственного интеллекта (ИИ), который создает новую информацию, базируясь на аналогичных образцах из обучающего набора. Этот процесс реализуется на основе генеративных моделей, которые создаются путем обучения нейронных сетей шаблонам, структурам и функциям согласно заданным входным данным. Полученные модели в настоящее время используются преимущественно для создания текста, программного кода, музыки и изображений, которые с разной степенью успешности имитируют созданные человеком произведения.

Использование генеративного ИИ начинается с формирования запроса (в форме текста, изображения, видео, рисунка, музыкальных нот или любого другого ввода, который может обработать система). В результате обработки запроса алгоритмы ИИ возвращают новую информацию в виде эссе, описания последовательности действий для решения проблемы или мультимедийных данных. Инновации в области мультимодельного генеративного ИИ позволяют создавать информацию на основе нескольких типов мультимедийных данных одновременно, например в виде изображений из текстового описания, или, наоборот, формировать текстовое описание фотографий.

Благодаря возможности гибкой настройки выдачи ответа на запрос без необходимости знания принципов программирования и генерации большого числа образцов результаты могут быть использованы при формировании новых идей или решений, что делает их полезными для творческих задач или для решения проблем в случаях, когда традиционные методы ограничены. Генеративный ИИ может применяться в целях создания различной информации. Среди возможных вариантов его использования можно выделить чат-боты для обслуживания клиентов и технической поддержки, имитацию людей на фотографиях или видеороликах, улучшение дубляжа фильмов и образовательной информации на разных языках, ускорение написания ответов при электронном документообороте, представление сложной для восприятия информации в виде связного повествования, создание фотоизображений в определенном стиле, улучшение качества фото- и видеоматериалов, разработку новых лекарственных средств, проектирование физических объектов, оптимизацию конструкции новых чипов, написание музыки в определенном стиле или тоне.

Одним из наиболее проработанных и простых в использовании (с точки зрения развертывания технических средств и оперирования функциональностью для конечных пользователей) направлений генеративных моделей являются большие языковые модели (*англ.* — «Large Language Model», LLM), позволяющие выполнять различные операции с текстовыми данными [1].

Поскольку современные картография и геоинформатика максимально быстро включают в свой инструментарий последние достижения в области информационных технологий [2, 3], представляется актуальным рассмотреть основные направления использования LLM применительно к типовым задачам обработки пространственных данных и создания картографических произведений с целью их автоматизации.

В работе рассматриваются общие принципы построения и функционирования LLM и выделяются категории задачцифровой картографии, в решении которых они могут применяться.

2 Материалы и методы

Чат-бот Элиза, созданный Джозефом Вайценбаумом в 1960-х годах, был одним из первых примеров генеративного ИИ. Работа ранних реализаций жестко ограничивалась небольшим словарным запасом, отсутствием контекста, чрезмерной зависимостью от шаблонов, сложностью настройки и расширения.

Дальнейшее развитие генеративный ИИ получил после 2010 года, когда достижения в области использования нейронных сетей и глубокого обучения позволили автоматически анализировать существующий текст, классифицировать элементы изображения и расшифровывать аудиозаписи. Однако только с появлением специализированных архитектур нейронных сетей в виде генеративно-состязательных сетей (*англ.* — «Generative adversarial networks», GAN) генеративный ИИ смог создавать убедительные изображения, видео- и аудиоматериалы. Ян Гудфеллоу представил метод глубокого обучения GAN в 2014 году как новый подход к организации конкурирующих нейронных сетей для генерации и последующей оценки вариаций информации. С тех пор прогресс в других методах и архитектурах нейронных сетей помог расширить возможности генеративного ИИ, используя вариационные автоэнкодеры (*англ.* — «variational autoencoder»), длинную кратковременную память (*англ.* — «long short-term memory»), трансформеры (*англ.* — «transformers»), диффузионные модели (*англ.* — «diffusion models») и поля нейронного излучения (*англ.* — «neural radiance fields»).

Одна из основных разработок, которая сыграла решающую роль в распространении LLM, — трансформеры, представляющие собой тип архитектуры нейронной сети, который позволяет обучать все более крупные модели без необходимости предварительной разметки всех данных. Таким образом, стало возможным обучение новых моделей на миллиардах страниц текста, что позволило получать более точные и подробные ответы на запросы. Кроме того, в результате использования этой архитектуры появилась новая функциональность — «внимание» (*англ.* — «attention»), которая позволяет LLM отслеживать связи между словами на страницах, в главах и книгах, а не только в отдельных предложениях, как ранее. Данную функциональность можно перенести на отслеживание связей различной длины в задачах анализа кода, химических веществ и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Ранние версии LLM требовали использования специальных инструментов, написания программного кода или отправки данных через API[1]. Текущие реализации используют удобный пользовательский интерфейс, позволяющий описывать запросы простым языком, а также, после первоначального ответа, дают возможность настроить результаты, откорректировав стиль, тон и другие элементы, которые могут улучшить сгенерированный текст с учетом контекста.

Генеративные модели сочетают в себе различные алгоритмы, а также методы представления и обработки данных. Для генерации текста используются различные методы обработки естественного языка, которые преобразуют исходный неструктурированный текст в предложения, части речи, объекты и действия в виде векторов с использованием нескольких методов кодирования.

Одними из наиболее известных на сегодняшний день генеративными моделями для работы с текстом являются ChatGPT, Bard, Dall-E, Jasper, AI-Writer, Lex, GigaChat, YandexGPT.

ChatGPT представляет собой чат-бот на основе реализации компании OpenAI, которая предоставила возможность взаимодействия и точной настройки текстовых ответов через интерфейс чата с интерактивной обратной связью. ChatGPT включает в свои результаты историю разговора с пользователем, имитируя реальный диалог.

---

1 Англ. — «Application programming interface», программный интерфейс приложения — набор правил, определяющий обмен информацией приложениями.

Google Bard также является чат-ботом на основе модели PaLM 2 для обработки языка, последовательностей ДНК и других типов данных.

Dall-E, обученный на большом наборе изображений и связанных с ними текстовых описаниях, является примером мультимодального варианта генеративной модели и позволяет пользователям создавать изображения на основе текстовых запросов, в том числе с использованием стилей [4].

При работе с текущими вариантами генеративного ИИ необходимо учитывать такие важные факторы, как точность созданной информации и предвзятость результатов [5, 6].

С точки зрения технической реализации создание генеративной модели начинается с выбора модели представления обрабатываемой и генерируемой информации. Например, первым шагом разработки LLM является поиск способа представления слов в виде векторов, характеризующих сходство между словами, часто используемыми в одном предложении или означающими схожие вещи. Обучение генеративной модели включает в себя настройку параметров модели для различных вариантов использования, а затем точную настройку результатов на заданном наборе обучающих данных. Например, чат-бот обучается на парах реальных вопросов и полученных на них ответов.

В области картографии и геоинформатики исследования по использованию LLM только появляются (большинство работ датируется 2023 годом) [7].

В работе [8] авторы оценивают способность GPT-4 к «пониманию» фактических географических знаний (на примере мировой географии) и его способность использовать эти знания для дальнейших рассуждений, таких как геопространственный анализ, управление цепочками поставок и реагирование на стихийные бедствия. Авторами разработана и проведена серия разнообразных экспериментов в виде текстовых запросов начиная от фактических задач, таких как оценка местоположения, расстояния и высоты, до более сложных вопросов, таких как создание контуров стран и туристических сетей, поиск маршрутов в ограничивающих условиях и анализ цепочки поставок.

В результате было выявлено, что GPT-4 обладает хорошими возможностями для решения описательных географических задач и получения базовой статистики, ошибки увеличиваются по мере возрастания сложности запросов, когда искомая информация, возможно, не использовалась напрямую во время обучения (например, координаты контуров континентов и стран или точное положение и конфигурация маршрутов общественного транспорта).

Аналогичный подход на основе сравнения результатов запросов использовался для исследования возможностей ChatGPT в контексте экзамена по геоинформационным системам (ГИС) на основе учебника «GIS Fundamentals»[2] и дополнительных материалов [9]. Авторы проводили оценку с использованием двух моделей: GPT-3.5 и GPT-4, чтобы понять, приводит ли прогресс в LLM к более эффективным ответам на вопросы, связанным с областью использования пространственных данных. По результатам эксперимента был сделан вывод, что оба варианта GPT могут пройти сбалансированное испытание по тематике ГИС, набрав 63,3% и 88,3% соответственно. На сложные вопросы, требующие вычислений, обе модели давали неверные ответы. В то же время моделям предоставлялись только текстовые запросы, которые не отражают в полной мере реальную пространственную грамотность, или экзаменационные вопросы по ГИС, поскольку в вопросах часто используются изображения, диаграммы, векторные слои, а эти данные не могут быть обработаны моделью ChatGPT.

Авторы [10] разработали прототип системы под названием «LLM-Geo» с использованием API GPT-4, чтобы продемонстрировать, как выглядит автономная ГИС и как она работает без вмешательства человека, и сформулировали идею, что автономные ГИС должны достичь пяти автономных целей — самогенерации, самоорганизации, самопроверки, самоисполняемости и саморазвития.

2 Bolstad P., Manson S. GIS Fundamentals. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gisfundamentals.org/ (дата обращения: 30.10.2023).

Также отмечается важная особенность: в отличие от многих автономных агентов для недетерминированных задач, у которых нет строгих стандартов для их оценки, таких как написание статей, ГИС-приложения требуют количественных вычислений и анализа пространственных данных для получения корректных ответов.

LLM-Geo получает задачи (пространственные проблемы / вопросы) от пользователей и генерирует рабочий процесс геообработки путем разложения задачи на последовательные связанные операции с данными в виде направленного ациклического графа. Каждая операция представляет собой функцию, которую должна реализовать LLM (в данном исследовании — GPT-4). Далее LLM-Geo генерирует комбинированную программу путем объединения кодов всех операций и выполняет ее для получения конечного результата задачи. Для всех тематических исследований LLM-Geo смогла предоставить точные результаты, включая агрегированные цифры, графики и карты, что значительно сократило время ручных операций. В то же время определено, что используемая LLM понимает шаги, необходимые для выполнения задачи, но часто упускает из виду практические ограничения пространственного анализа, такие как необходимость сопоставления картографической проекции для анализа наложения и точное сопоставление типов данных для общего столбца двух атрибутивных таблиц. Подобные ограничения, вероятно, являются следствием малого количества учебных материалов по ГИС.

В работе [11] исследуется этика использования генеративного ИИ в картографии. Авторы уделяют особое внимание созданию карт с помощью Dall-E 2. Для этого был создан набор данных с открытым исходным кодом, который включает в себя синтетические (созданные ИИ) и реальные (созданные человеком) карты в нескольких вариантах. На основе сравнения определены четыре потенциальные этические проблемы, которые могут возникнуть из-за карт, созданных Dall-E 2, а именно: неточности, вводящая в заблуждение информация, непредвиденные особенности и невоспроизводимость. Также авторами разработан детектор карт, созданных ИИ на основе глубокого обучения, для обеспечения возможности их идентификации.

Авторами [12] созданы тематические карты с использованием имеющихся или общедоступных геопространственных данных, а также ментальные карты исключительно с использованием текстовых описаний географического пространства на основе ChatGPT. По итогам работы сделан вывод, что ChatGPT представляет собой полезное альтернативное решение для картографирования, так как обладает уникальными преимуществами (упрощение процесса создания карт для пользователей, не являющихся специалистами в картографии, повышение эффективности массового производства карт и понимание географического пространства благодаря его возможностям пространственного анализа).

Сформулировано четыре преимущества:

1) простота создания команд по формированию карт на основе текстовых запросов,
2) ускорение процессов формирования карт для специалистов-картографов,
3) возможность создания ментальных карт с учетом пространственного положения,
4) простота при генерации дизайна карт,

и четыре недостатка:

1) вывод только в текстовом формате,
2) зависимость графической реализации от внешних инструментов,
3) необходимость в проведении нескольких циклов генерации для создания удовлетворительного результата,
4) наличие опыта в области картографии и геоинформатики у человека, формулирующего запросы, для получения качественных результатов.

3 Результаты и обсуждение

На основании функциональности существующих открытых LLM и типовых задач цифровой картографии предлагается выделить следующие направления их использования:

- описание сводных показателей атрибутивных значений,
- формирование элементов географического описания,
- получение последовательностей выполнения определенных задач в ГИС,
- построение запросов к данным на языке SQL,
- написание фрагментов программного кода отдельных скриптов и модулей для ГИС,
- генерация картографических изображений по описанию.

Далее приведены фрагменты ответов на запросы, иллюстрирующие эти направления, применительно к чат-боту Chat GPT-4[3]. Кроме того, для сравнения с базовым уровнем других общедоступных чат-ботов те же запросы были выполнены в чат-боте GigaChat[4].

В качестве примера для описания сводных показателей атрибутивных значений географических объектов был сделан запрос сведений о «максимальной, минимальной и средней численности населения городов Новосибирской области» (здесь и далее в кавычках приводится текст запроса на русском языке). В результате этого запроса моделью Chat GPT-4 были представлены статистические данные из открытых баз данных и краудсорсинговых ресурсов [13], что говорит о возможности получения в большей степени корректных (с учетом специфики ресурса) статистических сведений, например, для тематических карт. Также в ответе на запрос приводится важное замечание о том, что более точные значения рекомендуется получать в официальных источниках.

Для того, чтобы в итоге получить нужные значения, предусмотренные в первом запросе, было сделано уточнение о «расчете максимального, минимального и среднего из чисел текста предыдущего сообщения». Результат продемонстрировал способность корректно выполнять статистические операции над числами, если они указаны в тексте запроса или берутся из внешних файлов или баз данных.

Для сравнения GigaChat предоставляет в результатах запроса корректные данные только по г. Новосибирску, а минимальное и среднее значения приводит на основе общероссийских показателей.

Формирование элементов географической характеристики территории рассматривается на примере «описания рек Новосибирской области и их количественных характеристик». В этом ответе наблюдаются местами значительные количественные расхождения с реальными данными, например в значении водосборного бассейна.

GigaChat на аналогичный запрос дает более точные показатели по числовым значениям, но при этом присутствуют грубые ошибки в топологии речных систем, а также в тексте упоминаются несуществующие объекты, например Обь-Иртышская железнодорожная магистраль. Таким образом, использовать LLM для формирования элементов географического описания территории можно только при наличии заранее подготовленной базы данных статистических сведений и пространственно-топологических связей.

Пример запроса на получение последовательностей выполнения определенных задач в ГИС выполнялся на «описании последовательности действий для ГИС QGIS при обрезке нескольких векторных слоев в формате ESRI Shapefile по заданному полигональному объекту и затем их перепроецировании в систему

3 GPT-4 is OpenAI's most advanced system, producing safer and more useful. OpenAI.com, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://openai.com/gpt-4 (дата обращения: 30.10.2023).

4 Русскоязычная нейросеть от Сбера. Developers.sber.com, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://developers.sber.ru/portal/products/gigachat (дата обращения: 30.10.2023).

координат World Equidistant Cylindrical». В ответе представлена правильная последовательность действий с указанием реальных инструментов ГИС QGIS, но следует отметить, что процесс перепроецирования приведен для растровых данных, а также не описаны команды для открытия исходных данных. Таким образом, LLM для подобных задач может служить хорошим дополнением к официальной документации ГИС, особенно с учетом ее дообучения на инструкциях по работе с конкретным программным продуктом. Для сравнения GigaChat скорее имитирует описание некоей последовательности действий в ГИС, приводя неправильную последовательность действий и указывая несуществующие параметры или инструменты.

Построение запросов к данным выполнялось на примере «написания SQL-запроса для выбора точечных объектов из таблицы `cities`, которые находятся внутри площадных объектов со значением `Russia` из таблицы `countries`, используя пространственные операторы PostGIS». Для этой задачи предоставлен корректный SQL-запрос с комментариями к операторам и данным. Также следует отметить важный комментарий о наличии индексов на геометрических столбцах для оптимизации производительности.

GigaChat также формирует корректный SQL-запрос, но используется другой оператор, который подходит под указанную задачу, но не полностью соответствует логике заданного текстового запроса, что в случае, например, аналогичного отбора линейных объектов, частично выходящих за контуры полигонального объекта, может негативно повлиять на корректность результатов.

Написание программного кода отдельных скриптов и модулей для ГИС анализируется на примере создания «кода функции на языке Python, которая использует библиотеки QGIS и Geopandas для построения полигонов Вороного на основе точечного слоя». В результате приведен достаточно корректный программный код с комментариями, помогающими оценивать логику программы. Также в ответе указано, что для данной задачи нет необходимости задействовать библиотеки QGIS, и сделано важное замечание о том, что указанные функции предполагают использование данных в проекционных системах координат.

Для аналогичного запроса GigaChat сформировал код для модуля QGIS, не решающий поставленную задачу и имеющий ошибочную логику в параметрах операторов.

Генерация изображений по описанию непосредственно в интерфейсе чат-бота из двух рассматриваемых вариантов доступна в GigaChat. При запросе на «формирование карты автомобильных дорог Новосибирской области» было получено изображение, не имеющее ничего общего с картографическим, с отдельными объектами, имитирующими элементы реальных карт (километровая сетка, схематичное отображение объектов).

Дальнейшее развитие генеративного ИИ вызывает определенные опасения, которые касаются качества результатов, возможности неправильного использования и злоупотреблений с позиции создания заведомо ложной информации, а также возможности разрушения существующих бизнес-моделей и процессов. Наряду со всеми рассмотренными преимуществами с точки зрения автоматизации различных процессов цифровой картографии существует ряд ограничений, которые необходимо учитывать при использовании генеративных моделей:

- сложности с идентификацией источника информации, возможная предвзятость и предубеждения первоисточников,
- затруднения при выявлении неточностей вследствие реалистичного представления информации в виде карт,
- сложности с корректировкой уточняющих запросов,
- высокая вероятность плагиата, игнорирующего права создателей оригинальных картографических произведений.

4 Выводы

Опираясь на результаты описанных в статье аналитические исследования, можно определить степень адекватности решения поставленных задач с использованием LLM.

1. Сбор статистических показателей из открытых источников выполняется в большинстве случаев корректно, особенно если говорить о запросе конкретного значения, наборы же показателей могут быть искажены, либо могут быть представлены устаревшие данные, что требует дополнительной проверки.
2. Задачи базовой обработки текста (реферирование, поиск отдельных значений, элементы агрегирования, в том числе с применением типовых статистических операций) выполняются на хорошем уровне и могут быть использованы при автоматизации подготовки отчетов в ГИС.
3. Пространственное описание объектов не подразумевает использования геоинформационных механизмов и опирается только на базу данных, используемую при обучении, что приводит к появлению отдельных ошибок взаимоположения объектов в ответах языковой модели.
4. Языковые модели (при условии обучения на достаточно широкой текстовой базе либо дообучении на специализированных инструкциях по работе с конкретными программами) могут служить эффективным инструментом формирования последовательностей действий с помощью инструментария указанной ГИС для решения конкретной задачи.
5. SQL-запросы даже базовые (открытые) языковые модели строят в большинстве случаев правильно, что способствует упрощению и ускорению работы с данными для ГИС-специалистов.
6. Написание программного кода скриптов и модулей для указанной ГИС выполняется достаточно корректно, с формированием комментариев, упрощающих чтение и проверку программы в целом, при этом учитываются отдельные специфические факторы работы с пространственными данными. Однако, как и в пункте 4, нужно учитывать базу применяемых для обучения текстов (для некоторых задач может не найтись корректного решения) и необходимость корректировки отдельных команд.

На современном этапе развития языковых моделей сохраняется необходимость технического контроля результатов обработки запросов экспертами, обладающими компетенциями в области картографии и геоинформатики. В противном случае высока вероятность транслирования некорректной информации.

Применение технологии языковых моделей позволяет повысить степень автоматизации обработки и анализа геопространственных данных, но получаемая в результате их использования информация требует обязательной проверки и корректировки специалистами.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Dwivedi Y.K., Kshetri N., Hughes L., et al. “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy // International Journal of Information Management. 2023. Vol. 71. P. 102642. DOI:10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642.
2. Янкелевич С.С. Теоретико-методологические аспекты тематической картографии на основе геопространственных знаний // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2022. Т. 66. № 4. С. 51–58. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-51-58.
3. Калугин Д.Н. Автоматическая географическая привязка топографических карт с использованием языка программирования Python // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 1. С. 57–65. DOI:10.30533/GiA-2023-004.
4. Trott S., Jones C., Chang T., et al. Do Large Language Models Know What Humans Know? // Preprint arXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2209.01515.pdf (дата обращения: 30.10.2023).

5. Amodei D., Olah C., Steinhardt J., et al. Concrete problems in AI safety // Preprint arXiv.org. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/1606.06565.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
6. Ji Z., Lee N., Frieske R., et al. Survey of hallucination in natural language generation // ACM Computing Surveys. 2023. Vol. 55. Iss. 12. P. 1–38.
7. Mai G., Huang W., Sun J., et al. On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for Geospatial Artificial Intelligence // Preprint arXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2304.06798.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
8. Roberts J., Lüddecke T., Das S., et al. GPT4GEO: How a Language Model Sees the World's Geography // Preprint arXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2306.00020.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
9. Mooney P., Cui W., Guan B., Juhász L. Towards Understanding the Spatial Literacy of ChatGPT — Taking a Geographic Information Systems (GIS) Exam // Preprint EarthArXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://eartharxiv.org/repository/object/5544/download/11889/ (дата обращения: 30.10.2023).
10. Li Z., Ning H. Autonomous GIS: The next-generation AI-powered GIS // Preprint arXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2305.06453.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
11. Kang Y., Zhang Q., Roth R. The Ethics of AI-Generated Maps: A Study of DALLE 2 and Implications for Cartography // Preprint arXiv.org. 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2304.10743.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
12. Ran T., Xu J. Mapping with ChatGPT // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2023. Vol. 12. No. 7. P. 284. DOI:10.3390/ijgi12070284.
13. Porsdam Mann S., Earp B.D., Møller N., et al. AUTOGEN: A Personalized Large Language Model for Academic Enhancement — Ethics and Proof of Principle // The American Journal of Bioethics, 2023. Vol. 23. No. 10. P. 28–41. DOI:10.1080/15265161.2023.2233356.

АВТОР **Колесников Алексей Александрович**
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), Новосибирск, Россия
кафедра картографии и геоинформатики, институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
0000-0002-4761-4072

Поступила 31.10.2023. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 910.1
DOI:10.30533/GiA-2024-003

CC BY

Using large language models in geoinformation technologies

Alexey A. Kolesnikov[1]

[1] Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
alexeykw@mail.ru

CITATION Kolesnikov AA. Using large language models in geoinformation technologies. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(1): 33–43. DOI:10.30533/GiA-2024-003.

KEYWORDS geoinformation technologies, large language models, LLM, artificial intelligence, automation, Chat GPT

ABSTRACT One of the most developed and easy-to-use areas of generative models in terms of operating functionality for end users are large language models that allow you to perform various operations with text data. Since modern digital cartography quickly includes the latest achievements in the field of information technology in its tools, it seems relevant to consider the main directions of using large language models in relation to typical tasks of processing spatial data in the form of a description of summary indicators of attribute values, the formation of elements of a geographical description, and obtaining execution sequences certain tasks in GIS, building queries to data in the SQL language, writing fragments of program code for individual scripts and modules for GIS, generating cartographic images by description in order to automate them. Based on the experiments conducted, it was concluded that most of the listed basic tasks are well automated using large language models, but taking into account the need for verification and correction of the results by a specialist in the field of cartography and geoinformatics.

REFERENCES

1. Dwivedi YK, Kshetri N, Hughes L, et al. “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management.* 2023; 71(102642). DOI:10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642.
2. Yankelevich SS. Teoretiko-metodologicheskiye aspekty tematicheskoy kartografii na osnove geoprostranstvennykh znaniy [Theoretical and methodological aspects of thematic cartography based on geospatial knowledge]. *Izvestia vuzov “Geodesy and Aerophotosurveying”.* 2022;66(4): 51–58. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-4-51-58.

3. Kalugin DN. Avtomaticheskaya geograficheskaya privyazka topograficheskikh kart s ispol'zovaniyem yazyka programmirovaniya Python [Automatic georeferencing of topographic maps using Python programming language]. ***Izvestia vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying".*** 2023:67(1): 57–65. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-004.
4. Trott S, Jones C, Chang T, et al. Do Large Language Models Know What Humans Know? ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2209.01515.pdf (Accessed 30 October 2023).
5. Amodei D, Olah C, Steinhardt J, et al. Concrete problems in AI safety. ***Preprint arXiv.org***, 2016. Available from: https://arxiv.org/pdf/1606.06565.pdf (Accessed 30 October 2023).
6. Ji Z, Lee N, Frieske R, Yu T, et al. Survey of hallucination in natural language generation. ***ACM Computing Surveys***. 2023. 55;12: 1–38.
7. Mai G, Huang W, Sun J, et al. On the Opportunities and Challenges of Foundation Models for Geospatial Artificial Intelligence. ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2304.06798.pdf (Accessed 30 October 2023).
8. Roberts J, Lüddecke T, Das S, et al. GPT4GEO: How a Language Model Sees the World's Geography. ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2306.00020.pdf (Accessed 30 October 2023).
9. Mooney P, Cui W, Guan B, Juhász L. Towards Understanding the Spatial Literacy of ChatGPT — Taking a Geographic Information Systems (GIS) Exam. ***Preprint EarthArXiv.org***, 2023. Available from: https://eartharxiv.org/repository/object/5544/download/11889/ (Accessed 30 October 2023).
10. Li Z, Ning H. Autonomous GIS: The next-generation AI-powered GIS. ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2305.06453.pdf (Accessed 30 October 2023).
11. Kang Y, Zhang Q, Roth R. The Ethics of AI-Generated Maps: A Study of DALLE 2 and Implications for Cartography. ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2304.10743.pdf (Accessed 30 October 2023).
12. Ran T, Xu J. Mapping with ChatGPT. ***ISPRS International Journal of Geo-Information***. 2023. 12;7: 284. DOI:10.3390/ijgi12070284.
13. Porsdam Mann S, Earp BD, Møller N, et al AUTOGEN: A Personalized Large Language Model for Academic Enhancement — Ethics and Proof of Principle. ***The American Journal of Bioethics***, 2023. 23;10: 28–41. DOI:10.1080/15265161.2023.2233356.

AUTHOR **Alexey A. Kolesnikov**
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Cartography and Geoinformatics, Institute of Geodesy and Management
Ph.D. in Engineering, Associate professor
0000-0002-4761-4072

Submitted: October 31, 2023. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 528.8:528.854:004.832:004.048
DOI:10.30533/GiA-2024-004

CC BY

Семантическая сегментация геополей с использованием нейронных сетей на примере проблематики выделения зданий на космо- и аэрофотоснимках

Н.А. Бирюков[1], А.А. Майоров[1], М.П. Лапчинская[1]

[1] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
4096414@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Бирюков Н.А., Майоров А.А., Лапчинская М.П. Семантическая сегментация геополей с использованием нейронных сетей на примере проблематики выделения зданий на космо- и аэрофотоснимках // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 44–61. DOI:10.30533/GiA-2024-004.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА геополя, семантическая сегментация, выделение зданий, нейронные сети, распознавание образов, машинное обучение, компьютерное зрение, предобработка данных

АННОТАЦИЯ Задача выделения зданий в контексте семантической сегментации геополей представляет собой задачу перехода от множества геополей собственного и отраженного элементами суши, океана и атмосферы Земли электромагнитного излучения ко множеству геополей пространственного распределения собственного и отраженного объектами класса «Здания» электромагнитного излучения. Проблематика выделения зданий включает в себя следующие основные проблемы: ложноположительные и ложноотрицательные срабатывания при выделении зданий, выделение отдельных зданий как одного объекта и распознавание объектов класса «Здания» на снимках, имеющих разные яркостные характеристики. Данные проблемы, в рамках семантической сегментации геополей, рассматриваются с точки зрения снижения точности перехода от исходного множества геополей к результирующему множеству и относятся главным образом к исходному множеству. Посредством анализа указанных проблем определены основные концептуальные решения в архитектурах нейронных сетей, позволяющие уменьшить их влияние: механизмы внимания и обработка глобальных признаков. В результате эксперимента с архитектурами нейронных сетей STT, STEB-UNet, U-Net, MF-CNN и MSCFF, реализующими данные концептуальные решения, определены зависимости между временными затратами и конкретной реализацией концептуальных решений и наиболее эффективное с точки зрения обеспечиваемой точности решение — обработка глобальных признаков посредством мультимасштабного слияния признаков, реализуемое MSCFF.

1 Введение

Геополе — изменяющаяся в пространстве и во времени непрерывная переменная величина [1–3]. С математической точки зрения она описывается функцией $z = f(x, y, t)$, где z — значение геополя; x, y — пространственные координаты, а t — время[1] [2, 4].

Множество геополей, связанных предметной областью, может быть определено как кортеж вида $(z_1, z_2, \ldots, z_n) = f(x, y, t)$, где z_n — числовое значение физической величины n-го геополя, $n \geq 1$; x, y — пространственные координаты, а t — время. Значение $n = 1$ отражает случай, когда берется одно геополе в рамках конкретной предметной области.

При этом временная координата t может быть опущена[2] [2], и тогда функция принимает вид $(z_1, z_2, \ldots, z_n) = f(x, y)$.

В таком случае x, y будут представлять собой пространственные координаты для определенного фиксированного момента времени $t = \text{const}$.

В связи тем, что геополе есть изменяющаяся в пространстве и во времени физическая величина, как отмечалось выше, его корректно рассматривать как непрерывный сигнал[3], задаваемый в общем случае одной из указанных ранее функций: $z = f(x, y, t)$ или $z = f(x, y)$, если опущена временная координата. Таким образом, геополе можно представить и в виде цифрового изображения, которое, как считают авторы данной статьи, необходимо рассматривать как результат дискретизации исходного непрерывного многомерного сигнала, соответствующего геополю, по текущей координате или времени и его квантования по уровню с постоянным шагом[4].

Таким образом, с точки зрения работы с геополями семантическая сегментация представляет собой задачу перехода от одного множества геополей к другому и в указанном контексте в современном мире еще не рассматривалась.

Выделение зданий (*англ.* — «building extraction») как задача семантической сегментации геополей является сложной, но важной задачей, которая позволяет упростить проведение кадастровых работ [5], выявить незаконное использование территории или нелегальное строительство [5, 6]. Кроме того, выделение зданий применяется при городском планировании [7–9], оценке последствий от стихийных бедствий [8, 9], экологическом мониторинге [8].

Постоянное увеличение городской застройки [10–13] и наличие у зданий определенных особенностей, как с точки зрения их пространственного расположения и ориентирования на космо- и аэрофотоснимках [7, 9, 10, 14, 15], так и с точки зрения их яркостных характеристик [14–21], усложняет эффективное по точности выделение зданий, а в некоторых случаях приводит к невозможности его выполнения.

Целью работы является определение концептуальных решений в рамках архитектур нейронных сетей для выделения зданий на космо- и аэрофотоснимках как задачи семантической сегментации геополей.

---

1 Жуковский О.И. Геоинформационные системы: учеб. пособие. Томск: Эль Контент, 2014. 130 с.

2 Там же.

3 Журкин И.Г., Шавенько Н.К. Сигналы: учеб. пособие по курсу «Автоматизированная обработка аэрокосмической информации»: для студентов 4 и 5 курсов специальностей «Исследование природных ресурсов» и «Информационные системы в технике и технологиях». М.: МИИГАиК, 2007. 95 с.

4 Там же.

2 Материалы и методы

Задача выделения зданий на аэрокосмических снимках начала развиваться во второй половине XX века от формулирования общих принципов до сравнения разных подходов в научной периодике [10].

В настоящее время для выделения зданий используются выборки данных, состоящие из цифровых космо- и аэрофотоснимков высокого (1–10 м) [7, 22] и сверхвысокого (0,2–1 м) [22–27] пространственного разрешения и масок. В рамках выделения зданий как задачи семантической сегментации геополей выборка включает в себя:

- цифровые космо- и аэрофотоснимки, которые являются графическим представлением для некоторых участков земной поверхности множеств геополей собственного и отраженного элементами суши, океана и атмосферы Земли электромагнитного излучения (ГОСТ Р 59079–2020, ГОСТ Р 59753–2021)[5] [28] в определенных спектральных диапазонах длин волн;
- маски, которые представляют собой цифровые изображения, отражающие вид графического представления результирующего множества геополей, получаемого посредством семантической сегментации.

Результат распознавания модели нейронной сети при выделении зданий — цифровое изображение, являющееся графическим представлением множества геополей пространственного распределения собственного и отраженного объектами класса «Здания» электромагнитного излучения в определенных спектральных диапазонах длин волн.

Таким образом, задача выделения зданий с точки зрения семантической сегментации геополей представляет собой задачу перехода от множества геополей собственного и отраженного элементами суши, океана и атмосферы Земли электромагнитного излучения ко множеству геополей пространственного распределения собственного и отраженного объектами класса «Здания» электромагнитного излучения.

Проблематика выделения зданий как задачи семантической сегментации геополей включает в себя проблемы, которые приводят к снижению точности перехода от исходного множества геополей к результирующему множеству. Представляется целесообразным определить концептуальные решения в архитектурах нейронных сетей, позволяющие уменьшить влияние существующих проблем на точность выделения зданий.

2.1 Ложноположительные и ложноотрицательные срабатывания при распознавании объектов класса «Здания»

Выделение зданий на космо- и аэрофотоснимках как задача, относящаяся к распознаванию объектов [29], имеет ряд проблем — ложноположительные и ложноотрицательные срабатывания [10, 23, 27], заключающиеся в ошибочном отнесении пикселей к распознаваемым классам.

В качестве основных причин, существенно влияющих на возможность появления указанных проблем, авторы данной статьи выделяют:

1) наличие у зданий теней [7, 18, 29], которые могут быть отнесены к объектам класса «Здания» [6, 7, 10, 18, 26, 30] и уменьшают контрастность объектов, «скрывают» их, что, в свою очередь, приводит к менее точному распознаванию [7, 18, 26, 31];

5 Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн. 1; пер. с англ. М: Мир, 1982. 312 с.; Иконика. Цифровая обработка видеоинформации / Под ред. Ю.М. Штарькова. М.: Наука, 1989. 128 с.; Лебедев Д.С. Теория и методы первичной обработки видеоинформации: дис. … д-ра физ.-мат. наук: 05.13.17 «Теоретические основы информатики». М., 1993. 78 с.

2) разные яркостные характеристики зданий [6, 7, 9, 15, 17, 18, 19], которые:
   — в случае разных яркостных характеристик для одного объекта класса «Здания» могут вести к некорректному его разделению на два отдельных объекта [31] или ошибочному отнесению части пикселей этого здания к классу «Фон» [7];
   — в случае их эквивалентности для нескольких зданий могут приводить к выделению близко расположенных зданий как одного объекта [15, 17, 18];
3) эквивалентность яркостных характеристик зданий и других объектов на космо- и аэрофотоснимках [15, 21, 23, 27], которая может быть причиной ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний при выделении зданий на снимках крупных городов [29, 32].

Указанные причины возникновения ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний при выделении зданий с точки зрения семантической сегментации геополей связаны с особенностями исходного множества геополей электромагнитного излучения, представленного космо- и аэрофотоснимками в выборках данных для рассматриваемой задачи.

Таким образом, исходное множество геополей собственного и отраженного элементами суши, океана и атмосферы Земли электромагнитного излучения может оказывать влияние на точность перехода к результирующему геополю пространственного распределения собственного и отраженного объектами класса «Здания» электромагнитного излучения.

В качестве возможных концептуальных решений в рамках архитектур нейронных сетей, позволяющих уменьшить влияние приведенных выше причин возникновения ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний, авторы данной статьи предлагают рассматривать:

1) обработку дополнительных представлений данных о местности, которыми в задаче выделения зданий являются цифровые модели местности (ЦММ), нормализованные цифровые модели местности (нЦММ) [30, 33] и проблемно-ориентированные спектральные индексы, например нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (*англ.* — «Normalized Difference Vegetation Index», NDVI) [30, 32] в рамках архитектур нейронных сетей, как последовательную [30], так и параллельную [32];
2) включение в архитектуры нейронных сетей механизмов внимания [9, 21, 25, 34, 35];
3) обработку глобальных признаков в рамках архитектур нейронных сетей [6, 17, 34, 36].

Использование дополнительных представлений данных о местности может позволить при выделении зданий с помощью нейронных сетей учитывать высоту при обработке в рамках архитектур нейронных сетей ЦММ и нЦММ, данные о растительности при работе с NDVI, что может позволить уменьшить влияние указанной проблемы на результаты распознавания. Однако данное решение является наименее эффективным, так как эти данные, в особенности ЦММ и нЦММ, требуют постоянной актуализации и, в случае их отсутствия, подготовки, что увеличивает время на предобработку данных перед проведением выделения зданий.

Включение механизмов внимания и обработки глобальных признаков в архитектуры нейронных сетей является более эффективным с точки зрения временных затрат на предобработку данных концептуальными решениями, позволяющими уменьшить влияние указанных причин возникновения ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний на результаты распознавания, так как они не требуют для своей работы дополнительных действий по предобработке данных.

Механизмы внимания позволяют обеспечить обработку глобальных взаимосвязей между признаками, что, в свою очередь, положительно сказывается на точности выделения зданий [6, 17, 25, 34, 36] и уменьшает влияние разных и эквивалентных яркостных характеристик на результаты распознавания. Однако включение механизмов внимания может приводить к появлению краевых аномалий.

Обработка глобальных признаков в рамках архитектур нейронных сетей также позволяет повысить точность выделения зданий и снизить влияние указанных выше причин на получаемые результаты [6, 36].

Следует отметить, что механизмы внимания и обработка глобальных признаков не являются взаимоисключающими концептуальными решениями и могут использоваться вместе [36].

Таким образом, при решении проблемы ложноположительных или ложноотрицательных срабатываний при выделении зданий авторы рекомендуют в качестве включаемых в архитектуры нейронных сетей концептуальных решений рассматривать механизмы внимания и обработку глобальных признаков. Однако сравнение данных концептуальных решений по отдельности для выбора наиболее эффективного с точки зрения обеспечиваемой их внедрением точности выделения зданий в настоящее время не проводилось.

2.2 Выделение отдельных зданий как одного объекта

Постоянное повышение плотности застройки как в крупных, так и в малых городах [10–13] повлекло за собой проблему распознавания разных зданий как одного объекта. Данная проблема в контексте семантической сегментации геополей относится к исходному множеству геополей и приводит к снижению точности перехода к результирующему геополю.

В качестве возможных решений данной проблемы предлагается:

1) представление задачи выделения зданий в виде нескольких подзадач и включение в архитектуру нейронной сети блоков, обеспечивающих их выполнение, как, например, в [9, 31, 37];
2) включение в архитектуры нейронных сетей механизмов внимания [9, 25, 34, 35].

Указанные концептуальные решения не являются взаимоисключающими и могут использоваться вместе [17, 34]. Однако представление задачи выделения зданий в виде нескольких подзадач и включение решающих их блоков в архитектуры нейронных сетей может приводить к необходимости последовательного устранения в рамках архитектур проблем, вызванных с самими блоками [9]. Следовательно, включение большого количества блоков из-за дробления задачи выделения зданий на подзадачи может приводить к снижению точности распознавания моделей.

Таким образом, основным концептуальным решением, по мнению авторов данной статьи, является включение в архитектуры нейронных сетей механизмов внимания.

2.3 Выделение зданий на снимках, имеющих разные яркостные характеристики

Данная проблема заключается:

- в различающихся яркостных характеристиках на снимках разных областей интереса, что, в свою очередь, связано с их территориальным положением [34, 38], характеризующимся разными типами земель, дорожных покрытий и др., различными материалами и типами сооружений [38];
- в разных радиометрических разрешениях и спектральных диапазонах съемочной аппаратуры [34].

Таким образом, в контексте семантической сегментации геополей данная проблема связана как с особенностями исходного множества геополей с точки зрения его пространственной локализации, так и с особенностями аппаратуры, с помощью которой получаются цифровые снимки, графически отражающие это множество.

В настоящее время метода обучения нейронных сетей, позволяющего выполнять задачу выделения зданий с учетом разных яркостных характеристик различных территорий и съемочных систем, не существует.

Эта проблема, по мнению авторов, в современном мире может быть решена различными путями, каждый из которых имеет свои особенности, влияющие на его реализуемость и результативность.

В качестве первого решения предлагаются разработка и обучение нейронных сетей для каждой области интереса отдельно, с учетом особенностей каждой конкретной местности. Указанное решение, по мнению авторов данной статьи, возможно, если в рамках обучения нейронных сетей будет учтена изменчивость областей интереса, в противном случае применение его будет затруднительно и потребует постоянной работы по актуализации возможностей распознавания зданий.

В качестве второго решения предлагается составление выборки данных на основе нескольких общедоступных наборов данных, чтобы обеспечить вариативность яркостных характеристик как при разных областях интереса, так и при использовании разной съемочной аппаратуры [24, 39]. Однако данное концептуальное решение не рекомендуется авторами, поскольку в случае использования снимков разного пространственного разрешения, получаемых при работе с разной съемочной аппаратурой, одни проблемы в рамках проблематики выделения зданий могут становиться более значимыми, а другие не оказывать никакого влияния. Кроме того, возникает проблема с отбором как исходных выборок, так и репрезентативных снимков из каждой выборки, их количеством и соотношением, которая может приводить в случае своей неразрешенности к невозможности корректного обучения моделей нейронных сетей.

В качестве третьего решения предлагается аугментация данных, заключающаяся в формировании цифровых изображений с различными поворотами, увеличенными и уменьшенными по отдельности контрастом, яркостью и насыщенностью по исходным снимкам [39, 40]. Расширение выборки путем аугментации является альтернативой добавлению существующих данных, позволяющей в рамках рассматриваемой задачи учесть бóльшую часть возможных изменений яркостных характеристик и работать с определенным пространственным разрешением.

Следует учитывать, что подобная аугментация как метод расширения выборки для улучшения обучаемости модели и качества распознавания имеет ту же особенность, что и любое расширение массива данных: увеличение времени на его обработку.

Тем не менее, по мнению авторов данной статьи, аугментация оптимальна для рассмотрения в качестве решения проблемы выделения зданий на снимках с разными яркостными характеристиками.

3 Результаты

По результатам проведенного анализа для сравнения отобраны следующие архитектуры нейронных сетей, реализующие концептуальные решения:

1) U-Net с основой ResNet50 — сверточная сеть с короткими путями (*англ.* — «skip connections», «shortcut connections»), обеспечиваемыми ResNet, описанная в [41] и представляющая собой базовый вариант архитектуры сверточной сети без применения рассмотренных ранее концептуальных решений;
2) Sparse Token Transformer (STT) — архитектура, реализующая механизм внимания на основе трансформера [42];
3) Swin-Transformer-Based Encoding Booster Integrated in U-Shaped Network (STEB-UNet) — архитектура, реализующая механизм внимания посредством использования трансформера со скользящим окном [43];

4) Multiscale Features-Convolutional Neural Network (MF-CNN) — сверточная нейронная сеть [44], в которой работа с глобальными признаками обеспечивается с помощью мультимасштабного модуля;
5) Multi-Scale Convolutional Feature Fusion (MSCFF) — сверточная сеть, обеспечивающая работу с глобальными признаками через мультимасштабное слияние признаков посредством свертки [45].

Для проведения обучения, валидации и тестирования используется выборка Уханьского университета для выделения зданий «WHU Building Dataset»[6] [17], которая считается наиболее широко используемой в рамках задачи выделения зданий и включает в себя 8189 частей аэрофотоснимков в ложной цветопередаче, покрывающих 450 км^2 города Крайстчерч в Новой Зеландии, и соответствующие им маски.

Метаданные указанной выборки:

- пространственное разрешение — 0,3 м [17, 40];
- радиометрическое разрешение — 8 бит/пиксель;
- разрешение — 512×512 пикселей.

Из основных проблем, которые могут влиять на точность выделения зданий как задачи семантической сегментации геополей, присутствуют разные яркостные характеристики зданий, тени, отбрасываемые зданиями, и узкие границы между зданиями.

Выборка Уханьского университета для выделения зданий была поделена ее составителем на обучающую, валидационную и тестовую подвыборки следующим образом:

- 4736 снимков и масок для проведения обучения;
- 1036 образцов и эталонов для валидации;
- 2416 цифровых изображений и масок для выполнения тестирования.

Для проведения обучения выбраны следующие параметры:

- количество эпох обучения — 20;
- скорость обучения lr = 0,001;
- количество образцов, поступающих в рамках одной итерации на эпохе обучения, — 4–8.

При обучении, валидации и тестировании моделей использовалась видеокарта NVIDIA GeForce RTX 3080 Ti. Результаты обучения и валидации отобранных методов нейронных сетей в задаче выделения зданий отражены в табл. 1, 2.

Таблица 1
Результаты обучения моделей на выборке WHU-BE, представленные с шагом в 5 эпох (среднее значение бинарной кросс-энтропии)

Table 1
The results of training models on the WHU-BE dataset, presented in increments of 5 epochs (mean binary cross-entropy value)

Модель	Эпоха					Затраченное время (с учетом проведения валидации), чч:мм:сс
	1-я	5-я	10-я	15-я	20-я	
STT	0,1685	0,0758	0,0656	0,0647	0,0595	03:46:46
STEB-UNet	0,2386	0,1735	0,1424	0,1310	0,1103	04:45:22
U-Net (ResNet50)	0,0593	0,0228	0,0181	0,0153	0,0134	03:35:08
MF-CNN	0,0478	0,0251	0,0208	0,0185	0,0171	01:59:23
MSCFF	**0,0446**	**0,0204**	**0,0166**	**0,0142**	**0,0118**	14:56:36

Таблица 2
Результаты валидации моделей на выборке WHU-BE, представленные с шагом в 5 эпох (метрика IoU)

Table 2
The results of model validation on the WHU-BE dataset, presented in increments of 5 epochs (IoU metric)

Модель	Эпоха				
	1-я	5-я	10-я	15-я	20-я
STT	**0,8484**	**0,8763**	**0,8852**	**0,9006**	**0,9045**
STEB-UNet	Валидация не предусмотрена				
U-Net (ResNet50)	0,6521	0,7895	0,8366	0,8470	0,8602
MF-CNN	0,5651	0,8104	0,7973	0,7851	0,8537
MSCFF	0,7643	0,7962	0,8498	0,8539	0,8790

Примечание. Жирным шрифтом выделены лучшие результаты.

6 WHU building dataset. Kaggle.com, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kaggle.com/datasets/xiaoqian970429/whu-building-dataset (дата обращения: 27.11.2023).

После обучения и валидации выполнено тестирование. При тестировании в качестве основных метрик выбраны IoU и F_1, представленные выражениями (1) и (2). Это связано с тем, что с помощью IoU можно оценить точность распознавания объектов класса «Здания», поскольку данная метрика является наиболее строгой для оценки точности. F_1 используется для оценки качества моделей, так как представляет собой гармоническое среднее между Precision и Recall: отражает, насколько модель избегает ошибочного отнесения пикселя класса «Фон» к классу «Здания» и насколько модель избегает пропуска пикселей, относящихся к классу «Здания». Для тестирования выбраны модели, полученные в результате проведения 20 эпох обучения в связи с отсутствием переобученности и лучшими показанными в ходе обучения и валидации результатами. Результаты тестирования представлены в табл. 3.

1

$$\mathrm{IoU} = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP} + \mathrm{FP} + \mathrm{FN}}.$$

2

$$F_1 = 2\frac{\mathrm{Precision} \times \mathrm{Recall}}{\mathrm{Precision} + \mathrm{Recall}}.$$

Таблица 3
Результаты тестирования моделей на выборке WHU-BE

Table 3
Results of testing models on the WHU-BE dataset

Модель	IoU	F_1	OA	Затраченное время (без учета загрузки модели), чч:мм:сс
STT	0,8808	0,9366	0,9860	00:12:52
STEB-UNet	0,4073	0,5788	0,9305	00:19:12
U-Net (ResNet50)	0,8642	0,9271	0,9840	00:06:11
MF-CNN	0,8496	0,9187	0,9821	00:05:36
MSCFF	0,8729	0,9321	0,9848	00:16:08

Для визуального представления результатов выполненного тестирования и обеспечения возможности оценки качества моделей оптическим способом выбраны:

1) производственная застройка, сливающаяся с фоном (рис. 1);
2) территория города Крайстчерч с частными домами, имеющими разные яркостные характеристики крыш (рис. 2);
3) территория, на которой отсутствует застройка, представляющая собой пустырь (рис. 3);
4) территория без зданий, представленная сельскохозяйственными землями (рис. 4).



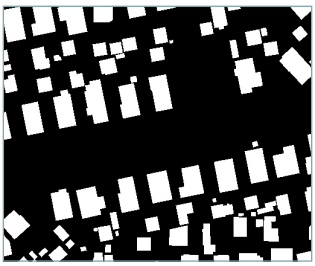
Рис. 1
Пример результатов распознавания класса «Здания» на территории с производственной застройкой

Fig. 1
Example of class "Buildings" recognition results on industrial area

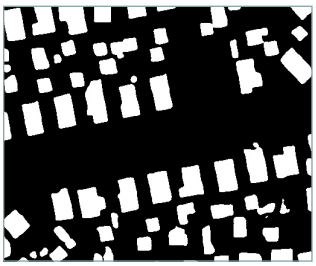
Снимок / Image



Эталон / Ground truth



STT / STT



STEB-UNet / STEB-UNet

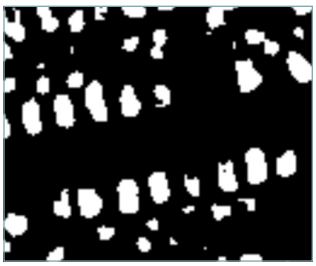
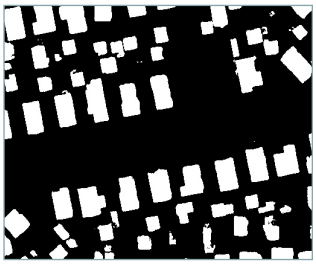


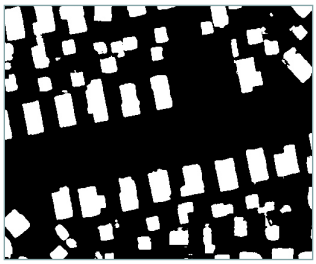
Рис. 2
Пример результатов распознавания класса «Здания» на территории с частными домами

Fig. 2
Example of class "Buildings" recognition results on area with the dense and close buildings

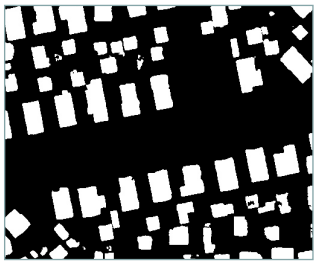
U-Net (ResNet50) / U-Net (ResNet50)



MF-CNN / MF-CNN



MSCFF / MSCFF



Снимок / Image



Эталон / Ground truth



STT / STT



STEB-UNet / STEB-UNet



Рис. 3
Пример результатов распознавания класса «Здания» на территории, представленной пустырем

Fig. 3
Example of class "Buildings" recognition results on wasteland area

U-Net (ResNet50) / U-Net (ResNet50)



MF-CNN / MF-CNN



MSCFF / MSCFF



Снимок / Image



Эталон / Ground truth



STT / STT



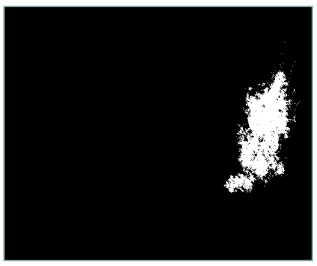
STEB-UNet / STEB-UNet



Рис. 4
Пример результатов распознавания класса «Здания» на сельскохозяйственных землях

Fig. 4
Example of class "Buildings" recognition results on farmlands

U-Net (ResNet50) / U-Net (ResNet50)



MF-CNN / MF-CNN



MSCFF / MSCFF



4 Обсуждение

На основании полученных в ходе обучения и валидации результатов можно заключить следующее:

1) MSCFF имеет наилучшую обучаемость среди всех отобранных методов, однако используемое в архитектуре данного метода мультимасштабное слияние признаков посредством свертки приводит к значительному увеличению временных затрат;
2) STEB-UNet, реализующий механизм внимания посредством трансформера со скользящим окном, имеет низкий предел обучаемости;
3) переобучение моделей в ходе проводимого тестирования отсутствует.

На основе результатов выполненного тестирования в рамках задачи выделения зданий как задачи семантической сегментации геополей сделаны следующие основные выводы о концептуальных решениях:

1) использование обработки глобальных признаков обеспечивает наилучшие результаты относительно точности модели, что подтверждается высокими значениями метрики IoU;
2) на основе анализа результатов оптическим способом выявлено, что:
   - мультимасштабное слияние признаков позволяет обеспечить отсутствие краевых аномалий при распознавании класса «Здания» на цифровых изображениях, покрывающих область интереса без застройки;
   - использование механизмов внимания обеспечивает решение проблемы распознавания отдельных зданий как одного объекта класса «Здания»;
   - шероховатость на сельскохозяйственных землях, вызванная наличием растительности, является наиболее сложным случаем для выделения зданий, что указывает на еще одну проблему, относящуюся к исходному множеству геополей, которая влияет на точность перехода к результирующему геополю;
3) наиболее быстрой с точки зрения выдачи результатов распознавания является MF-CNN, а наиболее медленной — MSCFF, что отражает наличие зависимости между реализацией обработки глобальных признаков в рамках архитектур нейронных сетей и временными затратами на выполнение выделения зданий;
4) механизмы внимания и мультимасштабное слияние признаков наиболее эффективны с точки зрения обеспечения точности и качества моделей концептуальными решениями в рамках архитектур отобранных методов нейронных сетей.

Исходя из вышеизложенного, авторы данной статьи предлагают:

1) обеспечивать работу с глобальными признаками в рамках архитектур нейронных сетей посредством мультимасштабного слияния признаков;
2) в зависимости от временных ограничений и области интереса рассматривать в качестве концептуальных решений, которые необходимо внедрять в архитектуры нейронных сетей, механизмы внимания и обработку глобальных признаков.

5 Выводы

Сформулирована задача выделения зданий в контексте семантической сегментации геополей, определена и проанализирована проблематика выделения зданий в данном контексте.

В качестве основных проблем при выделении зданий указаны ложноположительные и ложноотрицательные срабатывания при выделении зданий, выделение отдельных зданий как одного объекта и распознавание объектов класса «Здания» на снимках, имеющих разные яркостные характеристики.

На основе анализа указанных проблем определены их основные концептуальные решения в архитектурах нейронных сетей — механизмы внимания и обработка глобальных признаков.

Экспериментальные результаты указывают на наличие зависимости между временными затратами и конкретной реализацией концептуальных решений.

Кроме того, исходя из данных результатов определено наиболее эффективное с точки зрения обеспечиваемой точности концептуальное решение — обработка глобальных признаков посредством мультимасштабного слияния признаков. Это концептуальное решение, по мнению авторов, требует развития с точки зрения снижения временных затрат, требуемых для обучения модели и выделения зданий, при его внедрении в архитектуры нейронных сетей.

Исследование задачи выделения зданий в контексте семантической сегментации геополей закладывает новую основу для рассмотрения задач распознавания образов. В связи с этим представляется целесообразным изучение других задач компьютерного зрения, направленных на автоматизированную обработку данных дистанционного зондирования Земли с помощью методов нейронных сетей в этом контексте и развитие методов выделения зданий с точки зрения используемых функций потерь.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность рецензентам и редакторам за ценные замечания и оценку работы.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Гвоздев О.Г., Матерухин А.В., Майоров А.А. Сравнительный анализ методов определения сходства геополей // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27. № 6. С. 120–130. DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-6-120-130.
2. Копнов М.В. Модели, алгоритмы и программные средства для анализа геополей: дис. … канд. техн. наук: 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации: промышленность». 2010. 160 с.
3. Каковкин П.А., Друки А.А. Применение нейросетевых алгоритмов для решения задачи восстановления двумерных геополей // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 2. С. 35–43.
4. Копнов М.В., Марков Н.Г. Геоинформационная система для восстановления пространственно-временных геополей // Проблемы информатики. 2011. № 5. С. 172–179.
5. Ostankovich V., Afanasyev I. Illegal buildings detection from satellite images using GoogLeNet and cadastral map // Proceedings of 9th IEEE International Conference on Intelligent Systems. 2018. P. 1–8. DOI:10.1109/IS.2018.8710565.
6. Li S., Bao T., Liu H., et al. Multilevel feature aggregated network with instance contrastive learning constraint for building extraction // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 10. 2585. DOI:10.3390/rs15102585.
7. Miao Y., Jiang S., Xu Y., Wang D. Feature residual analysis network for building extraction from remote sensing images // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. Iss. 10. 5095. DOI:10.3390/app12105095.
8. You D., Wang S., Wang F., et al. EfficientUNet+: a building extraction method for emergency shelters based on deep learning // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Iss. 9. 2207. DOI:10.3390/rs14092207.
9. Xu G., Deng M., Sun G., et al. Improving building extraction by using knowledge distillation to reduce the impact of label noise // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Iss. 22. 5645. DOI:10.3390/rs14225645.
10. Dikmen M., Halici U. A learning-based resegmentation method for extraction of buildings in satellite // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2014. Vol. 11. Iss. 12. P. 2150–2153. DOI:10.1109/LGRS.2014.2321658.
11. Mia M.R., Islam K.S., Islam M.D. Automatic building footprint extraction from high resolution stereo satellite image // Plan Plus. 2021. Vol. 11. Iss. 1. P. 17–28. DOI:10.54470/planplus.v11i1.2.

12. Farhadi H., Ebadi H., Kiani A. F2BFE: development of feature-based building footprint extraction by remote sensing data and GEE // International Journal of Remote Sensing. 2023. Vol. 44. Iss. 19. P. 5845–5875. DOI:10.1080/01431161.2023.2255351.
13. He H., Gao K., Tan W., et al. Impact of deep learning based super resolution on building footprint extraction // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. XLIII-B1-2022. P. 31–37. DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-31-2022.
14. Liao C., Hu H., Yuan X., et al. BCE-Net: reliable building footprints change extraction based on historical map and up-to-date images using contrastive learning // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2023. Vol. 201. P. 138–152. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2023.05.011.
15. Wang Z., Li S., Zhu Z. Rural building extraction based on joint U-Net and the generalized Chinese restaurant franchise from remote sensing images // Sustainability. 2023. Vol. 15. Iss. 5. 4685. DOI:10.3390/su15054685.
16. Quan Y., Yu A., Cao X., et al. Building extraction from remote sensing images with DoG as prior constraint // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2022. Vol. 15. P. 6559–6570. DOI:10.1109/JSTARS.2022.3195808.
17. Jin H., Fu W., Nie C., et al. Extraction of building from remote sensing imagery base on multi-attention L-CAFSFM and MFFM // Frontiers in Earth Science. 2023. Vol. 11. 1268628. DOI:10.3389/feart.2023.1268628.
18. Sun Y., Chen J., Huang X., Zhang H. Multi-level perceptual network for urban building extraction from high-resolution remote sensing images // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2023. Vol. 89. No. 7. P. 427–434. DOI:10.14358/PERS.22-00103R1.
19. Qiu Y., Wu F., Yin J., et al. MSL-Net: An efficient network for building extraction from aerial imagery // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Iss. 16. 3914. DOI:10.3390/rs14163914.
20. Angelis G.-E., Domi A., Zamichos A., et al. On the exploration of vision transformers in remote sensing building extraction // IEEE International Symposium on Multimedia (ISM). 2022. P. 208–215. DOI:10.1109/ISM55400.2022.00046.
21. Zhou J., Liu Y., Nie G., et al. Building extraction and floor area estimation at the village level in rural China via a comprehensive method integrating UAV photogrammetry and the novel EDSANet // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Iss. 20. 5175. DOI:10.3390/rs14205175.
22. Atas İ. Performance evaluation of Jaccard-Dice coefficient on building segmentation from high resolution satellite images // Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering. 2023. Vol. 11. No. 1. P. 100–106. DOI:10.17694/bajece.1212563.
23. He W., Li J., Cao W., et al. Building extraction from remote sensing images via an uncertainty-aware network // Preprint arXiv.org, 2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://arxiv.org/pdf/2307.12309.pdf (дата обращения: 27.11.2023).
24. Weng Q., Wang Q., Lin Y., Lin J. ARE-Net: an improved interactive model for accurate building extraction in high-resolution remote sensing imagery // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 18. 4457. DOI:10.3390/rs15184457.
25. Yuan W., Ran W., Shi X., Shibasaki R. Multiconstraint transformer-based automatic building extraction from high-resolution remote sensing images // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2023. Vol. 16. P. 9164–9174. DOI:10.1109/JSTARS.2023.3319826.
26. Boonpook W., Tan Y., Torsri K., et al. PCL-PTD Net: parallel cross-learning-based pixel transferred deconvolutional network for building extraction in dense building areas with shadow // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2022. Vol. 16. P. 773–786. DOI:10.1109/JSTARS.2022.3230149.
27. Wang Z., Xu N., Wang B., et al. Urban building extraction from high-resolution remote sensing imagery based on multi-scale recurrent conditional generative adversarial network // GIScience & Remote Sensing. 2022. Vol. 59. Iss. 1. P. 861–884. DOI:10.1080/15481603.2022.2076382.
28. Якушенков Ю.Г. Некоторые особенности компьютерного моделирования оптико-электронных систем визуализации // Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК. 2004. С. 116–122.
29. Shrestha S., Vanneschi L. Improved fully convolutional network with conditional random fields for building extraction // Remote Sensing. 2018. Vol. 10. Iss. 7. 1135. DOI:10.3390/rs10071135.

30. Xu Y., Wu L., Xie Z., Chen Z. Building extraction in very high resolution remote sensing imagery using deep learning and guided filters // Remote Sensing. 2018. Vol. 10. Iss. 1. 144. DOI:10.3390/rs10010144.
31. Wagner F.H., Dalagnol R., Tarabalka Y., et al. U-Net-Id, an instance segmentation model for building extraction from satellite images — case study in the Joanópolis city, Brazil // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. Iss. 10. 1544. DOI:10.3390/rs12101544.
32. Schuegraf P., Bittner K. Automatic building footprint extraction from multi-resolution remote sensing images using hybrid FCN // Information Journal of Geo-Information. 2019. Vol. 8. Iss. 4. 191. DOI:10.3390/ijgi8040191.
33. Aslani M., Seipel S. A fast instance selection method for support vector machines in building extraction // Applied Soft Computing Journal. 2020. Vol. 97. Part B. 106716. DOI:10.1016/j.asoc.2020.106716.
34. Yu B., Chen F., Wang N., et al. MSFTrans: a multi-task frequency-spatial learning transformer for building extraction from high spatial resolution remote sensing images // GIScience & Remote Sensing. 2022. Vol. 59. Iss. 1. P. 1978–1996. DOI:10.1080/15481603.2022.2143678.
35. Song J., Zhu A.-X., Zhu Y. Transformer-based semantic segmentation for extraction of building footprints from very-high-resolution images // Sensors. 2023. Vol. 23. Iss. 11. 5166. DOI:10.3390/s23115166.
36. Han J., Wang Z., Wang Y., Hou W. Building extraction algorithm from remote sensing images based on improved DeepLabv3+ network // Journal Of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2303. 012010.
37. Larionov R., Khryashchev V., Pavlov V., Demidov P.G. Separation of closely located buildings on aerial images using U Net neural network // Proceedings of 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). 2020. P. 1–6. DOI:10.23919/FRUCT48808.2020.9087365.
38. Taha L.G.E., Ibrahim R.E. Assessment of approaches for the extraction of building footprints from Pléiades images // Geomatics and Environmental Engineering. 2021. Vol. 15. No. 4. P. 101–116. DOI:10.7494/geom.2021.15.4.101.
39. Luo M., Ji S., Wei S. A diverse large-scale building dataset and a novel plug-and-play domain generalization method for building extraction // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2023. Vol. 16. P. 4122–4138. DOI:10.1109/JSTARS.2023.3268176.
40. Wang Z., Zhou Y.,Wang F., et al. A multi-scale edge constraint network for the fine extraction of buildings from remote sensing images // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. Iss. 4. 927. DOI:10.3390/rs15040927.
41. Alsabhan W., Alotaiby T. Automatic building extraction on satellite images using Unet and ResNet50 // Computational Intelligence and Neuroscience. 2022. Vol. 2022. 5008854. DOI:10.1155/2022/5008854.
42. Chen K., Zou Z., Shi Z. Building extraction from remote sensing images with sparse token transformers // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. Iss. 21. 4441. DOI:10.3390/rs13214441.
43. Xiao X., Guo W., Chen R., et al. A swin transformer-based encoding booster integrated in U-shaped network for building extraction // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. Iss. 11. 2611. DOI:10.3390/rs14112611.
44. Shao Z., Pan Y., Diao C., Cai J. Cloud detection in remote sensing images based on multiscale features-convolutional neural network // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2019. Vol. 57. Iss 6. P. 4062–4072. DOI:10.1109/TGRS.2018.2889677.
45. Li Z., Shen H., Cheng Q., et al. Deep learning based cloud detection for medium and high resolution remote sensing images of different sensors // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2019. Vol. 150. P. 197–212. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2019.02.017.

АВТОРЫ **Бирюков Никита Андреевич**
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики и информационной безопасности
аспирант
0000-0001-9856-4696

Майоров Андрей Александрович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики и информационной безопасности
д-р техн. наук, профессор
0000-0001-5539-3719

Лапчинская Маргарита Петровна
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра информационно-измерительных систем, факультет геоинформатики и информационной безопасности
канд. техн. наук, доцент
0000-0002-7354-8283

Поступила 01.12.2023. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 528.8:004.8
DOI:10.30533/GiA-2024-004

CC BY

Geofields semantic segmentation by neural networks on example of building extraction on satellite and aerial images problematic

Nikita A. Biryukov[1] ✉, **Andrei A. Maiorov**[1], **Margarita P. Lapchinskaya**[1]

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ 4096414@gmail.com

CITATION Biryukov NA, Maiorov AA, Lapchinskaya MP. Geofields semantic segmentation by neural networks on example of building extraction on satellite and aerial images problematic. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying.* 2024;68(1): 44–61. DOI:10.30533/GiA-2024-004.

KEYWORDS geofields, semantic segmentation, building extraction, neural networks, pattern recognition, machine learning, computer vision, data preprocessing

ABSTRACT The Building extraction in a geofields semantic segmentation context is a task of transitioning from geofields set of its own and reflected by Earth's land, ocean and atmosphere elements electromagnetic radiation to a spatial distribution geofields set of its own and reflected by class "Buildings" objects electromagnetic radiation. Building extraction problematic as geofields semantic segmentation includes such main problems as: the false positives and false negatives, the extraction of separate buildings as one object and class "Buildings" objects recognition on images with different brightness. These problems in geofields semantic segmentation context considered as leading to the accuracy decrease of transition from original geofields set to a resulting geofields set and mainly applies to the original set. By mentioned problems analysis main conceptual solutions in the neural networks architectures identified those allowing reduce their effect these are attention mechanisms and global feature processing. As a result of the computational experiments with STT, STEB-UNet, U-Net, MF-CNN and MSCFF neural networks architectures those implement these conceptual solutions it was determined that there is a processing time and the specific conceptual solutions implementation and the most effective in accuracy terms conceptual solution that is the global features processing via multi-scale feature fusion implemented by MSCFF.

ACKNOWLEDGEMENTS The authors are grateful to the reviewers and the editors for their valuable comments and assessment of the work.

REFERENCES

1. Gvozdev OG, Materukhin AV, Maiorov AA. Comparative analysis of methods for the similarity assessment of geofields. ***Vestnik SSUGT.*** 2022;27(6): 120–130. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2022-27-6-120-130.
2. Kopnov MV. ***Modeli, algoritmi i programmnie sredstva dlia analiza geopolei*** [Models, algorithms and software for geofields analysis]: PhD thesis. Tomsk: 2010; 160 p. (In Russian).
3. Kakovin PA, Druki AA. Primeneniye neirosetevykh algoritmov dlia resheniya zadachi vosstanovleniya dvumernykh geopolei [Application of artificial neural networks for solving the problem of two-dimensional geofields reconstruction]. ***Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering***. 2016;327(2): 35–43. (In Russian).
4. Kopnov MV, Markov NG. Geoinformatsionnaya sistema dlia vosstanovleniya prostranstvenno-vremennikh geopolei [Geographic information system for the spatiotemporal geofields reconstruction]. ***Problemy informatiki.*** 2011;5: 172–179. (In Russian).
5. Ostankovich V, Afanasyev I. Illegal buildings detection from satellite images using GoogLeNet and cadastral map. ***Proceedings of 9th IEEE International Conference on Intelligent Systems***. 2018: 1–8. DOI:10.1109/IS.2018.8710565.
6. Li S, Bao T, Liu H, et al. Multilevel feature aggregated network with instance contrastive learning constraint for building extraction. ***Remote Sensing***. 2023;15(10): 2585. DOI:10.3390/rs15102585.
7. Miao Y, Jiang S, Xu Y, Wang D. Feature residual analysis network for building extraction from remote sensing images. ***Applied Sciences***. 2022;12(10): 5095. DOI:10.3390/app12105095.
8. You D, Wang S, Wang F, et al. EfficientUNet+: a building extraction method for emergency shelters based on deep learning. ***Remote Sensing***. 2022;14(9):2207. DOI:10.3390/rs14092207.
9. Xu G, Deng M, Sun G, et al. Improving building extraction by using knowledge distillation to reduce the impact of label noise. ***Remote Sensing***. 2022;14(22): 5645. DOI:10.3390/rs14225645.
10. Dikmen M, Halici U. A learning-based resegmentation method for extraction of buildings in satellite. ***IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters***. 2014;11(12): 2150–2153. DOI:10.1109/LGRS.2014.2321658.
11. Mia MR, Islam KS, Islam MD. Automatic building footprint extraction from high resolution stereo satellite image. ***Plan Plus***. 2021;11(1): 17–28. DOI:10.54470/planplus.v11i1.2.
12. Farhadi H, Ebadi H, Kiani A. F2BFE: development of feature-based building footprint extraction by remote sensing data and GEE. ***International Journal of Remote Sensing***. 2023;44(19): 5845–5875. DOI:10.1080/01431161.2023.2255351.
13. He H, Gao K, Tan W, et al. Impact of deep learning based super resolution on building footprint extraction. ***The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences***. 2022;XLIII-B1-2022: 31–37. DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-31-2022.
14. Liao C, Hu H, Yuan X, et al. BCE-Net: reliable building footprints change extraction based on historical map and up-to-date images using contrastive learning. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***. 2023;201: 138–152. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2023.05.011.
15. Wang Z, Li S, Zhu Z. Rural building extraction based on joint U-Net and the generalized Chinese restaurant franchise from remote sensing images. ***Sustainability***. 2023;15(5): 4685. DOI:10.3390/su15054685.
16. Quan Y, Yu A, Cao X, et al. Building extraction from remote sensing images with DoG as prior constraint. ***IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing***. 2022;15: 6559–6570. DOI:10.1109/JSTARS.2022.3195808.
17. Jin H, Fu W, Nie C, et al. Extraction of building from remote sensing imagery base on multi-attention L-CAFSFM and MFFM. ***Frontiers in Earth Science***. 2023;11: 1268628. DOI:10.3389/feart.2023.1268628.
18. Sun Y, Chen J, Huang X, Zhang H. Multi-level perceptual network for urban building extraction from high-resolution remote sensing images. ***Photogrammetric Engineering & Remote Sensing***. 2023;89(7): 427–434. DOI:10.14358/PERS.22-00103R1.
19. Qiu Y, Wu F, Yin J, et al. MSL-Net: An efficient network for building extraction from aerial imagery. ***Remote Sensing***. 2022;14(16): 3914. DOI:10.3390/rs14163914.
20. Angelis G-E, Domi A, Zamichos A, et al. On the exploration of vision transformers in remote sensing building extraction. ***IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)***. 2022: 208–215. DOI:10.1109/ISM55400.2022.00046.

21. Zhou J, Liu Y, Nie G, et al. Building extraction and floor area estimation at the village level in rural China via a comprehensive method integrating UAV photogrammetry and the novel EDSANet. ***Remote Sensing***. 2022;14(20): 5175. DOI:10.3390/rs14205175.
22. Atas İ. Performance evaluation of Jaccard-Dice coefficient on building segmentation from high resolution satellite images. ***Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering***. 2023;11(1): 100–106. DOI:10.17694/bajece.1212563.
23. He W, Li J, Cao W, et al. Building extraction from remote sensing images via an uncertainty-aware network. ***Preprint arXiv.org***, 2023. Available from: https://arxiv.org/pdf/2307.12309.pdf (Accessed: 27 Nov 2023).
24. Weng Q, Wang Q, Lin Y, Lin J. ARE-Net: an improved interactive model for accurate building extraction in high-resolution remote sensing imagery. ***Remote Sensing***. 2023;15(18): 4457. DOI:10.3390/rs15184457.
25. Yuan W, Ran W, Shi X, Shibasaki R. Multiconstraint transformer-based automatic building extraction from high-resolution remote sensing images. ***IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing***. 2023;16: 9164–9174. DOI:10.1109/JSTARS.2023.3319826.
26. Boonpook W, Tan Y, Torsri K, et al. PCL-PTD Net: parallel cross-learning-based pixel transferred deconvolutional network for building extraction in dense building areas with shadow. ***IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing***. 2022;16: 773–786. DOI:10.1109/JSTARS.2022.3230149.
27. Wang Z, Xu N, Wang B, et al. Urban building extraction from high-resolution remote sensing imagery based on multi-scale recurrent conditional generative adversarial network. ***GIScience& Remote Sensing***. 2022;59(1): 861–884. DOI:10.1080/15481603.2022.2076382.
28. Yakushenkov YG. ***Nekotorie osobennosti komp'yuternogo modelirovaniia optiko-elektronnykh sistem vizualizatsii*** [Some features of optical-electronic visualization systems computer modeling]. Mezhdunarodnaia nauchno-tehnicheskaia konferentsiia, posviashennaya 225-letiyu MIIGAiK. 2004: 116–122.
29. Shrestha S, Vanneschi L. Improved fully convolutional network with conditional random fields for building extraction. ***Remote Sensing***. 2018;10(7): 1135. DOI:10.3390/rs10071135.
30. Xu Y, Wu L, Xie Z, Chen Z. Building extraction in very high resolution remote sensing imagery using deep learning and guided filters. ***Remote Sensing***. 2018;10(1): 144. DOI:10.3390/rs10010144.
31. Wagner FH, Dalagnol R, Tarabalka Y, et al. U-Net-Id, an instance segmentation model for building extraction from satellite images — case study in the Joanópolis city, Brazil. ***Remote Sensing***. 2020;12(10): 1544. DOI:10.3390/rs12101544.
32. Schuegraf P, Bittner K. Automatic building footprint extraction from multi-resolution remote sensing images using hybrid FCN. ***Information Journal of Geo-Information***. 2019;8(4):191. DOI:10.3390/ijgi8040191.
33. Aslani M, Seipel S. A fast instance selection method for support vector machines in building extraction. ***Applied Soft Computing Journal***. 2020;97(B):106716. DOI:10.1016/j.asoc.2020.106716.
34. Yu B, Chen F. Wang N, et al. MSFTrans: a multi-task frequency-spatial learning transformer for building extraction from high spatial resolution remote sensing images. ***GIScience & Remote Sensing***. 2022;59(1):1978–1996. DOI:10.1080/15481603.2022.2143678.
35. Song J, Zhu A-X, Zhu Y. Transformer-based semantic segmentation for extraction of building footprints from very-high-resolution images. ***Sensors***. 2023;23(11): 5166. DOI:10.3390/s23115166.
36. Han J, Wang Z, Wang Y, Hou W. Building extraction algorithm from remote sensing images based on improved DeepLabv3+ network. ***Journal Of Physics: Conference Series***. 2022;2303: 012010.
37. Larionov R, Khryashchev V, Pavlov V, Demidov PG. Separation of closely located buildings on aerial images using U Net neural network. ***Proceedings of 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)***. 2020: 1–6. DOI:10.23919/FRUCT48808.2020.9087365.
38. Taha LGE, Ibrahim RE. Assessment of approaches for the extraction of building footprints from Pléiades images. ***Geomatics and Environmental Engineering***. 2021;15(4):101–116. DOI:10.7494/geom.2021.15.4.101.
39. Luo M, Ji S, Wei S. A diverse large-scale building dataset and a novel plug-and-play domain generalization method for building extraction. ***IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing***. 2023;16: 4122–4138. DOI:10.1109/JSTARS.2023.3268176.

40. Wang Z, Zhou Y, Wang F, et al. A multi-scale edge constraint network for the fine extraction of buildings from remote sensing images. *Remote Sensing*. 2023;15(4): 927. DOI:10.3390/rs15040927.
41. Alsabhan W, Alotaiby T. Automatic building extraction on satellite images using Unet and ResNet50. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022;2022: 5008854. DOI:10.1155/2022/5008854.
42. Chen K, Zou Z, Shi Z. Building extraction from remote sensing images with sparse token transformers. *Remote Sensing*. 2021;13(21): 4441. DOI:10.3390/rs13214441.
43. Xiao X, Guo W, Chen R, et al. A swin transformer-based encoding booster integrated in U-shaped network for building extraction. *Remote Sensing*. 2022;14(11): 2611. DOI:10.3390/rs14112611.
44. Shao Z, Pan Y, Diao C, Cai J. Cloud detection in remote sensing images based on multiscale features-convolutional neural network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2019;57(6): 4062–4072. DOI:10.1109/TGRS.2018.2889677.
45. Li Z, Shen H, Cheng Q, Liu Y, et al. Deep learning based cloud detection for medium and high resolution remote sensing images of different sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019;150: 197–212. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2019.02.017.

AUTHORS

Nikita A. Biryukov
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information-Measuring Systems,
Faculty of Geoinformatics and Information Security
Postgraduate student
0000-0001-9856-4696

Andrei A. Maiorov
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information-Measuring Systems,
Faculty of Geoinformatics and Information Security
Dr. Sci. (Engineering), Professor
0000-0001-5539-3719

Margarita P. Lapchinskaya
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Information-Measuring Systems,
Faculty of Geoinformatics and Information Security
PhD in Engineering, Assistant Professor
0000-0002-7354-8283

Submitted: December 01, 2023. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 911.52: 910.1
DOI:10.30533/GiA-2024-005

CC BY

Оценка потенциальной природной уязвимости ландшафтов геоинформационными методами (на примере Хабаровского края)

А.В. Остроухов[1]

[1] Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия
ostran2004@bk.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Остроухов А.В. Оценка потенциальной природной уязвимости ландшафтов геоинформационными методами (на примере Хабаровского края) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 62–72. DOI:10.30533/GiA-2024-005.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА уязвимость ландшафтов, методика оценки, территориальное планирование, Хабаровский край

АННОТАЦИЯ Для повышения пространственного разрешения и реализации расчетов на современном уровне геоинформационных баз данных проведена модификация методики оценки потенциальной природной уязвимости (ППУ) геосистем, разработанной ранее в ИВЭП ДВО. Предложена методика расчета средствами растровой калькуляции ГИС[1] покомпонентного (геолого-геоморфологической, почвенно-криогенной, пирогенной, эрозионно-денудационной) и интегрального показателя уязвимости на основе базового показателя рельефа (вычисляемого на основе индекса векторной кривизны поверхности) и 17 дополнительных коэффициентов, отражающих различные характеристики ландшафтов, определяющих реакцию геосистем на внешнее воздействие. Результат расчетов, выполненных для территории Хабаровского края, представлен пятью отдельными растрами покомпонентной и интегральной уязвимости с уровнем детализации, соответствующим масштабу карты 1 : 500 000. Максимальное распространение получили ландшафты с низкими уровнями уязвимости, на долю которых приходится 30–40 % территории, тогда как к высоко- и чрезвычайно высокоуязвимым ландшафтам относится 11,3 % геосистем. Высокая пространственная детальность получаемых данных в результате позволяет не только оценивать фоновую величину ППУ ландшафтного контура, но и проводить анализ рисков на субландшафтном уровне. Использование методов зональной

1 ГИС — геоинформационная система.

статистики позволило для каждого ландшафтного выдела вычислить характеристики максимальных, средних и преобладающих по площади значений различных компонентов уязвимости и ее интегрального значения, что позволяет проводить статистический анализ показателей по различным группам ландшафтов (по классам рельефа, типам наземного покрова, физико-географическому районированию территории и т.д.).

1 Введение

Важным компонентом региональной экологической политики слабоосвоенных территорий является идентификация земель высокой природоохранной ценности через проведение эколого-хозяйственного зонирования территории, обычно выраженное в ее экологическом каркасе. Для поддержания общей экологической стабильности и сохранения ландшафтного разнообразия региона, по мнению ряда авторов, в экологическом каркасе региона должна быть выделена особая категория земель с регламентированным режимом использования — уязвимые ландшафты [1]. Инструментом их выделения выступает методика оценки уязвимости природных комплексов по отношению к различным видам антропогенных воздействий, основанная на многокритериальном анализе компонентов природной среды [2]. Наиболее часто встречающийся подход к такой оценке — их построение на основе расчета интегрального балльно-индексного показателя. Различия наблюдаются прежде всего в размерности геосистем и наборе оцениваемых критериев [2]. Выбор и обоснование критериев оценки у различных авторов сильно разнится, но чаще всего связан с доминирующими видами антропогенного воздействия, характерными для исследуемого района [3–5].

Для выделения высокоуязвимых ландшафтов Хабаровского края ранее использовалась оценка потенциальной природной уязвимости (ППУ) геосистем по методике, разработанной в ИВЭП ДВО РАН[2]. Первоначально она предназначалась для оценки ППУ отдельных видов ландшафтов и использовала в качестве основного расчетного территориального выдела контуры, представленные на карте ландшафтов Хабаровского края в масштабе 1 : 2 500 000[3].

Однако переход на более детальный уровень ландшафтного планирования (с регионального на уровень муниципальных районов), а также реализация расчетов на современном уровне геоинформационных баз данных требует большей пространственной детализации. Кроме того, даже в пределах отдельного выдела зачастую наблюдается значительная неоднородность оцениваемых параметров, а некоторые характеристики, ранее рассчитываемые вручную, не могут быть вычислены в существующих геоинформационных системах (ГИС) (например, глубина вертикального расчленения по традиционной схеме разницы высот водораздел — тальвег).

В настоящее время для количественной оценки и моделирования ландшафтной структуры и характеристик геосистем в публикациях обсуждаются два подхода: «патчориентированные модели» (*англ.* «patch» — «заплатка») и «градиентные модели» [6]. Первые рассматривают ландшафт как набор участков среды обитания, представляющих собой экологически однородные субъединицы ландшафта. «Градиентные модели» представляют ландшафтную структуру как пространство, описываемое набором непрерывных растровых или сеточных данных, без первоначального выделения участков. Здесь ячейки сетки, или пиксели, являются наименьшими однородными и дискретными пространственными единицами, позволяющими осуществлять квазипрерывное

2 Мирзеханова З.Г., Нарбут Н.А. Методика расчета потенциальной природной уязвимости территории. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1993. 50 с.

3 Климина Е.М., Мирзеханова З.Г., Булгаков В.А., Шаров Л.А. Ландшафты Хабаровского края и факторы, ограничивающие хозяйственную деятельность. Карта 1 : 2 500 000. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2003.

изменение характеристик по всему ландшафту [6]. По мнению ряда авторов, слабоизмененные ландшафты, к каким относится бóльшая часть территории Хабаровского края, должны моделироваться с использованием градиентного подхода, что позволит получать непрерывные показатели поверхности [7]. Все это определило необходимость поиска альтернативных характеристик, которые могут быть использованы при расчете ППУ на базе инструментария ГИС.

2 Материалы и методы

Для модификации разработанной ранее методики был проведен анализ используемых в ней параметров и возможности их представления с большим уровнем пространственной детализации в среде ГИС (табл. 1).

Таблица 1
Факторы и параметры оценивания потенциальной природной уязвимости ландшафтов

Table 1
Factors and parameters for assessing the potential natural vulnerability of landscapes

Индекс	Параметр		Формат представления в ГИС
	Исходный	Модифицированный	
R	Базовый показатель рельефа	Нормированная к 10 векторная кривизна поверхности	Растр
K1	Степень дезинтеграции горных пород и рыхлых образований	То же, на основе более детального векторного покрытия	Вектор, производный растр
K2	Протяженность разрывных нарушений в границах ландшафта к площади ландшафта	Плотность разрывных нарушений, км/км^2, на основе более детального векторного покрытия	Растр
K3	Сейсмичность в баллах	То же	Вектор, производный растр
K4	Степень деградации почвенного покрова при однотипном воздействии	То же, на основе более детального векторного покрытия	
K5	Трудность восстановления почвенного покрова		
K6	Глубина, распространение и сезонность многолетнемерзлых пород		
K7	Степень потенциально возможной площади выгорания		
K8	Степень трудности восстановления биоты		
K9	Степень проективного покрытия		
K10	Число дней в году скоростью 15 м/с и более	Средняя скорость приземного ветра	Растр
K11	Среднесуточная интенсивность снеготаяния (запас воды в снеге перед таянием, деленный на количество дней от начала разрушения до схода снежного покрова)	То же, на основе более детального растрового покрытия	
K12	Максимальная интенсивность ливней за пятиминутный интервал	То же	
K13	Максимальная амплитуда на поверхности почвы за апрель (период особой неустойчивости температурного режима)	Среднесуточный диапазон температур, усредненный за 1 год	
K14	Количество гроз в году	То же	
K15	Количество дней в году с влажностью воздуха ниже или равно 30% в год	Индекс влажности климата месяца с наибольшим дефицитом осадков	
K16	Высота снежного покрова в первой декаде декабря	Высота снежного покрова в первой декаде декабря	
K17	Не использовался	Чистая первичная продуктивность	

Для геосистем масштабов порядка 1 : 500 000–1 : 1 000 000, особенно в горных областях, к которым относится бóльшая часть края, ведущим ландшафтообразующим компонентом является рельеф, который к тому же обусловливает фундаментальные свойства ландшафта. Его морфоструктурные, морфологические и морфометрические свойства прямо или опосредованно проявляются в процессах эрозионной, денудационной и пирогенной уязвимости. Согласно методике расчета, общая потенциальная природная уязвимость включает четыре составляющие: геолого-геоморфологическую, почвенно-криогенную, пирогенную, эрозионно-денудационную уязвимости, что определяется основными видами природопользования на территории края и связанными с ними направлениями трансформации природных комплексов. Каждый из компонентов рассчитывается на основе произведения базового показателя рельефа на сумму множительных коэффициентов, отражающих различные характеристики ландшафтов, определяющих реакцию геосистем на внешнее воздействие.

В разработанной ранее методике оценки ППУ в основе ранжирования рельефа использованы морфологические и морфометрические свойства поверхности. Кроме того, опосредованно учитывается и ее генезис. Естественно, многообразие типов рельефа не позволяет в выделении базового показателя учитывать все признаки в обобщенном виде, поэтому за основу взяты морфометрические характеристики, включающие в себя абсолютную высоту, густоту и глубину эрозионного расчленения. Для каждого типа рельефа определяется начальный балл: от 1–3 для аккумулятивных равнин до 7–10 для среднегорий и высокогорий, распределение значений баллов для различных классов рельефа имеет линейную зависимость.

Наряду с топографическими, геологическими картами использование геоинформационных технологий позволяет активно применять цифровые модели рельефа (ЦМР) на основе данных дистанционного зондирования Земли. Авторами данного исследования использовались данные MERIT Hydro DEM (пространственное разрешение на широте Хабаровского края — 42 м/пиксель), прошедшие гидрологическую коррекцию [8]. На основе обработки материалов ЦМР в модуле Spatial Analyst программы ArcMAP 10.8 был рассчитан ряд показателей, применяемых для оценки степени и характера расчленения территории: индекс расчлененности поверхности LSRI (отражает плотность контурных линий в данной области), индекс неровности ландшафта TRI (на основе суммы разности высот по вертикали в соседних ячейках) и др. Следует отметить, что эти индексы имеют значимый недостаток, а именно выраженную корреляцию с уклоном поверхности (коэффициент корреляции TPI — уклон равен 0,95) [9] и недооценку значения перепадов высот.

Альтернативой их использования, по мнению авторов, является применение показателя векторной кривизны поверхности VRM (*англ.* — «Vector Ruggedness Measure»), предложенного и разработанного R.D. Hobson[4] и реализованного для программного комплекса ArcMAP 9.1–10.8 J.M. Sappington [9]. Данный индекс отражает два тесно связанных параметра крутизны и экспозиции склона [как разность в трехмерной ориентации дисперсии векторов нормали (ортогональной) соседних ячеек сетки] и имеет значимые различия для участков земной поверхности различной высоты, уклонов, перепадов высот и генезиса.

Для использования индекса VRM в качестве базового показателя ограничением является его низкое значение (в пределах края — от 0,0002 до 0,009), что приведет к крайне низким величинам ППУ, а также нивелирует его различия для равнинных видов рельефа различного генезиса. Поэтому было проведено нормирование показателей VRM к 10 баллам по методу естественных границ.

Дополнительно в виде множительных коэффициентов к баллу рельефа рассчитываются характеристики, отражающие роль каждого фактора в усилении негативных процессов. Они оцениваются по разработанным ранее шкалам,

4 Hobson R.D. Surface roughness in topography: quantitative approach. R.J. Chorley (ed.). Spatial analysis in geomorphology. USA. New York: Harper and Row; 1972. P. 221–245.

и им присваивается индексная оценка от 0 до 1, или их значения в пределах территории края нормируются к 1.

Все показатели, представленные в методике, можно условно разделить на две группы: привязанные к ландшафтным границам и сформированные на основе независимых покрытий. В первом случае проблема повышения пространственного разрешения связана с увеличением детализации ландшафтной карты, являющейся основой расчетов. В настоящее время используется авторская карта «Ландшафты Хабаровского края» с пространственной детализацией, соответствующей масштабу 1 : 500 000 (против 1 : 2 500 000), на основе которой определялись характеристики растительного и почвенного покровов и связанные с ними расчетные коэффициенты (К1, К4, К5, К7–К9). На карте отражено 19 168 отдельных выделов (против 390), относящихся к 375 видам ландшафтов. Полученные векторные покрытия представлялись в виде растровых данных значений отдельных коэффициентов с пространственным разрешением, соответствующим разрешению растра VRM.

Из второй группы показателей ряд параметров в настоящее время не имеет данных большей пространственной детализации (К3, К6), и они используются в существующем виде. Для этого проведена векторизация опубликованных растровых карт и конвертация полей значений поправочных коэффициентов в растр.

Большую и самую проблемную группу показателей представляют климатические параметры, ранее получаемые из Научно-прикладного справочника по климату СССР[5]. К сожалению, из 66 метеостанций, расположенных на территории края и на прилегающих территориях на сегодняшний день, действует 23, но далеко не на всех из них проводятся наблюдения за характеристиками, используемыми при расчетах. Кроме того, и в методическом плане проблема моделирования полей климатических данных на основе сильно разреженной сети метеостанций с учетом рельефа представляет собой отдельную нетривиальную задачу. Решением стал подбор аналогичных или близких по значению климатических данных проекта CHELSA (Climatologies at high resolution for the Earth's land surface areas)[6]. Эти материалы доступны в виде растровых данных с пространственным разрешением 900 м/пиксель. Из семи климатических переменных, применяемых при расчете ППУ, пять представлены или имеют аналоги в базе данных CHELSA (табл. 1), но две характеристики (К12 и К14) в ней отсутствуют и рассчитаны на основе данных Научно-прикладного справочника по климату СССР методом интерполяции растра инструментами Spatial Analyst. Для приведения исходного пространственного разрешения данных проекта CHELSA (900 м/пиксель) к используемому при расчетах применялся метод кубической свертки, когда значение каждого пикселя вычисляется аппроксимацией по сглаженной кривой на основе значений окружающих 16 пикселей. В результате все оцениваемые характеристики представлялись в виде растровых данных с пространственным разрешением 42 м/пиксель. Расчет проводился методами растровой калькуляции в программе ArcMAP 10.8 по формулам, приведенным далее:

— геолого-геоморфологическая уязвимость (GG):

$$GG = R \cdot (K1 + K2 + K3), \quad (1)$$

где R — оценочный балл рельефа;
К1, К2, К3 — соответственно множительные коэффициенты (см. табл. 1);

— почвенно-криогенная уязвимость (Q):

5 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 25. Хабаровский край, Амурская область. 1992. 558 с.

6 Karger D.N., Lange S., Hari C., et al. CHELSA-W5E5 v1.0: W5E5 v1.0 downscaled with CHELSA v2.0. ISIMIP Repository. 2021. [Электронный ресурс]: https://data.isimip.org/10.48364/ISIMIP.836809 (дата обращения: 22.09.2023).

$$Q = R \cdot (K4 + K5 + K6 + K13 + K16); \quad (2)$$

– пирогенная уязвимость (P):

$$P = R \cdot (K7 + K8 + K14 + K15 + K17); \quad (3)$$

– эрозионно-денудационная уязвимость (EDU):

$$EDU = R \cdot (K1 + K2 + K4 + K9 + K10 + K11 + K12); \quad (4)$$

– интегральный показатель потенциальной природной уязвимости (ППУ)

$$ППУ = R \cdot \sum K. \quad (5)$$

Формула (5) отличается от исходной, когда для расчета интегрального показателя ППУ использовалось произведение четырех отдельных компонентов (GG, P, Q, EDU). Это приводило к резкому увеличению значимости базового показателя рельефа (R), перекрывающему вклад остальных факторов, так как эта величина применялась как множитель в формулах (1)–(4), и она, по сути, возводилась в четвертую степень.

3 Результаты и обсуждение

Результат расчетов первоначально представлен пятью отдельными растрами покомпонентной и интегральной уязвимости (рис. 1, в). В дальнейшем с использованием методов зональной статистики для каждого ландшафтного выдела были получены характеристики минимальных, максимальных, средних и преобладающих по площади значений различных компонентов уязвимости и ее интегрального значения.

На рис. 1 приведена карта ППУ территории Хабаровского края, представленная в виде растра (рис. 1, б) и в векторном представлении (рис. 1, г) на основе преобладающего по площади значения ППУ в каждом ландшафтном контуре. Сравнительный анализ уязвимости ландшафтов и размещения орографических структур (рис. 1, а, б), с одной стороны, показывает тесную связь полученных показателей с рельефом, с другой — далеко не всегда наиболее высокие и расчлененные горные сооружения имеют максимальные значения уязвимости. Примером может служить хребет Сунтар-Хаята, где расположена высочайшая точка края (северная граница территории). Его ландшафты характеризуются высокими значениями VRM (см. рис. 1, б), при этом показатели ППУ имеют средние, а местами и низкие величины.

Рассматривая территорию края в целом, необходимо отметить, что максимальное распространение получили ландшафты с низкими уровнями интегральной уязвимости (табл. 2), на долю которых приходится 30–40 % площадей, причем эти цифры близки как при анализе структуры площадей по растровым данным, так и при расчете суммы преобладающих по площади значений в пределах отдельных ландшафтных контуров.

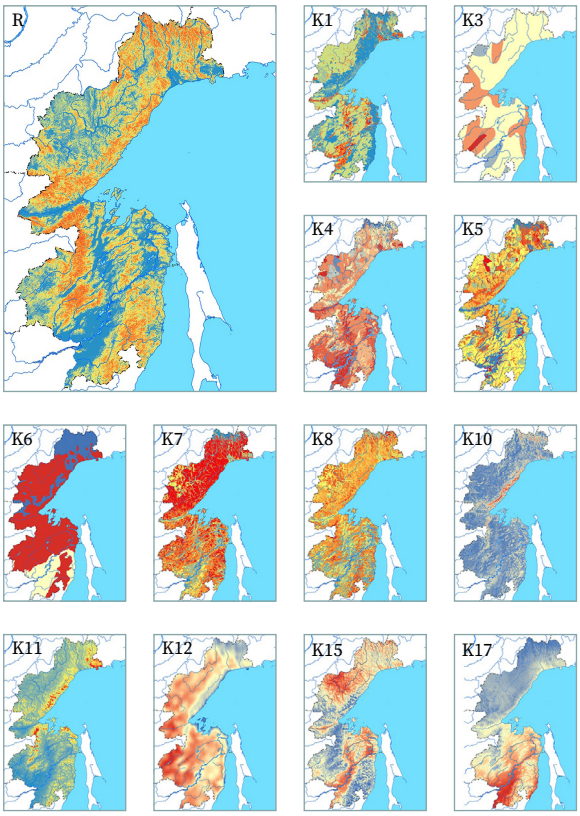
На долю высоко- и чрезвычайно высокоуязвимых ландшафтов приходится 11,3 % территории края (см. табл. 2), причем эта величина значительно ниже, чем доля высокоуязвимых геосистем Хабаровского края, рассчитанная ранее по карте ландшафтов в масштабе 1 : 2 500 000 [10], когда она достигла 25 % площади края.

Это обусловлено как большей пространственной детализацией расчетов, так и осреднением при расчетах вручную базового показателя рельефа для контуров крупного размера. В результате ранее высокое значение индекса ППУ присваивалось всему контуру, зачастую крайне неоднородному по растительному и почвенному покрову и морфометрическим характеристикам рельефа. При этом

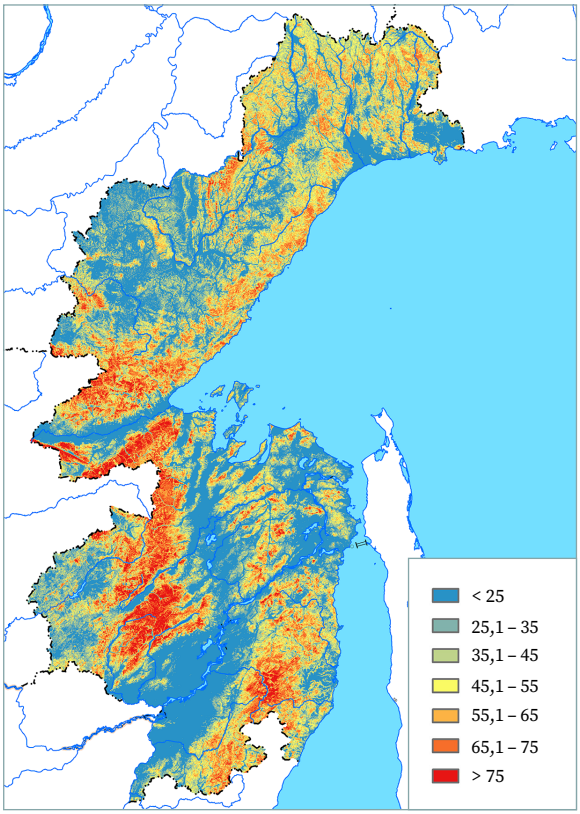
а) Основные орографические структуры /
Basic orographic structures



б) Исходные данные /
Initial data



в) Потенциальная природная уязвимость в растровом представлении / Potential natural vulnerability in raster



г) Потенциальная природная уязвимость в векторном представлении / Potential natural vulnerability in vector

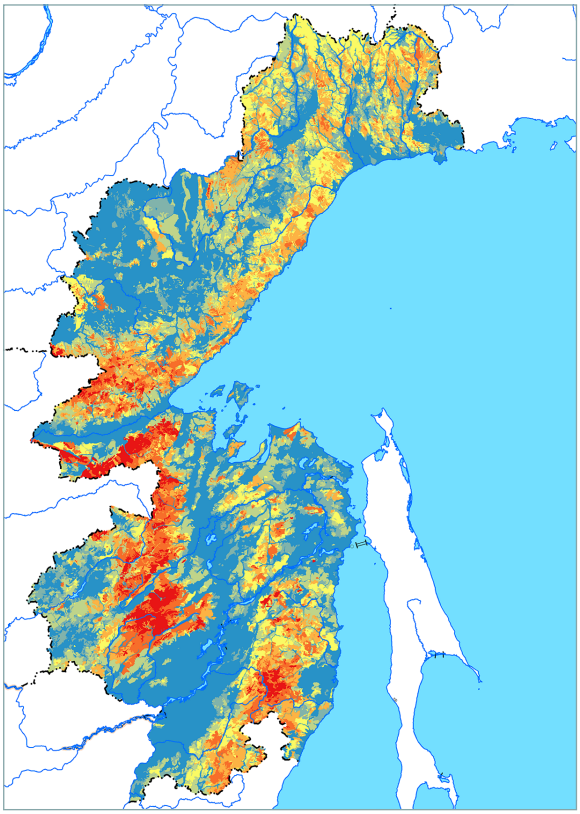


Рис. 1
Потенциальная природная уязвимость территории Хабаровского края

Fig. 1
Potential natural vulnerability of the Khabarovsk Territory

Таблица 2
Площади территорий с различными уровнями интегральной уязвимости, рассчитанные по растровым данным и в пределах ландшафтных границ, процент общей площади края

Table 2
Areas of territories with different levels of integral vulnerability calculated from raster data and within landscape boundaries, percentage of the total area of the region

Уровень	Растр	Ландшафтные границы	
		площади	STD
Очень низкий	32,7	40,0	3,9
Низкий	15,2	9,7	7,6
Ниже среднего	14,0	14,5	8,7
Средний	14,7	11,8	7,9
Выше среднего	12,4	12,8	7,9
Высокий	7,7	7,9	7,5
Чрезвычайно высокий	3,3	3,4	7,1

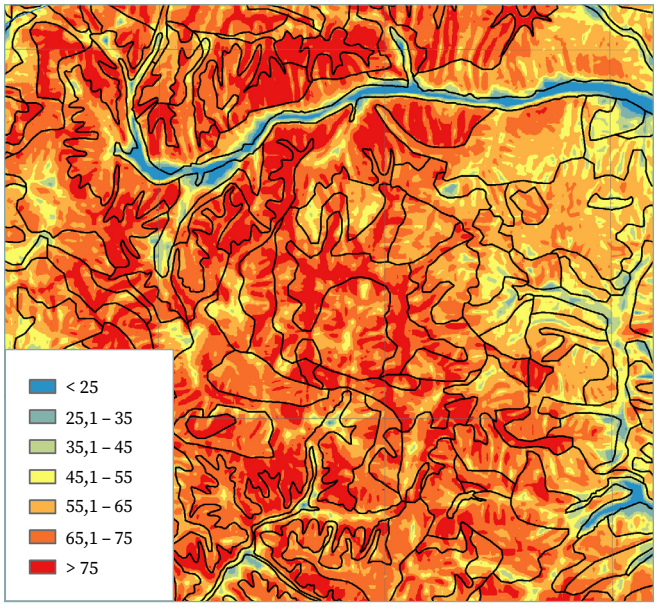


Рис. 2
Растровое представление индекса потенциальной природной уязвимости и границы ландшафтных контуров

Fig. 2
Raster representation of the Potential Natural Vulnerability Index and the boundary of landscape contours

даже при гораздо большей детализации расчетов (19 168 отдельных выделов против 390) в пределах отдельных ландшафтных контуров наблюдается значительный диапазон значений. В табл. 2 приведено среднее стандартное отклонение величины ППУ в пределах ландшафтных границ с преобладающим по площади значением того или иного уровня. Его величины отражают значительные вариации характеристик уязвимости в пределах одного контура, который по фоновым значениям индекса относится к одному классу, но в его границах есть участки с гораздо более низкими или высокими значениями, выходящими за пределы границ основного для контура диапазона (рис. 2).

Высокая пространственная детальность получаемых данных в результате позволяет не только оценивать фоновую величину ППУ ландшафтного контура, но и проводить анализ рисков на субландшафтном уровне.

4 Выводы

Модифицированная методика расчета покомпонентного и интегрального показателя ППУ позволяет на современной геоинформационной основе получить данные среднего пространственного разрешения, характеризующие уязвимость ландшафтов под влиянием различных видов природопользования. Результаты расчетов, получаемые в растровом представлении с разрешением 42 м/пиксель в квазинепрерывном виде, могут быть представлены с использованием методов зональной статистики для характеристики средних, максимальных и преобладающих по площади значений конкретных ландшафтных контуров. Это позволяет проводить статистический анализ показателей уязвимости по различным группам ландшафтов (по классам рельефа, типам наземного покрова, физико-географическому районированию территории и т.д.).

Использование модифицированной методики позволяет выполнить оценку опасности трансформации ландшафтов территории Хабаровского края с уровнем детализации, соответствующим масштабу карты 1 : 500 000, что делает возможным ее применение в процессе эколого-хозяйственного зонирования территории для выделения уязвимых ландшафтов при идентификации земель высокой природоохранной ценности.

БЛАГОДАРНОСТИ Автор выражает благодарность З.Г. Мирзехановой и Е.М. Климиной за профессиональные советы и критику при подготовке статьи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мирзеханова З.Г., Климина Е.М., Остроухов А.В. Уязвимые ландшафты в структуре экологического планирования территории Хабаровского края // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2008. № 1(137). С. 74–78.
2. Кесорецких И.И., Зотов С.И. Методика оценки уязвимости природных комплексов к антропогенным воздействиям // Вестник БФУ им. И. Канта — Естественные и медицинские науки. 2012. № 1. С. 51–57.
3. Кесорецких И.И., Зотов С.И., Дробиз М.В. Оценка пространственной и временной изменчивости показателя уязвимости ландшафтов Калининградской области как компонент экологически ориентированного территориального планирования // Балтийский регион. 2015. № 4(26). С. 162–180. DOI:10.5922/2074-9848-2015-4-10.
4. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. Оценка устойчивости ландшафтов территории освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 45–51. DOI:10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(45-51).
5. Озгелдинова Ж.О., Мукаев Ж.Т., Оспан Г.Т. Оценка потенциала устойчивости геосистем в условиях антропогенных воздействий (на примере бассейна реки Сарысу) // Гидрометеорология и экология. 2020. № 3(98). С. 19–33.
6. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А. и др. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов: от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 45–53. DOI:10.17513/use.37330.
7. Lausch A., Blaschke T., Haase D., et al. Understanding and quantifying landscape structure — A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics // Ecological Modelling. 2015. Vol. 295. P. 31–41. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018.
8. Yamazaki D., Ikeshima D., Sosa, J., et al. MERIT Hydro: a high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset // Water Resources Research. 2019. Vol. 55. P. 5053–5073. DOI:10.1029/2019WR024873.
9. Sappington J.M., Longshore K.M., Thomson D.B. Quantifiying Landscape Ruggedness for Animal Habitat Anaysis: A case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert // Journal of Wildlife Management. 2007. Vol. 71. Iss. 5. P. 1419–1426. DOI:10.2193/2005-723.
10. Климина Е.М. Ландшафтно-картографическое обеспечение территориального планирования (на примере Хабаровского края). Владивосток: Дальнаука, 2007. 132 с.

АВТОР

Остроухов Андрей Вячеславович
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия
лаборатория оптимизации регионального природопользования
канд. геогр. наук
0000-0002-9203-9097

Поступила 09.02.2024. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 911.52: 910.1
DOI:10.30533/GiA-2024-005

CC BY

Assessment of the potential natural vulnerability of landscapes using geoinformation methods (by the example of the Khabarovsk Territory)

Andrey V. Ostroukhov[1]

[1] Institute of Water and Ecology problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia
ostran2004@bk.ru

CITATION Ostroukhov AV. Assessment of the potential natural vulnerability of landscapes using geoinformation methods (by the example of the Khabarovsk Territory). *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying.* 2024;68(1): 62–72. DOI:10.30533/GiA-2024-005.

KEYWORDS vulnerability of landscapes, assessment methodology, spatial planning, Khabarovsk Territory

ABSTRACT In order to increase the spatial resolution and implement calculations at the modern level of geoinformation databases, a modification of the methodology for assessing the potential natural vulnerability (PNV) of geosystems developed earlier in the IWEP FEB was carried out. A methodology is proposed for calculating component-by-component (geological-geomorphological, soil-cryogenic, pyrogenic, erosion-denudation) and integral vulnerability indicators based on a basic relief indicator (calculated based on the index of vector curvature of the surface) and 17 additional coefficients reflecting various characteristics of landscapes that determine the response of geosystems to external influences.

The result of calculations performed for the area of the Khabarovsk Territory is represented by 5 separate rasters of component-by-component and integral vulnerability with a level of detail corresponding to the map scale of 1 : 500,000. Landscapes with low vulnerability levels, which account for 30–40 % of the territory, have become the most widespread, while 11.3 % of geosystems belong to highly and extremely vulnerable landscapes. The high spatial detail of the resulting data makes it possible to evaluate not only the background value of the PNV of the landscape contour, but also to conduct a risk analysis at the sublandscape level. The use of zonal statistics methods made it possible for each landscape allocation to calculate the characteristics of the maximum, average and area-prevailing values of various vulnerability components and its integral value, which allows to conduct statistical analysis of indicators for various groups of landscapes (by relief classes, types of land cover, physical and geographical zoning of the territory, etc.).

ACKNOWLEDGEMENTS The author would like to thank Z.G. Mirzekhanova and E.M. Klimina for professional advices and criticism in the implementation of this work.

REFERENCES

1. Mirzekhanova ZG, Klimina EM, Ostroukhov AV. Vulnerable Landscapes in the Structure of Environmental Planning of the Khabarovsk Territory. ***Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences.*** 2008;137(1): 74–78. (In Russian).
2. Kesoretskikh II, Zotov SI. Methodology for assessing the vulnerability of natural complexes to anthropogenic impacts. ***IKBFU'S Vestnik: Natural and Medical Sciences***. 2012;1: 51–57. (In Russian).
3. Kesoretskikh II, Zotov SI, Drobiz MV Assessing spatial and temporal changes in the landscape vulnerability in the Kaliningrad region as an element of sustainable spatial planning. ***Baltic Region***. 2015;26(4): 122–136. DOI:10.5922/2079-8555-2015-4-10.
4. Nikolaeva NA, Pinigin DD. Assessment of the Stability of the Landscapes of the Elga Coal Deposit Development Area. ***Geografiya i prirodnye resursy***. 2019;1: 45–51. (In Russian). DOI:10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(45-51).
5. Ozgeldinova ZhO, Mukaev ZhT, Ospan GT. Assessment of the Sustainability Potential of Geosystems under Anthropogenic Impacts (Case Study of the Sarysu River Basin). ***Gidrometeorologiya i ekologiya***. 2020;3(98): 19–33. (In Russian).
6. Dmitriev VV, Ogurtsov AN, Sedova SA, et al. Integral Assessment of Stability of Terrestrial Landscapes: From Point Scores to Composite Indices Based on Territorial Determinants. ***Advances in current natural sciences***. 2020;2: 45–53. (In Russian). DOI:10.17513/use.37330.
7. Lausch A, Blaschke T, Haase D, et al. Understanding and quantifying landscape structure — A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. ***Ecological Modelling***. 2015;295: 31–41. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018.
8. Yamazaki D, Ikeshima D, Sosa J, et al. MERIT Hydro: a high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. ***Water Resources Research***. 2019;55: 5053–5073. DOI:10.1029/2019WR024873.
9. Sappington JM, Longshore KM, Thomson DB. Quantifiying Landscape Ruggedness for Animal Habitat Anaysis: A case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert. ***Journal of Wildlife Management.*** 2007;71(5): 1419–1426. DOI:10.2193/2005-723.
10. Klimina EM. ***Landshaftno-kartograficheskoe obespechenie territorial'nogo planirovaniya (na primere Khabarovskogo kraya)*** [Landscape and Cartographic Support of Territorial Planning (on the Example of the Khabarovsk Territory)]. Vladivostok: Dal'nauka; 2007. 132 p.

AUTHOR **Andrey V. Ostroukhov**
Institute of Water and Ecological Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia
Laboratory for Optimization of Regional Environmental Management
PhD in Geography
0000-0002-9203-9097

Submitted: February 09, 2024. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 528.4
DOI:10.30533/GiA-2024-006

CC BY

Оценка состояния лесного фонда провинции Донг Най Вьетнама по данным дистанционного зондирования Земли

В.Ф. Ковязин[1] ✉, **Чыонг Ан Нгуен**[1]

[1] Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия
✉ vfkedr@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Ковязин В.Ф., Нгуен Чыонг Ан. Оценка состояния лесного фонда провинции Донг Най Вьетнама по данным дистанционного зондирования Земли // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 73–83. DOI:10.30533/GiA-2024-006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА лесной фонд, состояние растительности, дистанционное зондирование Земли, машинное обучение, вегетационный индекс

АННОТАЦИЯ Статья посвящена оценке текущего состояния лесного фонда в провинции Донг Най, Вьетнам, с использованием данных, собранных с помощью технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Исследование направлено на применение методов дистанционного зондирования для получения данных о площади лесов, видовом разнообразии и изменениях в лесной среде. Методы обработки снимков и классификации наземного покрова на основе данных ДЗЗ объединены на платформе Google Earth Engine для эффективной оценки изменений в лесном фонде под воздействием различных факторов, таких как урбанизация, лесозаготовка, изменение климата, лесовосстановительные и прочие работы, политика местных органов власти. Путем интеграции данных ДЗЗ и методов классификации объектов с использованием алгоритмов машинного обучения проведена оценка текущего состояния наземного покрова через определение вегетационного индекса NDVI. Статья представляет собой всеобъемлющий обзор состояния лесного фонда в провинции Донг Най. Результаты анализа данных показывают, что с 2010 по 2020 год площадь смешанных лесов увеличилась на 20 632 га (12,17 %), а широколиственных лесов — на 23 263 га (29,15 %), в то время как площадь других категорий наземного покрова имеет тенденцию к снижению, что свидетельствует о положительных результатах в сфере сохранения, защиты и развития лесов. Результаты исследования не только предоставляют информацию о площади и распределении лесов, но и являются базой данных для планирования мероприятий по управлению и сохранению лесного фонда провинции Донг Най в условиях антропогенного воздействия и изменения климатических условий.

1 Введение

Лес — природный ресурс, который играет важную роль в регулировании состояния атмосферы и сохранении биологического разнообразия экосистем [1, 2]. Сокращение площади лесных земель и проблемы в области охраны окружающей среды ставят перед Министерством сельского хозяйства и сельского развития Вьетнама задачу по оценке состояния лесного фонда страны [3].

Оценка текущего состояния лесного фонда с использованием новых научных и технологических средств позволяет обеспечить эффективное управление лесными ресурсами и их сохранение. Методика оценки разрабатывается с учетом тематики научных исследований в соответствии с целями и задачами. Наиболее часто применяются методы сравнения, обобщения и анализа временных рядов [4, 5]. Эти методы сочетаются с современными цифровыми технологиями, основанными на комплексной оценке разнообразных характеристик почвы и лесных угодий, с целью предоставления объективных результатов исследований [6]. Традиционные методы, такие как наземные измерения и статистические методы, постепенно дополняются и даже заменяются передовыми технологиями [7].

Технология дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) играет важную роль в сборе данных на глобальном уровне с высоким разрешением и большим числом наблюдений. Изображения и данные ДЗЗ со спутников, беспилотных летательных аппаратов и пилотируемых летательных средств предоставляют всесторонний обзор динамики площади, структуры и изменений состава лесов и таксационных (оценочных) показателей древостоев [8, 9]. Автоматизированные системы сенсоров окружающей среды, методы машинного обучения и искусственный интеллект интегрируются для предоставления подробной информации о состоянии лесных ресурсов и их биологическом разнообразии, изменениях окружающей среды и антропогенных факторах риска [10, 11]. Применяемые в настоящее время программы оптимизированы для анализа пространственных объектов и их визуализации [12]. Многими исследователями во всем мире доказана эффективность применения цифровых технологий для оценки состояния лесных ресурсов. Проекты, такие как Global Forest Watch, используют данные дистанционного зондирования и сетевые технологии для мониторинга лесов в глобальном масштабе, способствуя выявлению воздействия климатических и антропогенных факторов на развитие лесных экосистем [13].

Провинция Вьетнама Донг Най, благодаря своему уникальному географическому положению и разнообразию природной среды, является важным объектом исследования (рис. 1).

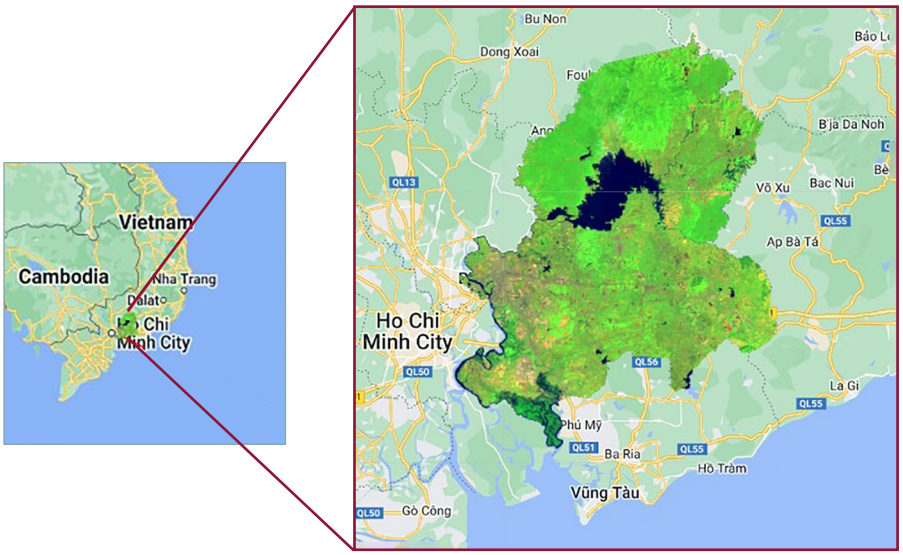


Рис. 1
Расположение провинции Донг Най

Fig. 1
Location of Dong Nai province

Донг Най — быстро развивающийся регион, где происходит активное взаимодействие человека с природной средой [14]. Текущее состояние лесов в провинции Донг Най изменяется из-за расширения границ города Биен Хоа, заготовки древесины, частых лесных пожаров и других антропогенных воздействий, что осложняет управление лесными ресурсами и их сохранение [15, 16].

Данное исследование сфокусировано на сопоставлении данных ДЗЗ с текущим состоянием природной среды в провинции Донг Най. Технология ДЗЗ, позволяющая собирать глобальные и детализированные данные, — мощный инструмент для поддержки точного измерения и оценки состояния лесов, а также для понимания проблем, с которыми сталкивается администрация провинции Донг Най [17]. Технология ДЗЗ помогает точно оценить динамику состояния лесного фонда и дает возможность разработки эффективных прикладных стратегий управления ресурсами и их сохранения [18].

2 Материалы и методы

При проведении исследования использовались спутниковые изображения с платформ Landsat 7, Landsat 8 и Sentinel-2, которые не только служат источниками изображений с высоким разрешением, но и обеспечивают согласованность в процессе мониторинга изменений в окружающей среде [19, 20]. Так, данные Landsat и Sentinel обеспечили возможность многоканального наблюдения для более точной классификации и оценки состояния, биологического разнообразия и структуры лесов [21, 22]. В табл. 1 приведены исходные материалы исследования.

Таблица 1
Характеристики исходных спутниковых изображений для исследования

Table 1
Characteristics of initial satellite images for research

Год	Идентификатор снимков	Параметры данных	Источник данных
2010	LE07_124052_20101210 LE07_124052_20101226 LE07_124052_20100127 LE07_124052_20100212 LE07_124053_20101210 LE07_124053_20101226 LE07_124053_20100127 LE07_124053_20100316 LE07_125052_20100115 (T1_L2)	USGS Landsat 7 Level 2, Collection 2, Tier 1. Пространственное разрешение 30 м	Геологическая служба США
2015	LC08_124052_20150130 LC08_124052_20150215 LC08_124052_20150303 LC08_125052_20150218 LC08_125052_20150322 LC08_125053_20150218 LC08_125052_20150918 LC08_125052_20150108 LC08_125052_20150124 LC08_125053_20150222 (T1_RT)	USGS Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1; Landsat 8 Collection 2 Tier 1 and Real-Time. Пространственное разрешение 30 м	Геологическая служба США
2020	20200106T033238_T48PXT 20200113T031703_T48PYS 20200128T031602_T48PYT 20200215T033330_T48PXT 20200225T032822_T48PXT 20200227T031435_T48PXT 20200227T031435_T48PYT 20201209T031716_T48PXT 20201209T031716_T48PYT	USGS Landsat 8 Collection 2 Tier 1 and Real-Time; пространственное разрешение 30 м. Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A; пространственное разрешение 10 м	Геологическая служба США; Европейское космическое агентство

Применен алгоритм машинного обучения Random Forest, интегрированный в платформу Google Earth Engine (GEE), для классификации категорий наземного покрова на основе данных спутниковых изображений [23, 24]. Гибкость этого алгоритма позволяет обрабатывать большие объемы данных, поддерживая высокую точность классификации [25, 26]. Для оценки качества результатов классификации использован коэффициент каппа — статистический показатель точности классификационной модели [27], который широко используется для оценки качества разработки тематических карт на основе данных ДЗЗ [28]. Кроме того, оценено текущее состояние растительного покрова на основе нормализованного разностного вегетационного индекса (*англ.* — «Normalized Difference Vegetation Index», NDVI) — важного показателя для измерения зеленой массы растений [29, 30].

Изменения площадей категорий наземного покрова оценивались с учетом природной среды и биологическим разнообразием экосистем с использованием синтетических и статистических методов [31].

3 Результаты и обсуждение

На основе входных данных ДЗЗ платформа GEE позволила определить значения NDVI для лесного фонда провинции Донг Най для временного интервала 2010, 2015 и 2020 годов [32]. На рис. 2 представлены изменения этого индекса по максимальным, минимальным и средним значениям. Результаты вычислений NDVI преобразовывались в формат TIF для дальнейшей обработки и загружались в программное обеспечение ArcGIS для создания карт NDVI, что позволило визуально оценить изменения растительного покрова на территории провинции Донг Най [33] (рис. 3).

Рисунки 2 и 3 демонстрируют изменение значений NDVI, соответствующее изменению структуры растительного покрова. Максимальные и средние значения этого индекса увеличиваются в течение 10 лет, что свидетельствует

Рис. 2
Динамика значений индекса NDVI в провинции Донг Най

Fig. 2
Dynamics of NDVI index values in Dong Nai province

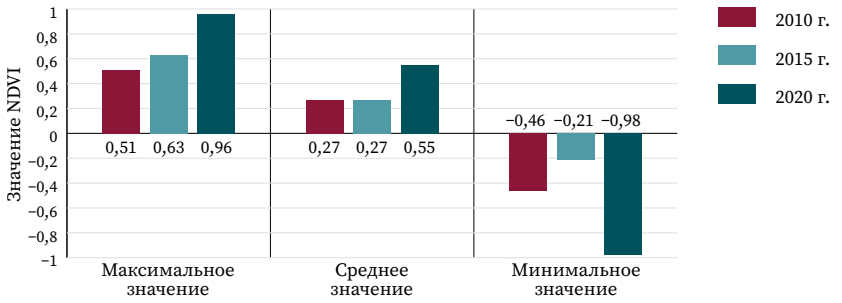
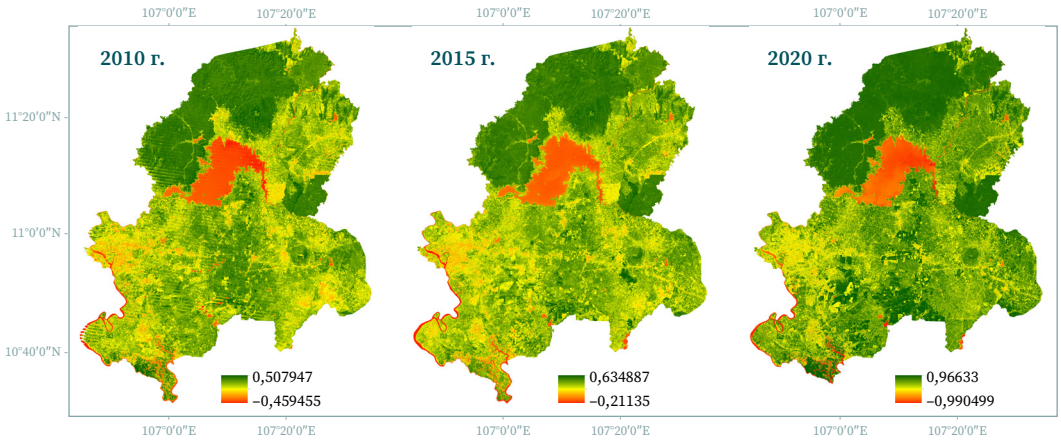


Рис. 3
Карты NDVI провинции Донг Най

Fig. 3
NDVI maps of Dong Nai province



N

Масштаб
1 : 600 000

о разрастании растительного покрова в 2020 году по сравнению с предшествующими годами. Минимальные значения индекса NDVI также изменяются, достигая минимума в 2020 году (−0,98). Это свидетельствует об ухудшении санитарных условий некоторых растительных сообществ.

Алгоритм Random Forest применяется для классификации наземного покрова на основе обучающих образцов [34]. Объем образцов разделен на пропорцию 75 % для классификации и 25 % для оценки точности [35].

В табл. 2 представлены краткие характеристики классифицированных категорий наземного покрова, в табл. 3 — результаты оценки точности классификации наземного покрова. Полученные результаты свидетельствуют о надежности проведенной классификации. После классификации результаты исследования обработаны с использованием программного обеспечения ArcGIS для создания карт наземного покрова в период с 2010 по 2020 год (рис. 4).

Динамика площадей категорий наземного покрова приведена в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что в период с 2010 по 2020 год площадь смешанных лесов увеличилась на 20 632 га (12,17 %), а широколиственных — на 23 263 га (29,15 %),

Таблица 2
Краткие характеристики классифицированных категорий наземного покрова

Table 2
Brief characteristics of classified land cover categories

Вид угодий	Характеристика
Водный фонд	Один из важнейших компонентов природы, занимает большую часть земной поверхности
Нерастительные объекты	Незанятые участки, жилые зоны и другие искусственные сооружения
Кустарники, луга и сельскохозяйственные земли	Травы, кустарники, травянистые растения, обычно имеющие небольшую высоту по сравнению с лесными деревьями, способные образовывать простирания, выживающие в различных средах
Смешанные леса	Лиственные и хвойные растения, создающие смешанную среду, богатую разнообразием видов растений и экосистем
Широколиственные леса	Растения с широкими листьями, часто опадающие зимой, обычно существуют во влажном тропическом климате

Таблица 3
Оценка точности классификации наземного покрова провинции Донг Най

Table 3
Accuracy assessment of land cover classification in Dong Nai province

Год	Точность			Коэффициент каппа
	Общая	Пользователя	Производителя	
2010	0,79	0,81	0,78	0,78
2015	0,85	0,89	0,82	0,83
2020	0,91	0,83	0,77	0,88

Рис. 4
Карты наземного покрова провинции Донг Най

Fig. 4
Land cover maps of Dong Nai province

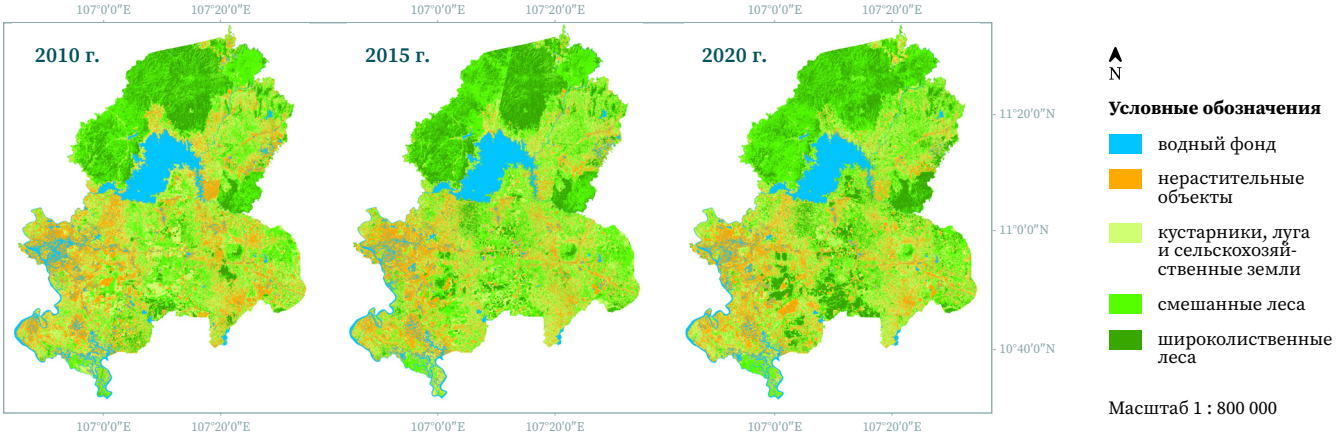


Таблица 4
Динамика площади категорий наземного покрова провинции Донг Най

Table 4
Dynamics of the area of land cover categories in Dong Nai province

Категория наземного покрова угодий	2010 г.		2015 г.		2020 г.	
	га	%	га	%	га	%
Водный фонд	58 737	9,95	53 070	8,99	49 093	8,32
Нерастительные объекты	124 615	21,11	105 402	17,86	103 081	17,46
Кустарники, луга и сельскохозяйственные земли	157 588	26,70	147 635	25,01	144 871	24,54
Смешанные леса	169 496	28,72	188 758	31,98	190 128	32,22
Широколиственные леса	79 812	13,52	95 383	16,16	103 075	17,46
Итого	**590 248**	**100,00**	**590 248**	**100,00**	**590 248**	**100,00**

в то время как площадь угодий других категорий уменьшилась. Это свидетельствует об изменении структуры использования земель в провинции. Таким образом, часть площадей кустарников и лугов переведена в лесные земли, при этом сохранена необходимая для сельскохозяйственного производства площадь земель. Увеличение площади лесного фонда провинции позволит сократить содержание углекислоты в атмосфере и улучшить состояние воздуха за счет легких ионов кислорода.

4 Выводы

Благодаря данным дистанционного зондирования Landsat 7, Landsat 8 и Sentinel-2 авторами данного исследования получена подробная информация о текущем состоянии леса от площади до структуры, что позволило обстоятельно оценить биоразнообразие в провинции Донг Най.

По результатам анализа изменения площади леса сделан вывод об антропогенном воздействии на состояние, биоразнообразие и структуру экосистемы.

Использование алгоритма Random Forest и данных дистанционного зондирования позволило точно классифицировать наземный покров, а также оценить производительность модели с использованием коэффициента каппа.

Оценка качества растительного покрова на основе индекса NDVI расширила представление о динамике и состоянии лесных ресурсов и окружающей среды.

Авторами предложена базовая стратегия управления лесными ресурсами и их сохранения с учетом воздействия природных условий и антропогенных факторов на природную систему.

Данное исследование подчеркивает важность применения технологий ДЗЗ и научного знания для защиты и сохранения природных ресурсов. Предполагается применение полученных результатов в отношении лесного фонда других провинций и республики Вьетнам в целом.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Narayan K., Khanindra P., Abhisek C., et al. Forest health assessment for geo-environmental planning and management in hilltop mining areas using Hyperion and Landsat data // Ecological Indicators. 2019. Vol. 106. P. 105471. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105471.
2. Paal T., Zobel K., Liira J. Standardized response signatures of functional traits pinpoint limiting ecological filters during the migration of forest plant species into wooded corridors // Ecological Indicators. 2020. Vol. 108. P. 105688. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105688.
3. Pham V.T., Do T.A.T., Tran D.H., Do T.N.A. Classifying forest cover and mapping forest fire susceptibility in Dak Nong province, Vietnam utilizing remote sensing and machine learning // Ecological Informatics. 2023. Vol. 79. P. 102392. DOI:10.1016/j.ecoinf.2023.102392.
4. Баникевич Т.Д., Быкова Е.Н. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного использования и оценка качества почв: взаимосвязь и перспективы // Journal of Agriculture and Environment. 2023. Т. 33. № 5. DOI:10.23649/JAE.2023.33.6.

5. Матрохина К.В., Трофимец В.Я., Мазаков Е.Б. и др. Развитие методологии сценарного анализа инвестиционных проектов предприятий минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. 2023. № 259. С. 112–124. DOI:10.31897/PMI.2023.3.
6. Лепихина О.Ю., Правдина Е.А. Вариативный учет ценообразующих факторов при кадастровой оценке земель (на примере города Санкт-Петербурга) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 2. № 330. С. 65–74. DOI:10.18799/24131830/2019/2/94.
7. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С. и др. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 180–193. DOI:10.31897/PMI.2023.22.
8. Ковязин В.Ф., Нгуен Ч.А., Нгуен Т.Ч. Мониторинг земель лесного фонда провинции Кон Тум Вьетнама по данным дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. 2023. Т. 84. № 8. С. 57–64. DOI:10.22389/0016-7126-2023-998-8-57-64.
9. Chepyzhova A.V., Pravdina E.A., Lepikhina O.Y. Comparative evaluation of the effectiveness of the laser scanning and aerial photography systems using unmanned aerial vehicles // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1333. P. 032064. DOI:10.1088/1742-6596/1333/3/032064.
10. Bykowa E., Skachkova M., Raguzin I., et al. Automation of Negative Infrastructural Externalities Assessment Methods to Determine the Cost of Land Resources Based on the Development of a “Thin Client” Model // Sustainability. 2022. Vol. 14. P. 9383. DOI:10.3390/su14159383.
11. Потехин Д.В., Галкин С.В. Применение технологии машинного обучения при моделировании распределения литотипов на пермокарбоновой залежи нефти Усинского месторождения // Записки Горного института. 2023. Т. 259. С. 41–51. DOI:10.31897/PMI.2022.101.
12. Baltyzhakova T.L., Romanchikov A. Spatial analysis of subway passenger traffic in Saint Petersburg // Geodesy and Cartography. 2021. Vol.47. P. 10–20. DOI:10.3846/gac.2021.11980.
13. Rossi F., Breidenbach J., Puliti S., et al. Assessing Harvested Sites in a Forested Boreal Mountain Catchment through Global Forest Watch // Remote Sensing. 2019. Vol. 11. P. 543. DOI:10.3390/rs11050543.
14. Данг В.Х., Фан В.З., Потокин А.Ф. Разнообразие лекарственных растений в составе лесной растительности на территории заповедника «Донг Най», Вьетнам // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 227. С. 107–122. DOI:10.21266/2079-4304.2019.227.107-122.
15. Verma S., Soni M., Kumar H., et al. Characterizing aerosols during forest fires over Uttarakhand region in India using multi-satellite remote sensing data // Advances in Space Research. 2022. Vol. 70. P. 947–960. DOI:10.1016/j.asr.2022.05.051.
16. Camarretta N., Harrison P., Bailey T., et al. Monitoring forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches // New Forests. 2020. Vol. 51. P. 573–596. DOI:10.1007/s11056-019-09754-5.
17. Paudyal K., Samsudin Y.B., Baral H., et al. Spatial Assessment of Ecosystem Services from Planted Forests in Central Vietnam // Forests. 2020. Vol. 11. P. 822. DOI:10.3390/f11080822.
18. Корнилов Ю.Н., Романчиков А.Ю., Боголюбова А.А. Оценка деформационных процессов фотограмметрическим способом в Agisoft Metashape // Геодезия и картография. 2023. № 10. С. 2–11. DOI:10.22389/0016-7126-2023-1000-10-2-11.
19. Chen N., Tsendbazar N.E., Hamunyela E., et al. Sub-annual tropical forest disturbance monitoring using harmonized Landsat and Sentinel-2 data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2021. Vol. 102. P. 102386. DOI:10.1016/j.jag.2021.102386.
20. Arévalo P., Baccini A., Woodcock C.E., et al. Continuous mapping of aboveground biomass using Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2023. Vol. 288. P. 113483. DOI:10.1016/j.rse.2023.113483.
21. Li H., Zhang G., Zhong Q., et al. Prediction of Urban Forest Aboveground Carbon Using Machine Learning Based on Landsat 8 and Sentinel-2: A Case Study of Shanghai, China // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. P. 284. DOI:10.3390/rs15010284.
22. Zeng Y., Wang S., Zhao T., Wang J. An application of tree species classification using high-resolution remote sensing image based on the rough set theory // Multimedia Tools and Applications. 2017. Vol. 76. P. 22999–23015. DOI:10.1007/s11042-016-4210-8.

23. Zhao J., Peng H., Yang J., et al. Response of winter wheat to different drought levels based on Google Earth Engine in the Huang-Huai-Hai Region, China // Agricultural Water Management. 2024. Vol. 292. P. 108662. DOI:10.1016/j.agwat.2023.108662.
24. Zurqani H.A. The first generation of a regional-scale 1-m forest canopy cover dataset using machine learning and Google Earth engine cloud computing platform: A case study of Arkansas, USA // Data in Brief. 2024. Vol. 52. P. 109986. DOI:10.1016/j.dib.2023.109986.
25. Prasad P., Loveson V.J., Chandra P., Koth M. Evaluation and comparison of the earth observing sensors in land cover / land use studies using machine learning algorithms // Ecological Informatics. 2022. Vol. 68. P. 101522. DOI:10.1016/j.ecoinf.2021.101522.
26. Sanchez L.M., See L., Yordanov M., et al. Automatic classification of land cover from LUCAS in-situ landscape photos using semantic segmentation and a Random Forest model // Environmental Modelling & Software. 2024. Vol. 172. P. 105931. DOI:10.1016/j.envsoft.2023.105931.
27. Li M., Gao Q., Yu T. Using appropriate Kappa statistic in evaluating inter-rater reliability. Short communication on “Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Totko river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques” // Chemosphere. 2023. Vol. 328. P. 138565. DOI:10.1016/j.chemosphere.2023.138565.
28. Foody G.M. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification // Remote Sensing of Environment. 2020. Vol.239. P. 111630. DOI:10.1016/j.rse.2019.111630.
29. Скачкова М.Е., Гурьева О.С. Мониторинг состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга по материалам дистанционного зондирования // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 5. С. 51–57. DOI:10.18412/1816-0395-2023-5-51-57.
30. Xu Y., Dai Q.Y., Lu Y.G., et al. Identification of ecologically sensitive zones affected by climate change and anthropogenic activities in Southwest China through a NDVI-based spatial-temporal model // Ecological Indicators. 2024. Vol. 158. P. 111482. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111482.
31. Чукаева М.А., Сапелко Т.В. Оценка экологического состояния водных экосистем по изучению донных отложений озер // Записки Горного института. 2024. С. 1–10.
32. Ma S., He B., Ge X., Luo X. Spatial prediction of soil salinity based on the Google Earth Engine platform with multitemporal synthetic remote sensing images // Ecological Informatics. 2023. Vol. 75. P. 102111. DOI:10.1016/j.ecoinf.2023.102111.
33. Rashid B., Sheik R., Haque E., et al. Salinity-induced change in green vegetation and land use patterns using remote sensing, NDVI, and GIS techniques: A case study on the southwestern coast of Bangladesh // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023. Vol. 7. P. 100314. DOI:10.1016/j.cscee.2023.100314.
34. Sun Z., Wang G., Li P., et al. An improved random forest based on the classification accuracy and correlation measurement of decision trees // Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 237. P. 121549. DOI:10.1016/j.eswa.2023.121549.
35. Eddine H.K., Saleh S., Hajjar J., et al. Evaluation of the accuracy of new modalities in the assessment and classification of lumbar lordosis: A comparison to Cobb’s angle measurement // Heliyon. 2023. Vol. 9. P. e18952. DOI:10.1016/j.heliyon.2023.e18952.

АВТОРЫ

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

Нгуен Чыонг Ан
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Санкт-Петербург, Россия
кафедра землеустройства и кадастров, строительный факультет
0000-0002-4881-7947

Поступила 20.01.2024. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 528.4
DOI:10.30533/GiA-2024-006

CC BY

Assessment of the forest fund state in Dong Nai province, Vietnam, using remote sensing data of Earth

Vasily F. Kovyazin[1] ✉, **Truong An Nguyen**[1]

[1] Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia
✉ vfkedr@mail.ru

CITATION Kovyazin VF, Truong An Nguyen. Assessment of the forest fund state in Dong Nai province, Vietnam, using remote sensing data of Earth. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2024;68(1): 73–83. DOI:10.30533/GiA-2024-006.

KEYWORDS forest fund, vegetation state, remote sensing, machine learning, vegetation index

ABSTRACT This research presents an in-depth evaluation of the current state of the forest fund in Dong Nai province, Vietnam, utilizing advanced remote sensing data. Landsat 7, Landsat 8, and Sentinel-2 satellite imagery were employed, offering comprehensive insights into forest dynamics, structure, and biodiversity. Incorporating cutting-edge technology, the study applied the Random Forest machine learning algorithm and Google Earth Engine platform to accurately classify land cover types, assessed through the Kappa coefficient for model performance. Vegetation cover quality and health were further evaluated using the Normalized Difference Vegetation Index, enhancing our understanding of environmental vitality. These technologies allow for effective assessment of changes in the forest fund under the influence of various factors, such as urbanization, logging, climate change, reforestation and local government policies. The research synthesizes findings to propose fundamental conservation and management strategies, aligning with the region's unique natural conditions and biodiversity. This study marks a pivotal step toward leveraging technology and scientific understanding to sustainably preserve and develop Dong Nai province's vital forest resources for future generations.

REFERENCES

1. Narayan K, Khanindra P, Abhisek C, et al. Forest health assessment for geo-environmental planning and management in hilltop mining areas using Hyperion and Landsat data. *Ecological Indicators*. 2019;106: 105471. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105471.
2. Paal T, Zobel K, Liira J. Standardized response signatures of functional traits pinpoint limiting ecological filters during the migration of forest plant species into wooded corridors. *Ecological Indicators*. 2020;108: 105688. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105688.

3. Pham VT, Do TAT, Tran DH, Do TNA. Classifying forest cover and mapping forest fire susceptibility in Dak Nong province, Vietnam utilizing remote sensing and machine learning. ***Ecological Informatics***. 2023;79: 102392. DOI:10.1016/j.ecoinf.2023.102392.
4. Banikevich TD, Bykowa EN. Cadastral valuation of agricultural land and soil quality assessment: relation and perspectives. ***Journal of Agriculture and Environment***. 2023;33(5). (In Russian) DOI:10.23649/JAE.2023.33.6.
5. Matrokhina KV, Trofimets VY, Mazakov EB, et al. Development of methodology for scenario analysis of investment projects of enterprises of the mineral resource complex. ***Journal of Mining Institute***. 2023;259: 112–124. (In Russian). DOI:10.31897/PMI.2023.3.
6. Lepikhina OY, Pravdina EA. Variable accounting of pricing factors at land parcels cadastral valuation (on the example of Saint-Petersburg). ***Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering***. 2019;330(2): 65–74. (In Russian). DOI:10.18799/24131830/2019/2/94.
7. Buzmakov SA, Sannikov PY, Kuchin LS, et al. The use of unmanned aerial photography for interpreting the technogenic transformation of the natural environment during the oilfield operation. ***Journal of Mining Institute***. 2023;260: 180–193. (In Russian). DOI:10.31897/PMI.2023.22.
8. Kovyazin VF, Nguyen TA, Nguyen TT. Monitoring the forest fund lands of Kon Tum province, Vietnam using remote sensing data of Earth. ***Geodesy and cartography***. 2023;84(8): 57–64. (in Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-998-8-57-64.
9. Chepyzhova AV, Pravdina EA, Lepikhina OY. Comparative evaluation of the effectiveness of the laser scanning and aerial photography systems using unmanned aerial vehicles. ***Journal of Physics: Conference Series***. 2019;1333: 032064. DOI:10.1088/1742-6596/1333/3/032064.
10. Bykowa E, Skachkova M, Raguzin I, et al. Automation of Negative Infrastructural Externalities Assessment Methods to Determine the Cost of Land Resources Based on the Development of a "Thin Client" Model. ***Sustainability.*** 2022;14(15): 9383. DOI:10.3390/su14159383.
11. Potekhin DV, Galkin SV. Use of machine learning technology to model the distribution of lithotypes in the Permo-Carboniferous oil deposit of the Usinskoye field. ***Journal of Mining Institute***. 2023;259: 41–51. (In Russian). DOI:10.31897/PMI.2022.101.
12. Baltyzhakova TL, Romanchikov AY. Spatial analysis of subway passenger traffic in Saint Petersburg. ***Geodesy and Cartography***. 2021;47: 10–20. DOI:10.3846/gac.2021.11980/.
13. Rossi F, Breidenbach J, Puliti S, et al. Assessing Harvested Sites in a Forested Boreal Mountain Catchment through Global Forest Watch. ***Remote Sensing***. 2019;11: 543. DOI:10.3390/rs11050543.
14. Dang VH, Fan VZ, Potokin AF. Diversity of medicinal plants in the forest vegetation of the "Dong Nai" reserve, Vietnam. ***Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii***. 2019;227: 107–122. (In Russian). DOI:10.21266/2079-4304.2019.227.107-122.
15. Verma S, Soni M, Kumar H, et al. Characterizing aerosols during forest fires over Uttarakhand region in India using multi-satellite remote sensing data. ***Advances in Space Research***. 2022;70: 947–960. DOI:10.1016/j.asr.2022.05.051.
16. Camarretta N, Harrison P, Bailey T, et al. Monitoring forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches. ***New Forests***. 2020;51: 573–596. DOI:10.1007/s11056-019-09754-5.
17. Paudyal K, Samsudin YB, Baral H, et al. Spatial Assessment of Ecosystem Services from Planted Forests in Central Vietnam. ***Forests***. 2020;11(8): 822. DOI:10.3390/f11080822.
18. Kornilov YN, Romanchikov AY, Bogolyubova AA. Assessment of deformation processes using photogrammetric method in Agisoft Metashape. ***Geodesy and Cartography***. 2023;10: 2–11. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-1000-10-2-11.
19. Chen N, Tsendbazar NE, Hamunyela E, et al. Sub-annual tropical forest disturbance monitoring using harmonized Landsat and Sentinel-2 data. ***International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation***. 2021;102: 102386. DOI:10.1016/j.jag.2021.102386.
20. Arévalo P, Baccini A, Woodcock CE, et al. Continuous mapping of aboveground biomass using Landsat time series. ***Remote Sensing of Environment***. 2023;288: 113483. DOI:10.1016/j.rse.2023.113483.
21. Li H, Zhang G, Zhong Q, et al. Prediction of Urban Forest Aboveground Carbon Using Machine Learning Based on Landsat 8 and Sentinel-2: A Case Study of Shanghai, China. ***Remote Sensing***. 2023;15: 284. DOI:10.3390/rs15010284.

22. Zeng Y, Wang S, Zhao T, Wang J. An application of tree species classification using high-resolution remote sensing image based on the rough set theory. ***Multimedia Tools and Applications***. 2017;76: 22999–23015. DOI:10.1007/s11042-016-4210-8.
23. Zhao J, Peng H, Yang J, et al. Response of winter wheat to different drought levels based on Google Earth Engine in the Huang-Huai-Hai Region, China. ***Agricultural Water Management***. 2024;292: 108662. DOI:10.1016/j.agwat.2023.108662.
24. Zurqani HA. The first generation of a regional-scale 1-m forest canopy cover dataset using machine learning and google earth engine cloud computing platform: A case study of Arkansas, USA. ***Data in Brief***. 2024;52: 109986. DOI:10.1016/j.dib.2023.109986.
25. Prasad P, Loveson VJ, Chandra P, Koth M. Evaluation and comparison of the earth observing sensors in land cover / land use studies using machine learning algorithms. ***Ecological Informatics***. 2022;68: 101522. DOI:10.1016/j.ecoinf.2021.101522.
26. Sanchez LM, See L, Yordanov M, et al. Automatic classification of land cover from LUCAS in-situ landscape photos using semantic segmentation and a Random Forest model. ***Environmental Modelling & Software***. 2024;172: 105931. DOI:10.1016/j.envsoft.2023.105931.
27. Li M, Gao Q, Yu T. Using appropriate Kappa statistic in evaluating inter-rater reliability. Short communication on "Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Totko river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques". ***Chemosphere***. 2023;328: 138565. DOI:10.1016/j.chemosphere.2023.138565.
28. Foody GM. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. ***Remote Sensing of Environment***. 2020;239: 111630. DOI:10.1016/j.rse.2019.111630.
29. Skachkova ME, Guryeva OS. Monitoring of the State of Saint Petersburg Green Spaces by Remote Sensing Data. ***Ecology and Industry of Russia***. 2023;27(5): 51–57. (In Russian). DOI:10.18412/1816-0395-2023-5-51-57.
30. Xu Y, Dai QY, Lu YG, et al. Identification of ecologically sensitive zones affected by climate change and anthropogenic activities in Southwest China through a NDVI-based spatial-temporal model. ***Ecological Indicators***. 2024;158: 111482. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111482.
31. Chukaeva MA, Sapelko TV. Assessment of the ecological state of aquatic ecosystems by studying lake bottom sediments. ***Journal of Mining Institute***. 2024. P. 1–10. (In Russian).
32. Ma S, He B, Ge X, Luo X. Spatial prediction of soil salinity based on the Google Earth Engine platform with multitemporal synthetic remote sensing images. ***Ecological Informatics***. 2023;75: 102111. DOI:10.1016/j.ecoinf.2023.102111.
33. Rashid B, Sheik R, Haque E, et al. Salinity-induced change in green vegetation and land use patterns using remote sensing, NDVI, and GIS techniques: A case study on the southwestern coast of Bangladesh. ***Case Studies in Chemical and Environmental Engineering***. 2023;7: 100314. DOI:10.1016/j.cscee.2023.100314.
34. Sun Z, Wang G, Li P, et al. An improved random forest based on the classification accuracy and correlation measurement of decision trees. ***Expert Systems with Applications***. 2024;237: 121549. DOI:10.1016/j.eswa.2023.121549.
35. Eddine HK, Saleh S, Hajjar J, et al. Evaluation of the accuracy of new modalities in the assessment and classification of lumbar lordosis: A comparison to Cobb's angle measurement. ***Heliyon***. 2023;9: e18952. DOI:10.1016/j.heliyon.2023.e18952.

AUTHORS

Vasily F. Kovyazin
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Civil Engineering
Dr. Sci. (Biology), Professor
0000-0002-3118-8515

Truong An Nguyen
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia
Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Civil Engineering
0000-0002-4881-7947

Submitted: January 21, 2024. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.

УДК 332.6; 629.73
DOI:10.30533/GiA-2024-007

CC BY

Практика сбора, анализа и обработки семантических и пространственных данных о землях сельскохозяйственного назначения для информационного обеспечения кадастровой оценки

М.В. Козина[1], Н.А. Студенкова[2], Н.В. Гатина[1], Д.Е. Пальцева[1]

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[2] Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия
kozinamv@tpu.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Козина М.В., Студенкова Н.А., Гатина Н.В., Пальцева Д.Е. Практика сбора, анализа и обработки семантических и пространственных данных о землях сельскохозяйственного назначения для информационного обеспечения кадастровой оценки // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2024. Т. 68. № 1. С. 84-98. DOI:10.30533/GiA-2024-007.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА кадастровая оценка, земли сельскохозяйственного назначения, мониторинг земель, информационное обеспечение, аэрофотосъемка, ценообразующие факторы

АННОТАЦИЯ Актуальность статьи обусловлена несовершенством существующей информационной обеспеченности государственной кадастровой оценки в отношении земель сельскохозяйственного назначения (ЗСН) в России. Сложившаяся практика проведения кадастровой оценки ЗСН доказывает, что в отношении земель этой категории имеется дефицит информации о значениях ценообразующих факторов данного сегмента, определенных в действующих методических указаниях. В рамках исследования на примере земельного участка окрестностей села Баткат Шегарского района Томской области проведен комплекс работ по сбору исходных пространственных данных о ЗСН по аэрофотосъемке (АФС) с применением беспилотных летательных аппаратов, оцифрованы и проанализированы материалы мониторинга, сформирована цифровая база пространственных данных и созданы цифровые тематические карты территории для возможности их использования при проведении кадастровой оценки. Результаты исследования показали важность геодезического обоснования для проведения АФС и картографического представления данных мониторинга ЗСН в местной системе координат для обеспечения возможности интеграции получаемых данных с кадастровыми данными в Едином государственном реестре недвижимости.

В настоящем исследовании продемонстрирован подход усреднения значений агрохимических показателей, полученных в результате мониторинга плодородия почв ЗСН для каждого земельного участка. Исследование показало, что перечень ценообразующих факторов, определенных в методике кадастровой оценки объектов недвижимости для сельскохозяйственного сегмента, не соотносится с перечнем получаемых на сегодняшний день показателей мониторинга плодородия почв ЗСН как единственного источника получения фактических сведений о состоянии ЗСН.

1 Введение

В настоящее время в России урегулировано большинство вопросов, возникающих в рамках использования информационно-телекоммуникационных технологий в различных сферах деятельности, в том числе в сфере земельно-имущественных отношений.

Однако в соответствии с заданными Правительством РФ[1] стратегическими целями развития цифровой экономики на 2017–2030 годы, в условиях которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства, предстоит продолжать совершенствование и формирование информационного пространства страны с учетом потребностей граждан и общества в получении качественных и достоверных сведений.

Ввиду того, что управление сферой развития пространственных данных [1] РФ затрагивает интересы неограниченного круга лиц и влияет на конкурентоспособность страны, качество жизни граждан, обеспечивает экономический рост и национальный суверенитет, вектор развития в сфере земельных и имущественных отношений направлен на создание Национальной системы пространственных данных[2]. Она включает в себя данные об объектах недвижимости, пространственные данные, сведения о зарегистрированных правах на недвижимое имущество и государственной кадастровой оценке.

Главной предпосылкой создания Национальной системы пространственных данных стал ряд проблем в сфере развития земельных и имущественных отношений, в том числе проблемы, связанные с межведомственной разрозненностью пространственных данных и несовершенством организационно-технической и информационной обеспеченности процесса проведения государственной кадастровой оценки [2, 3], в особенности земель сельскохозяйственного назначения (ЗСН) [4].

Одним из важных пунктов действующей универсальной для всех объектов недвижимости методики кадастровой оценки [5] является перечень ценообразующих факторов в отношении земель сельскохозяйственного назначения [6], выделенный в качестве сегмента «Сельскохозяйственное использование»[3].

Как показывает практика [4], в большинстве расчетов кадастровой стоимости ЗСН, представленных в отчетах Фонда данных кадастровой оценки, не используются ценообразующие факторы из данного сегмента по причине отсутствия, неактуальности или недостоверности сведений о состоянии ЗСН. Следствием неиспользования таких сведений являются недостаточно полное определение

1 Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/#review (дата обращения: 18.12.2023).

2 Постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации „Национальная система пространственных данных“». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://base.garant.ru/403170285/ (дата обращения: 18.12.2023).

3 Приказ Росреестра от 4 августа 2021 г. № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_403900/ (дата обращения: 15.12.2023).

кадастровой стоимости и присвоение статуса особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий, поскольку одним из критериев внесения сельскохозяйственных угодий в перечень особо ценных является кадастровая стоимость земельного участка.

На сегодняшний день ключевой системой по предоставлению информации о состоянии ЗСН является государственный мониторинг земель [7], в рамках которого сведения о показателях состояния плодородия ЗСН актуализируются за счет данных, получаемых федеральными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России, в результате осуществления мониторинга плодородия почв ЗСН [8].

Несмотря на то, что результаты мониторинга ЗСН служат основным источником сведений о состоянии земельных участков данной категории, которые могли бы быть использованы для определения кадастровой стоимости, в настоящее время это затруднительно по ряду причин:

- ввиду недостаточного финансирования в процессе обследования ЗСН получают сокращенный перечень показателей плодородия, отличный от рекомендованного Методическими указаниями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения[4]. В результате такие сведения не всегда сопоставимы с перечнем необходимых для кадастровой оценки ценообразующих факторов;
- одним из главных условий эффективности мониторинга является периодичность наблюдений, однако в настоящее время проведение мониторинговых наблюдений характеризуется нерегулярностью проводимых работ по обследованию ЗСН [9];
- сбор, анализ и обработка семантических и пространственных данных о ЗСН, получаемых в результате мониторинга, проводятся без предварительного геодезического обоснования и привязки к местным системам координат, принятым для ведения Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН).

Таким образом, для цифрового развития системы кадастровой оценки [10, 11] и определения справедливой кадастровой стоимости ЗСН необходимо обеспечить реализацию комплекса мер, направленных на установление полных и достоверных сведений о ЗСН, наполнение федеральных и региональных информационных систем [Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН), ЕГРН, Реестра ЗСН и региональных геоинформационных систем (ГИС)] сопоставимыми сведениями и на формирование единой цифровой базы [12], позволяющей агрегировать все необходимые данные о состоянии и использовании ЗСН [4].

В связи с этим первостепенной научно-технической задачей является формирование подходов к развитию цифровой инфраструктуры системы кадастровой оценки и ее информационного обеспечения в отношении ЗСН [4].

Целью настоящего исследования является проведение комплексных работ по сбору и анализу пространственных данных о ЗСН на экспериментальном участке, в том числе проведение аэрофотосъемки (АФС) с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оцифровка материалов мониторинга ЗСН, формирование цифровой базы пространственных данных, позволяющих создание цифровых тематических карт для проведения кадастровой оценки ЗСН.

4 Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200076297 (дата обращения: 15.12.2023).

2 Материалы и методы

2.1 Анализ развития информационных ресурсов Томской области в отношении ЗСН

В настоящем исследовании представлены результаты комплексных работ по сбору и анализу пространственных данных, в том числе АФС с применением БПЛА, оцифровке материалов мониторинга ЗСН, формированию цифровой базы пространственных данных и созданию цифровых тематических карт для проведения кадастровой оценки ЗСН на примере территории в окрестностях села Баткат Шегарского района Томской области.

Анализ сложившейся ситуации за последние 10 лет показал, что в Томской области неоднократно предпринимались попытки сбора и систематизации данных о ЗСН. Так, во исполнение решений Правительства РФ о развитии информационного обеспечения сельскохозяйственного землепользования в 2013 году по инициативе Департамента по социально-экономическому развитию села Томской области был разработан и реализован проект «Сбор, систематизация и анализ данных для реализации учета и мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в Томской области» [13]. Конечной целью данного проекта являлось создание региональной системы учета ЗСН.

В реализации проекта были задействованы ФГБУ «Агрохимическая служба», Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа РАСХН. Работы предполагали несколько этапов:

1) сбор исходной информации;
2) уточнение границ полей по космическим снимкам высокого разрешения;
3) создание электронной карты полей;
4) обследование полей;
5) создание базы пространственных данных на основе программного обеспечения (ПО) «Агроуправление» и ее наполнение атрибутивной информацией [13][5].

С 2013 по 2015 год были собраны, обработаны и проанализированы данные по пяти районам Томской области: Кожевниковскому, Шегарскому, Зырянскому, Первомайскому и Томскому.

В результате проведенной работы в Томской области был сформирован региональный информационный ресурс по электронному учету ЗСН на основе ПО «Агроуправление», созданы электронные карты сельхозземель с привязкой к сельскохозяйственным организациям, по каждой из которых собрана агрономическая информация [13].

Кроме того, в перспективе проект предусматривал учет неиспользуемых земель для передачи в муниципальную собственность и дальнейшую передачу земель эффективным пользователям, прогнозирование урожайности, внедрение точного земледелия и др.

Однако согласно официальным данным, опубликованным в докладах Минсельхоза России за 2016–2018 годы, геоаналитическая информационная система «Агроуправление» по Томской области несколько лет находилась в стадии разработки, но не была введена в эксплуатацию[6].

---

5 Электронные карты сельхозугодий [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://tshi.tomsk.ru/index.php/home-6/2011-12-21-10-53-37/691-2013-11-15-05-06-43 (дата обращения: 23.12.2023).

6 Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году; Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2017 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cctmcx.ru/monitoring-zemel/state_land/ (дата обращения: 23.12.2023).

Позднее, в 2019 году, Департаментом по социально-экономическому развитию села было заявлено о разработке проекта региональной цифровой платформы[7]. А уже в 2020 году в регионе в тестовую эксплуатацию введена автоматизированная информационная система «Реестр сельхозтоваропроизводителей Томской области» (ИС РЕСПТО)[8]. Информационная система является частью интеграционной платформы для управления агропромышленным комплексом (АПК) региона. Она предназначена для осуществления электронного документооборота (предоставление отчетов) между сельскохозяйственными производителями и органами власти. Можно предположить, что в дальнейшем функциональные возможности системы будут расширяться, а накапливаемая в ней информация использоваться для решения задач управления АПК региона.

Необходимо также отметить, что в 2022 году Правительством РФ утверждена Программа экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных авиационных систем в Томской области[9]. По данным Томского филиала ФГБУ «Центр Агроаналитики», в рамках реализации этой программы в области запущен проект по обследованию ЗСН с использованием БПЛА. По данным Администрации Томской области, в регионе существует потребность в инвентаризации ЗСН на площади не менее 260 тыс. га. Так, в 2022 году для решения задач инвентаризации сельскохозяйственных земель и обеспечения качественного мониторинга в регионе было запланировано проведение АФС полей в пяти районах Томской области: Первомайском, Зырянском, Кожевниковском, Шегарском и Томском[10].

Результатом выполненных работ должны были стать ортофотопланы сельскохозяйственных земель, цифровые модели рельефа местности, карты высот и уклонов, векторные полигональные слои сельскохозяйственных угодий.

Кроме того, было запланировано использование полученных данных для актуализации информации, содержащейся в ЕФИС ЗСН и региональной ИС РЕСПТО. Однако официально опубликованные данные о факте и результате проведенных работ отсутствуют.

Также необходимо обратить внимание на тот факт, что при попытках создания цифровой базы данных о ЗСН и использовании для этих целей данных с БПЛА не придается значения таким важным и обязательным работам, как наземная геодезическая подготовка перед проведением АФС.

Масштабные работы по проведению АФС сельскохозяйственных земель с целью получения достоверной информации о состоянии и использовании таких земель и, таким образом, решения задач инвентаризации, обеспечения качественного мониторинга, сопоставления с кадастровыми границами земельных участков и, как следствие, расширения перечня сведений о земельных участках такого назначения, в обязательном порядке должны предусматривать работы по проведению геодезического обоснования. Геодезическое обоснование необходимо для выполнения геодезической съемки в заданной системе координат. Оно включает в себя закрепление на местности временных или постоянных реперов либо пунктов геодезической сети [14, 15]. При этом для дальнейшей привязки ортофотопланов к местности [16] при работе в ГИС координаты опознаков должны быть определены в местных системах

7 Томский агровестник. Ежеквартальный информационный бюллетень. 2019. № 4 (64). 48 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.elib.tomsk.ru/purl/1-23241/ (дата обращения: 23.12.2023).

8 Сайт ФГБУ «Центр Агроаналитики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://specagro.ru/news/202101/cifrovizaciya-apk-tomskoy-oblasti (дата обращения: 23.12.2023).

9 Постановление Правительства РФ от 24 марта 2022 г. № 458 «Об установлении правового режима в сфере цифровых инноваций и утверждении Программы экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных авиационных систем в Томской области». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203260012 (дата обращения: 19.12.2023).

10 ФГБУ «Центр Агроаналитики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://specagro.ru/news/202203/v-tomskoy-oblasti-v-2022-godu-dlya-inventarizacii-zemel-i-selskokhozyaystvennykh-rabot (дата обращения: 19.12.2023).

координат, использующихся для ведения ЕГРН. Это имеет огромное значение для возможности использования таких данных и актуализации Национальной системы пространственных данных [17].

2.2 Исходные данные

В результате осуществления сбора пространственных данных о ЗСН в окрестностях села Баткат Шегарского района Томской области были получены следующие материалы:

- результаты мониторинга плодородия почв ЗСН 2018 года, выполненные ФГБУ «Станция агрохимической службы „Томская“»;
- каталоги координат пунктов государственной геодезической сети (ГГС), содержащихся в государственных фондах пространственных данных;
- карты внутрихозяйственного землеустройства (архивные материалы);
- космические снимки Sentinel, Google;
- кадастровый план территории Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии;
- аэрофотоснимки, полученные в результате выполнения АФС территории с применением БПЛА.

2.3 Выполнение АФС на ЗСН

В рамках исследования была выполнена АФС территории в окрестностях села Баткат Шегарского района Томской области с использованием квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO для актуализации картографического материала и получения аэрофотоплана ЗСН.

Для создания точного ортофотоплана местности с пространственным разрешением от 5 см/пиксель и выше, точность определения плановых координат которого должна составлять не более 2,5 м в соответствии с установленными нормативами к точности на ЗСН, было создано планово-высотное обоснование (ПВО) в координатной системе, в которой ведется ЕГРН.

В ходе подготовительных работ из Федерального фонда пространственных данных были получены каталоги координат трех пунктов ГГС, на основании которых было определено место пункта планово-высотного обоснования для проведения АФС.

Для создания ПВО на местности применялся комплект спутникового геодезического оборудования SOUTH. Для создания ПВО базовая станция размещалась на пунктах с известными координатами (пунктов ГГС) в режиме реального времени [16].

На второй ГНСС[11]-приемник, который использовался для определения координат пункта ПВО, поочередно передавались поправки от базовой станции с трех пунктов в режиме радиомодема в местной системе координат.

В результате данных операций были определены координаты пункта ПВО. После этого в границах земельного участка, на котором далее проводилась АФС, было закреплено семь опознаков, которые были закоординированы с помощью ГНСС-приемника SOUTH Galaxy G2 в режиме RTK (Real-Time Kinematic) в местной системе координат МСК 70 (рис. 1).

Опознаки представляли собой на местности плиты размером 30×60 см с вынесенной красной меткой в центре, которые размещались на расстоянии 200–450 м друг от друга.

Для выполнения еАФСбыло составлено полетное задание с использованием сервисов fly.teofly.com и flylitchi.com (рис. 2). Эти сервисы являются наиболее гибкими с точки зрения настроек полета, а также отличаются наиболее стабильной работой.

11 ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система.

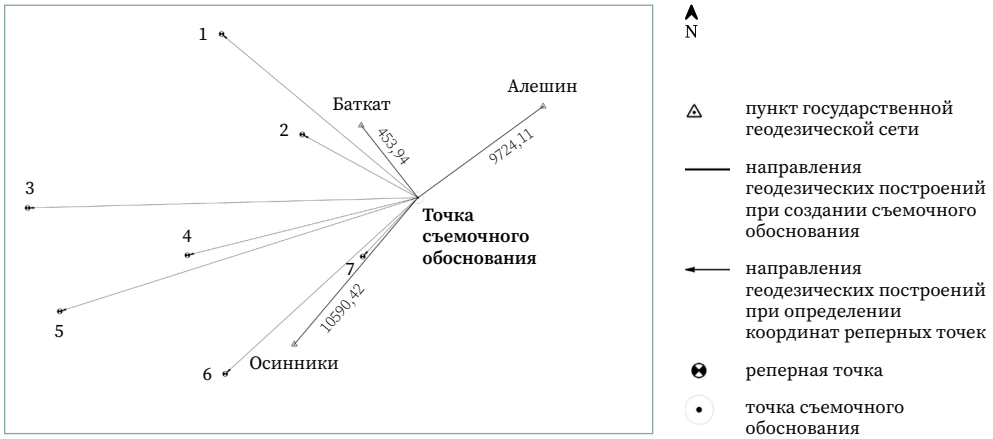


Рис. 1
Обзорная схема планово-высотного обоснования

Fig. 1
Overview diagram of geodetic field compilation survey

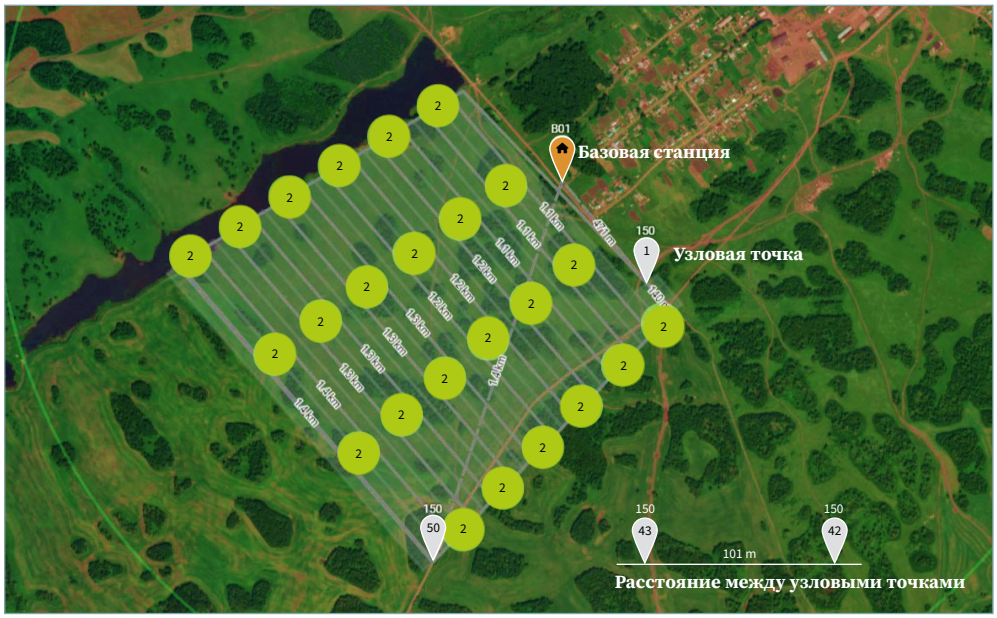


Рис. 2
Просмотр полетного задания на веб-сайте https://fly.teofly.com

Fig. 2
Viewing the flight assignment on the website https://fly.teofly.com

Используемый БПЛА переоборудован высокоточной ГНСС-платой от компании «Теодрон». Данная плата интегрируется на место штатного GPS[12]-приемника, обеспечивая навигацию квадрокоптера и осуществляя запись данных со спутников в режиме кинематики.

Перед запуском БПЛА была запущена базовая станция в режиме статики для записи сырых данных с частотой от 1 до 5 Гц. После полета данные с БПЛА и ГНСС-приемника были перенесены на компьютер в формате RINEX для дальнейшей их обработки [18, 19].

В результате АФС получено 910 снимков. Обработка материалов АФС (выравнивание, построение плотного облака точек, создание ортофотоплана в системе координат МСК 70, зона 4) производилась в ПО Agisoft Metashape Professional.

2.4 Создание цифровой базы данных о ЗСН в среде Quantum GIS

Для создания базы данных о ЗСН в окрестностях села Баткат Шегарского района Томской области на примере земельного участка с кадастровым номером 70:16:0200015:737 были выполнены работы по внесению следующих пространственных и атрибутивных данных в программной среде Quantum GIS (QGIS):

12 GPS (англ. — «Global Positioning System») — глобальная позиционирующая система.

– результаты мониторинга плодородия почв ЗСН в графическом и семантическом виде, представленные полигональными слоями формата SHP (рис. 3) со структурой атрибутивной информации согласно табл. 1;

Рис. 3
Материалы мониторинга ЗСН Шегарского района Томской области

Fig. 3
Monitoring materials of agricultural land of Shegarky District, Tomsk Region

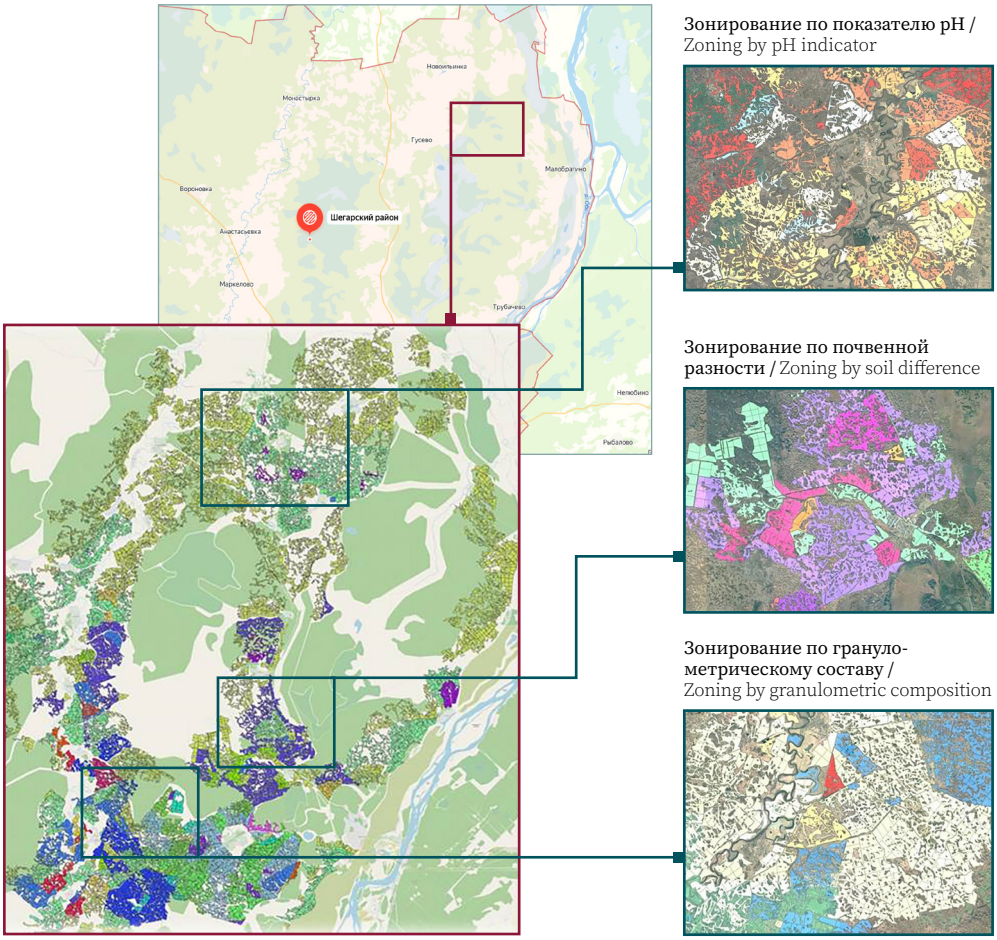


Таблица 1
Структура атрибутивной информации

Table 1
Structure of attributive information

Тематический цифровой слой	Параметры
Почвенная разность	Лугово-черноземная, алювиально-дерновая, светло-серая лесная, серая лесная, серая лесная глеевая, серая лесная оподзоленная, темно-серая лесная, темно-серая лесная оподзоленная, чернозем выщелоченный, чернозем оподзоленный
Гранулометрический состав	Тяжелый суглинок, глина, средний суглинок
Химический состав	pH, P_2O_5, K_2O, гумус, Mg, Cu, Ca, Zn, Mn, Pb, Ni, As
Вид угодий	Сенокос, пашня, пастбище

– кадастровый план территории, полученный в формате XML и переведенный в формат данных SHP, для работы в QGIS со структурой атрибутивной информации, представленной в табл. 2;
– ортофотоплан местности, разработанный в ПО Agisoft Metashape Professional, в системе координат МСК 70, зона 4, и экспортированный в QGIS в формате GeoTIFF;
– материалы внутрихозяйственного землеустройства, представленные в виде отсканированного картографического материала 1980-х годов в формате JPEG и привязанные в QGIS в системе координат проекции МСК 70, зона 4;

Таблица 2
Группы кадастровых данных и их параметры

Table 2
Cadastral data groups and their parameters

Группа кадастровых данных	Параметры
Сведения о земельных участках (ЗУ)	Кадастровый номер ЗУ, адрес, вид разрешенного использования, координаты границ ЗУ, площадь ЗУ, категория земель, статус ЗУ, кадастровая стоимость ЗУ
Сведения о границах зон с особыми условиями использования территории (ЗОУИТ)	Координаты границ ЗОУИТ, наименование ЗОУИТ, реестровый номер
Сведения об объектах капитального строительства (ОКС)	Кадастровый номер ОКС, вид ОКС, адрес, наименование ОКС, назначение ОКС, координаты границ ОКС, площадь ОКС, кадастровая стоимость ОКС
Границы населенных пунктов	Реестровый номер, наименование

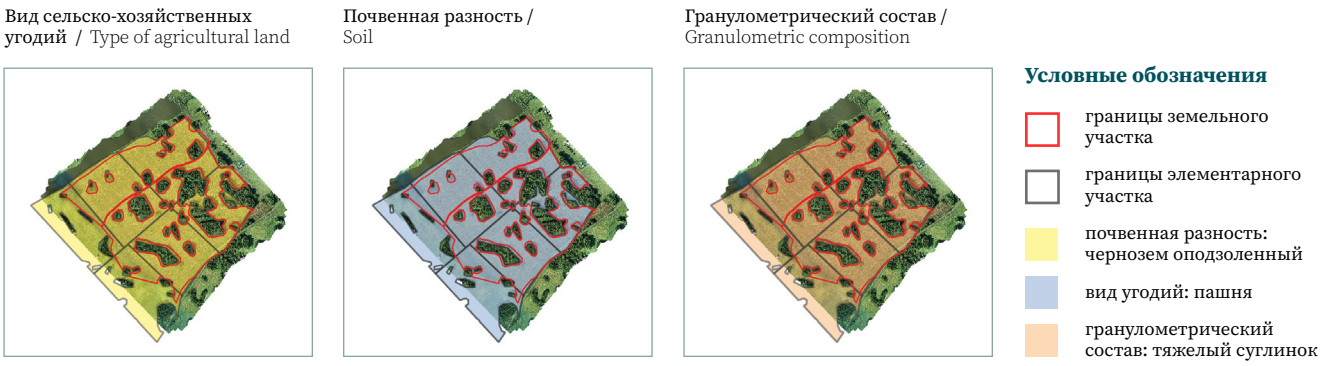
– данные дистанционного зондирования Земли, представляющие собой трехканальное цветное изображение в формате GeoTIFF;
– информационные подложки модуля QuickMapServices ПО QGIS.

Рис. 4
Фрагменты тематических цифровых слоев на территории села Баткат Шегарского района Томской области по параметрам

Fig. 4
Fragment of thematic digital layers on the territory of the village of Batkat, Shegarsky District, Tomsk Region, according to the parameters

3 Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования с использованием геоинформационной системы QGIS [20, 21] были совмещены результаты агрохимических, эколого-токсикологических обследований и ортофотосъемки для формирования единого геоинформационного пространства территории, что позволило обеспечить однозначное отображение в местной системе координат результатов обследований с кадастровыми границами земельных участков на единой цифровой картографической основе, фрагменты которых представлены на рис. 4.



Следует отметить, что проведение агрохимических обследований территории осуществляется по элементарным участкам, нанесенным на картографическую основу. Разбивка обследуемой территории на элементарные участки производится с учетом типов, подтипов, разновидностей почв и других особенностей для определения места отбора точечных проб почвы. Размеры элементарного участка могут варьировать от 3 до 20 га. Однако для расчета кадастровой стоимости земельного участка необходимы привязанные к нему сведения о средневзвешенных значениях по каждому показателю. Следовательно, в целях определения средневзвешенных значений агрохимических показателей для земельного участка следует использовать формулу

$$X = \frac{a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots a_nx_n}{a_1 + a_2 + \ldots a_n}, \quad (1)$$

где a_1, a_2 … — площадь элементарного участка;
x_1, x_2 … — значение показателей в элементарном участке;
n — площадь земельного участка.

Поскольку в границы земельного участка 70:16:0200015:737 вошло шесть элементарных участков, для него были рассчитаны средневзвешенные значения по формуле (1) для всех определенных при агрохимическом обследовании показателей. Результаты представлены в табл. 3.

Показанный механизм рекомендовано использовать при наличии данных агрохимических обследований в первичном виде (по элементарным участкам) для расчета средневзвешенного значения по показателям, учитываемым при проведении кадастровой оценки ЗСН.

Таблица 3
Значения средневзвешенных агрохимических показателей земельного участка 70:16:0200015:737

Table 3
Values of weighted average agrochemical indicators of the land plot 70:16:0200015:737

Агрохимический показатель	Значение	Агрохимический показатель	Значение, мг/кг
pH солевой	5,33 ед.	Cu	8,17
P_2O_5	269,64 мг/кг	Zn	0,32
K_2O	186,87 мг/кг	Mn	37,93
Гумус	4,65%	Pb	0,77
Обменный Mg	4,04 мг-экв/100 г почвы	Ni	0,70
Обменный Ca	14,99 мг-экв/100 г почвы	As	4,81

4 Выводы

Сложившаяся практика проведения кадастровой оценки ЗСН [4] доказывает, что в отношении земель этой категории имеется дефицит информации о значениях ценообразующих факторов данного сегмента, определенных в действующих методических указаниях. Единственным источником данных на сегодняшний день является ежегодный мониторинг плодородия почв ЗСН, который способен актуализировать данные о состоянии земель, однако проводится он нерегулярно и только по ряду параметров.

Имеющиеся информационные системы не способны в полной мере обеспечить потребность региональных бюджетных учреждений, уполномоченных проводить кадастровую оценку объектов недвижимости (земельных участков) [4], полной и сопоставимой с кадастровыми данными информацией о ЗСН, в связи с чем в настоящем исследовании предложены подходы определения средневзвешенных значений агрохимических показателей для земельного участка, который является объектом кадастровой оценки, и продемонстрированы на примере конкретного земельного участка.

Кроме того, несмотря на развитие в России межведомственного электронного взаимодействия в системе государственного аппарата между региональными бюджетными учреждениями и ведомственными источниками данных, качественное взаимодействие по обмену цифровыми данными о ЗСН не налажено.

Результаты данного исследования доказали и проиллюстрировали необходимость создания геодезического обоснования для проведения АФС и картографического представления данных мониторинга ЗСН в местной системе координат для возможности интеграции получаемых данных с кадастровыми данными в ЕГРН.

Исследование показало, что перечень ценообразующих факторов, определенных в методике кадастровой оценки объектов недвижимости для сельскохозяйственного сегмента, не соотносится с перечнем получаемых на сегодняшний день показателей мониторинга плодородия почв ЗСН Томской области как единственного источника получения фактических сведений о состоянии ЗСН.

В результате исследования сформирована гипотеза о необходимости синхронизации показателей состояния ЗСН, определяемых в результате мониторинга, и показателей, включенных в перечень ценообразующих факторов для таких земель.

БЛАГОДАРНОСТИ Авторы выражают благодарность ФГБУ САС «Томская» в лице Игоря Борисовича Сорокина и Елены Анатольевны Валетовой за предоставление материалов и консультации при написании статьи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Wei C., Wang L., Yang H. The research development of hedonic price model-based real estate appraisal in the era of big data // Land. 2022. Vol. 11. P. 334–364. DOI:10.3390/land11030334.
2. Bidanset P., Rakow R. Survey on the use of automated valuation models (AVMs) in government assessment offices: An analysis of AVM use, acceptance, and barriers to more widespread implementation // Property Tax Assessment & Administration. 2022. Vol. 19. No. 2. P. 47–69. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/365347238_Survey_on_the_use_of_automated_valuation_models_AVMs_in_government_assessment_offices_An_analysis_of_AVM_use_acceptance_and_barriers_to_more_widespread_implementation (дата обращения: 14.12.2023).
3. Doumpos M., Papastamos D., Andritsos D., Zopounidis C. Developing automated valuation models for estimating property values: a comparison of global and locally weighted approaches // Annals of Operations Research. 2021. P. 415–433. DOI:10.1007/s10479-020-03556-1.
4. Козина М.В., Студенкова Н.А., Пальцева Д.Е. Формирование подходов к развитию цифровой инфраструктуры системы кадастровой оценки на примере земель сельскохозяйственного назначения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 8. С. 7–16. DOI:10.18799/24131830/2023/8/4102.
5. Jahanshiri E., Buyong T., Shariff A. A review of property mass valuation models // Pertanika Journal of Science & Technology. 2011. Vol. 19. No. 1. P. 23–30. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/233978094_A_Review_of_Property_Mass_Valuation_Models (дата обращения: 14.12.2023).
6. Tavares V.C., Tavares F., Santos E. The value of farmland and its determinants – the current state of the art // Land. 2022. Vol. 11. DOI:10.3390/land11111908.
7. Королёв С.Ю. Государственная политика по управлению земельными ресурсами: мониторинг земель как средство информационного обеспечения // Правовая политика и правовая жизнь. 2023. № 1. С. 37–46.
8. Жарников В.Б., Ларионов Ю.С. Мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения как механизм их рационального использования // Вестник СГУГиТ. 2017. Т. 22. № 1. С. 203–212.
9. Студенкова Н.А., Добротворская Н.И., Аврунёв Е.И. и др. Организационно-технологическая схема информационного обеспечения земель сельскохозяйственного назначения // Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28. № 6. С. 133–144. DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-6-133-143.
10. Wójciak E., Cienciała A. Selected methods and factors in the reliable appraisal of agriculturally used real estates // GIS Odyssey Journal. 2022. Vol. 2. P. 99–112. DOI:10.57599/gisoj.2022.2.1.99.
11. Foryś I., Putek-Szeląg E. A non-classical model of mass valuation of agricultural property // Real Estate Management and Valuation. 2018. Vol. 26. P. 90–101. DOI:10.2478/remav-2018-0039.
12. Волков С.Н., Шаповалов Д.А. Цифровое землеустройство — проблемы и перспективы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 3. № 2. С. 26–35. DOI:10.33764/2618-981X-2019-3-2-26-35.
13. Пасько О.А. Опыт проведения инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения в Томской области // Аграрная Россия. 2016. № 6. С. 12–17. DOI:10.30906/1999-5636-2016-6-12-17.
14. Бояренкова А.Д., Гаврилова Л.А., Лимонов А.Н. Точность прямого геопозиционирования при создании ортофотопланов местности со сложным

рельефом по материалам аэросъемки с беспилотных воздушных судов // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2023. Т. 67. № 2. С. 41–49. DOI:10.30533/GiA-2023-017.
15. Куприянов А.О., Кузнецов Д.А., Морозов Д.А. Экспериментальная оценка точности позиционирования комбинированной навигационной спутниковой системы при прерывании навигационных сигналов // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 4. С. 402–411. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-402-411.
16. Елшеви М.А., Елшештави А.М. Повышение точности абсолютного позиционирования глобальных навигационных спутниковых систем для целей геодезии // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. № 1. С. 30–37. DOI: 10.30533/0536-101X-2021-65-1-30-37.
17. Hermans L. Implementation of Geographically Weighted Regression in Automated Valuation Models in The Netherlands // Journal of Property Tax Assessment & Administration. 2020. Vol. 17. P. 23–48.
18. Михеева А.А., Ялтыхов В.В., Парадня П.Ф., Создание ортофотоплана в программе Agisoft Photoscan // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. 2021. № 8. С. 13–20.
19. Иноземцев Д.П. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Часть 2. Модель обработки аэрофотоснимков в среде Agisoft PhotoScan // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2013. Т. 50. № 3. С. 48–51.
20. Ayalke Z., Sisman A. Nominal Land Valuation with Best-Worst Method Using Geographic Information System: A Case of Atakum, Samsun// ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11. DOI:10.3390/ijgi11040213.
21. Jarosław J., Ertunç E. Towards a full automation of land consolidation projects: Fast land partitioning algorithm using the land value map // Land Use Policy. 2022. Vol. 120. DOI:10.1016/j.landusepol.2022.106282.

АВТОРЫ

Козина Мария Викторовна
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия
отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов
канд. техн. наук
0009-0007-1761-2889

Студенкова Наталья Александровна
ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Томск, Росси
кафедра геоинформатики и кадастра, Институт кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве
0000-0003-0480-4981

Гатина Наталия Владимировна
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия
отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов
канд. техн. наук
0009-0000-9105-4474

Пальцева Дарья Евгеньевна
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия
отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов
0009-0006-2141-3391

Поступила 15.01.2024. Принята к публикации 22.02.2024. Опубликована 28.02.2024.

UDC 332.6
DOI:10.30533/GiA-2024-007

CC BY

Practices of collecting, analyzing and processing of semantic and spatial data on agricultural land for information support of cadastral valuation

Maria V. Kozina[1] ✉, **Natalia A. Studenkova**[2], **Nataliya V. Gatina**[1], **Darya E. Paltseva**[1]

[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
[2] Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia
✉ kozinamv@tpu.ru

CITATION Kozina MV, Studenkova NA, Gatina NV, Paltseva DE. Practices of collecting, analyzing and processing of semantic and spatial data on agricultural land for information support of cadastral valuation. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying.* 2024;68(1): 84–98. DOI:10.30533/GiA-2024-007.

KEYWORDS cadastral valuation, agricultural land, land monitoring, information support, aerial photography, pricing factors

ABSTRACT The relevance of the study is caused by the existing imperfection of the information support of the state cadastral valuation regarding agricultural land in Russia. The current practice of agricultural land cadastral valuation proves that in the studied land category there is a lack of information on the pricing factor values defined in the current guidelines. As part of the study a set of works has been carried out to collect initial spatial data on agricultural land gathered by aerial photography UAVs, using a land plot in the vicinity of the village of Batkat, Shegarsky District, Tomsk Region as an example. Also, materials of monitoring have been digitized and analyzed, as well as a digital database of spatial data has been formed, and digital thematic maps of the territory have been created for use in cadastral valuation. The results of the study have shown the importance of geodetic justification for aerial photography and mapping of agricultural land monitoring data in the local coordinate system for the further possibility of integrating the obtained data with cadastral data in the Unified State Register of Real Property. This study illustrates the approach of averaging agrochemical values obtained from monitoring of agricultural land soil fertility for each land plot. The study has shown that the list of pricing factors defined in the methods of cadastral valuation of real estate objects for the agricultural segment does not correspond to the list of agricultural land soil fertility monitoring indicators received to date as the only source of actual information on the state of agricultural land.

ACKNOWLEDGEMENTS The authors would like to thank the Federal State Budgetary Institution of the Agrochemical Service "Tomskaya" represented by Igor Borisovich Sorokin and Elena Anatolyevna Valetova for providing materials and consultations when writing the article.

REFERENCES

1. Wei C, Wang L, Yang H. The research development of hedonic price model-based real estate appraisal in the era of big data. ***Land.*** 2022;11: 334–364. DOI:10.3390/land11030334.
2. Bidanset P, Rakow R. Survey on the use of automated valuation models (AVMs) in government assessment offices: An analysis of AVM use, acceptance, and barriers to more widespread implementation. ***Property Tax Assessment & Administration.*** 2022;19: 47–69. Available from: https://www.researchgate.net/publication/365347238_Survey_on_the_use_of_automated_valuation_models_AVMs_in_government_assessment_offices_An_analysis_of_AVM_use_acceptance_and_barriers_to_more_widespread_implementation (Accessed 14 March 2024).
3. Doumpos M, Papastamos D, Andritsos D, Zopounidis C. Developing automated valuation models for estimating property values: a comparison of global and locally weighted approaches**.** ***Annals of Operations Research.*** 2021: 415–433. DOI:10.1007/s10479-020-03556-1.
4. Kozina MV, Studenkova NA, Paltseva DE. Formation of approaches to the development of the digital infrastructure of the cadastral valuation system on the example of agricultural land. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. ***Geo Assets Engineering.*** 2023;334(8): 7–16. (In Russian). DOI:10.18799/24131830/2023/8/4102.
5. Jahanshiri E, Buyong T, Shariff A. A review of property mass valuation models. ***Pertanika Journal of Science & Technology.*** 2011;19: 23–30. Available from: https://www.researchgate.net/publication/233978094_A_Review_of_Property_Mass_Valuation_Models (Accessed 14 March 2024).
6. Tavares VC, Tavares F, Santos E. The value of farmland and its determinants — the current state of the art. ***Land. 2***022;11. DOI:10.3390/land11111908.
7. Korolev SY. Gosudarstvennaya politika po upravleniyu zemel'nymi resursami: monitoring zemel' kak sredstvo informatsionnogo obespecheniya [State policy on land resources management: land monitoring as a means of information support]**.** ***Pravovaya politika I pravovaya zhizn'.*** 2023;1: 37–46 (In Russian).
8. Zharnikov VB, Larionov YuS. Monitoring plodorodiya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya kak mekhanizm ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya [Monitoring the fertility of agricultural lands as a mechanism for their rational use]**.** ***VestnikSGUGiT.*** 2017;22(1): 203–212. (In Russian).
9. Studenkova NA, Dobrotvorskaya NI, Avrunev EI, et al. Organizational and technological scheme of information support for agricultural lands**.** ***Vestnik SGUGiT.*** 2023;28(6): 133–144. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2023-28-6-133-143.
10. Wójciak E, Cienciała A. Selected methods and factors in the reliable appraisal of agriculturally used real estates**.** ***GIS Odyssey Journal.*** 2022;2: 99–112. DOI:10.57599/gisoj.2022.2.1.99.
11. Foryś I., Putek-Szeląg E. A non-classical model of mass valuation of agricultural property. ***Real Estate Management and Valuation.*** 2018;26: 90–101. DOI:10.2478/remav-2018-0039.
12. Volkov SN, Shapovalov DA. Digital land management — problems and prospects**.** ***Interexpo Geo-Siberia.*** 2019;3(2): 26–35. (In Russian). DOI:10.33764/2618-981X-2019-3-2-26-35.
13. Pasko OA. The experience of conducting an inventory of agricultural lands in the Tomsk region. ***Agrarian Russia.*** 2016;6: 12–17. DOI:10.30906/1999-5636-2016-6-12-17.
14. Boyarenkova AD, Gavrilova LA, Limonov AN. The accuracy of direct geo-positioning when creating orthophotoplanes of terrain with difficult terrain based on aerial surveys from unmanned aircraft**.** ***Izvestiya Vuzov: Geodesy and aerophotosurveying.*** 2023;67(2): 41–49. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2023-017.
15. Kupriyanov AO, Kuznetsov DA, Morozov DA. Experimental assessment of the positioning accuracy of a combined navigation satellite system when interrupting navigation signals. ***Izvestiya Vuzov: Geodesy and aerophotosurveying.*** 2021;65(4): 402–411. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-402-411.
16. Elshevi MA, Elsheshtavi AM. Improving the accuracy of the absolute positioning of global navigation satellite systems for geodesy purposes**.** ***Izvestiya Vuzov: Geodesy and aerophotosurveying.*** 2021;65(1): 30–37. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-1-30-37.

17. Hermans L. Implementation of Geographically Weighted Regression in Automated Valuation Models in The Netherlands. *Journal of Property Tax Assessment & Administration.* 2020;17: 23–48.
18. Mikheeva AA, Yaltykhov VV, Paradnya PF. Creation of orthophotoplan in Agisoft Photoscan software. *Bulletin of the Polotsk State University. Construction. Applied sciences.* 2021;8: 13–20.
19. Inozemtsev DP. Bespilotnye letatel'nye apparaty: teoriya i praktika. Chast' 2. Model' obrabotki aerofotosnimkov v srede Agisoft PhotoScan [Unmanned aerial vehicles: theory and practice. Part 2. Model of processing aerial photographs in the AgisoftPhotoScan environment]. *Automated technologies of research and design.* 2013;50(3): 48–51. (In Russian)
20. Ayalke Z, Sisman A. Nominal Land Valuation with Best-Worst Method Using Geographic Information System: A Case of Atakum, Samsun. *ISPRS International Journal of Geo-Information.* 2022;11. DOI:10.3390/ijgi11040213.
21. Jarosław J, Ertunç E. Towards a full automation of land consolidation projects: Fast land partitioning algorithm using the land value map. *Land Use Policy.* 2022. DOI:10.1016/j.landusepol.2022.106282.

AUTHORS

Maria V. Kozina
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Division for Geology, School of Earth Sciences and Engineering
PhD in Engineering
0009-0007-1761-2889

Natalia A. Studenkova
Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia
Department of Geoinformatics and cadastre, Institute of Cadastre, Economics and Engineering Systems in Construction
0000-0003-0480-4981

Nataliya V. Gatina
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Division for Geology, School of Earth Sciences and Engineering
Ph. D. in Engineering
0009-0000-9105-4474

Darya E. Paltseva
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Division for Geology, School of Earth Sciences and Engineering
0009-0006-2141-3391

Submitted: January 15, 2024. Accepted: February 22, 2024. Published: February 28, 2024.



Фёдор Васильевич Дробышев

заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
лучший изобретатель геодезии и картографии,
лауреат Сталинской и Ленинской премий,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой фотограмметрии МИИГАиК

Фёдор Васильевич Дробышев родился 6 июля (по старому стилю) 1894 года в станице Шёлкозаводская на Северном Кавказе. В 1912 году он окончил Владикавказское реальное училище и в течение 1912–1914 годов обучался в Санкт-Петербургском Военно-топографическом училище. В связи с началом Первой мировой войны в сентябре 1914 года юнкера были произведены в офицеры в чин подпоручика и представлены царю, который выступил перед ними с напутственной речью и каждому пожал руку. После этого их отправили на фронт. До 16 мая 1915 года подпоручик, а затем поручик 65-го Московского пехотного полка Ф.В. Дробышев воевал в Галиции, Латвии, Литве и исполнял обязанности квартирьера, командира роты. 16 мая 1915 года он был тяжело ранен (перед ним разорвался снаряд) и с 18 мая по сентябрь 1915 года находился на лечении в госпитале в Петрограде, а с октября 1915 года до весны 1916 года — в лазарете Пятигорска.

В 1916–1918 годах поручик Ф.В. Дробышев служил военным топографом в Южном топографическом отделе Корпуса Военных топографов, базировавшемся в Одессе, и проводил съемки в Бессарабии и Херсонской губернии. Летом 1917 года он проводил топографическую съемку в окрестностях города Острова Псковской губернии, где простудился и был направлен лечиться в лазарете Петрограда. В своих воспоминаниях, которые хранятся в музее МИИГАиК,

Ф.В. Дробышев пишет, что он приехал в Петроград 25 октября 1917 года и не мог понять, почему на вокзале солдаты не отдают честь офицерам. Когда он вышел в город, ему объяснили, что ночью Временное правительство было арестовано и была установлена Советская власть. Ф.В. Дробышев выехал из Петрограда в Одессу на место службы.

Он написал так, как он тогда воспринял это событие. У кого он был в городе, кто ему что говорил, Фёдор Васильевич не написал. Он сразу уехал. Фёдор Васильевич был тактичным, интеллигентным человеком, таким, какие формировались в течение столетий в российском обществе. К сожалению, большинство из них мы потеряли в XX веке. Я считаю, что благодаря особенностям характера Фёдора Васильевича, его желаниям заниматься только своей творческой работой, он избежал репрессий 1920–1930-х годах. Огромное число людей пострадало только за то, что они были из семьи священнослужителя, или офицером царской армии, или офицером белой армии, или ездили за границу, а в Фёдоре Васильевиче сочеталось всё перечисленное.

В продолжение сказанного хочу рассказать о случае, свидетелем которого я был. Проходило какое-то совещание в помещении ученого совета, рядом с кабинетом ректора. Во время перерыва несколько человек разговаривали в коридоре. Ректор В.Д. Большаков рассказал, что Фёдор Васильевич принес ему свои воспоминания. Прочитав их, ректор сказал Фёдору Васильевичу: «Вы пишете о приезде в Петроград 25 октября 1917 года и не упоминаете о Великой октябрьской революции, а пишете о том, что солдаты не отдают честь офицерам, сидят на платформе, на полу вокзала, лузгают семечки».

В связи со 120-летием со дня рождения Фёдора Васильевича было решено издать эти воспоминания. Я взял их в музее и обнаружил, что они претерпели изменения. Прежний текст изменен. Было написано следующее: «Помню, что выехал в Одессу 25 октября 1917 года. Как потом стало известно, это был день начала Октябрьской Революции СССР». Создается впечатление, что, помня все перипетии нашей жизни, после замечания ректора Фёдор Васильевич заволновался, изъял страницу и вставил новую. Но даже на этой странице видно, как он был далек от окружающей его действительности — он неправильно написал название революции, хотя в 1917 году это событие называли переворотом, а название «Великая Октябрьская революция» спустя десятилетие ввел Сталин.

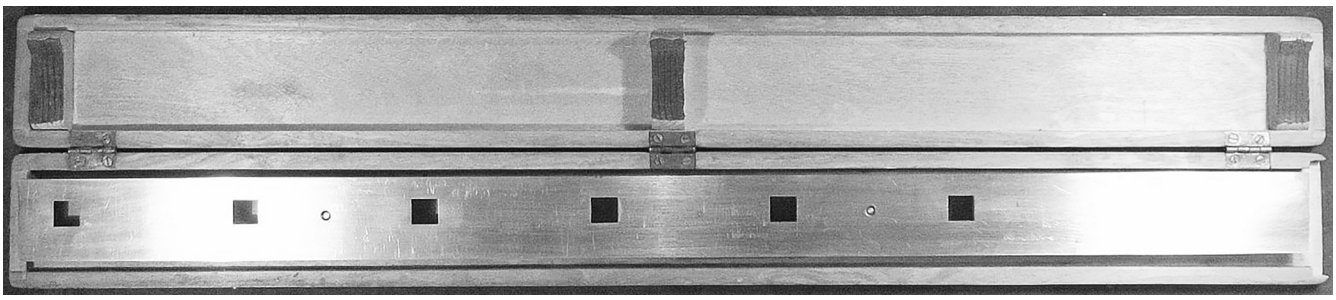
Итак, Ф.В. Дробышев приехал в Одессу. После провозглашения Украинской республики Ф.В. Дробышев выехал в Ростов-на-Дону, где месяц находился на лечении. Затем он выехал в Пятигорск, где находилась его мама. Однако в городе была власть белой армии. Ф.В. Дробышев переехал во Владикавказ, а потом в Екатеринодар (Краснодар). Его мобилизовали, и он в чине поручика служил в течение 1919–1920 годов военным картографом в Топографической части, которая после поражения белой армии через Новороссийск ушла за границу, а Ф.В. Дробышев остался. Военная комендатура направила его в топографическую часть Южного отдела Военно-топографического управления Красной Армии в Ростове-на-Дону, где он в течение нескольких месяцев 1920 года служил военным картографом и встретил много сослуживцев из Одессы.



Подпоручик Ф.В. Дробышев, 1914 г.



Ф.В. Дробышев в лазарете, 1915 г.



Координатная линейка Дробышева

За военные заслуги поручик Ф.В. Дробышев был награжден орденами Святой Анны 4-й степени и Святого Станислава 3-й степени. В «память» о ранении всю жизнь Ф.В. Дробышев носил в своем теле около десятка мелких осколков, положение которых д-р техн. наук А.Н. Черний (выпускник аэрофака МИИГАиК) измерил в 1980-х годах по рентгеновским стереоснимкам на стереометре, созданном Ф.В. Дробышевым.

В сентябре 1920 года Ф.В. Дробышев демобилизовался и выехал в станицу Усть-Лабинскую, где женился на Капитолине Иосифовне Гайдаенко, и они выехали во Владикавказ.

После демобилизации Ф.В. Дробышев преподавал во Владикавказском горном политехническом институте в течение 1920–1922 годов, где тогда учился А.И. Мазмишвили — будущий ректор МИИГАиК. Летом 1921 года Ф.В. Дробышев выезжал в Екатеринослав (Днепропетровск) на Высшие маркшейдерские курсы для повышения квалификации. В 1922–1926 годах Ф.В. Дробышев работал начальником Топографической партии Северо-Кавказского округа ВГУ, базировавшейся в Краснодаре, где работали В.В. Данилов — будущий профессор кафедры высшей геодезии МИИГАиК и П.В. Дензин — будущий декан Картографического факультета МИИГАиК.

В эти годы начинается изобретательская деятельность Ф.В. Дробышева. В 1924 году были опубликованы разработанные им «Таблицы для топографической съемки». Тридцать первого января 1925 года он подал заявку на изобретение аэроплана-геликоптера и в 1932 году получил авторское свидетельство. Подобная конструкция самолета с вертикальным взлетом впервые была создана в США в 1955 году.

В 1925 году Ф.В. Дробышев создал свою знаменитую координатную линейку, которую использовали для нанесения на планшет координатной сетки практически до конца XX века. В этом же году он был командирован в Москву для доклада в ВГУ о своих исследованиях в области наземной стереофотограмметрической съемке. На заседании присутствовали профессора Московского межевого института Н.М. Кислов и Н.М. Алексапольский. Доклад был одобрен и способствовал переводу Ф.В. Дробышева в Москву.

В 1926 году Ф.В. Дробышев был переведен в Москву в Оптико-механический отдел ВТУ, где до 1930 года работал инженером-приемщиком. Одновременно 1 октября 1926 года его принимают на работу в Московский межевой институт в качестве лаборанта кафедры фотогеодезии (фотограмметрии).

В 1928 году он был командирован в Германию на Международную авиационную выставку для изучения аэрофотосъемочного оборудования, представленного в Берлине, где встретился с Б.В. Фефиловым и А.И. Мазмишвили — будущими профессорами МИИГАиК.

В 1928–1930 годах Ф.В. Дробышев подавал заявки и получал авторские свидетельства на изобретения стереопланиграфа, нивелира-автомата, регистрирующего отметки точек пути во время движения, надир-триангулятора, фоторедуктора, полевого трансформатора.

В 1929–1930 годах он принимал участие в экспедиции в Черниговскую и Тульскую области по полевому применению новых методов фототриангулирования по аэроснимкам, где вместе с ним был М.Д. Коншин.

В 1930 году Ф.В. Дробышеву присваивают ученое звание доцента по фотограмметрии и избирают на должность доцента кафедры фотогеодезии (фотограмметрии) Московского геодезического института, который получил такое наименование после раздела межевого института. Одновременно Ф.В. Дробышев начинает работать в ЦНИИГАиК на должности научного сотрудника.

В 1931–1933 годах Ф.В. Дробышев разработал стереоавтограф, который применялся при инженерных изысканиях в ряде организаций Туркестана и Кавказа, оптический редуктор, плановый и перспективный проекторы со светящимися марками, девятикамерный аэрофотоаппарат, стереоскоп «Циклоп», широко использовавшийся в предприятиях ГУГК, и ряд других приборов и инструментов. В 1932 году Ф.В. Дробышев принимал участие в экспедиции в Карелию, где проводились работы по применению девятикамерного аэрофотоаппарата. В экспедиции участвовали также М.Д. Коншин и Г.В. Романовский,

так же, как и Ф.В. Дробышев, многое сделавшие для становления отечественной фотограмметрии.

В 1933–1935 годах Ф.В. Дробышев разработал теорию и конструкцию топографического стереометра СТД-1, первый образец которого был изготовлен в 1935 году. Простота конструкции прибора позволила быстро наладить его массовый выпуск. Стереометр ускорил картографирование территории нашей страны в масштабах 1 : 100 000 и 1 : 25 000 и использовался в различных организациях вплоть до конца 1970-х годов. В 1934 году Ф.В. Дробышев разработал топографический стереоскоп со световыми нитями и двойной проектор для составления карт универсальным методом.

Двадцать девятого сентября 1937 года Ф.В. Дробышеву присуждают ученую степень кандидата технических наук без защиты диссертации, а через два года, 29 июня 1939 года, после защиты диссертации на тему «Теория стереофотограмметрических приборов» ему присуждают ученую степень доктора технических наук. В течение этого же периода им были разработаны прецизионный стереометр и параллактические линейки для измерения разности продольных параллаксов при использовании стереоскопа.

В 1939 году Ф.В. Дробышева избирают на должность профессора кафедры фотограмметрии МИИГАиК. Одновременно он продолжает работать (до 1957 года) в ЦНИИГАиК старшим научным сотрудником, а 29 января 1940 года его утверждают в ученом звании профессора по фотограмметрии.

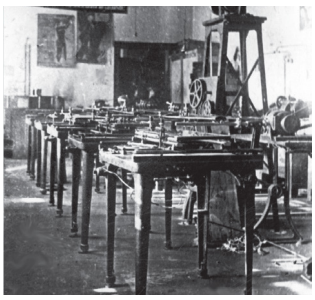
В течение 1940 года и в начале 1941 года Ф.В. Дробышев разработал диапозитивный проектор для составления чертежного плана по снимкам, фотонаборную установку ФНАД-5 для нанесения на топопланшеты надписей полуавтоматическим способом, нивелир-автомат — счетчик.

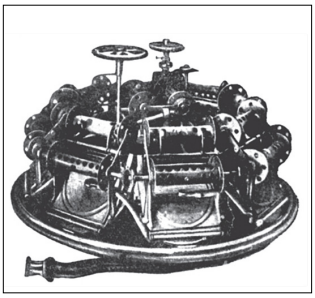
Пятнадцатого августа 1941 года Ф.В. Дробышева назначают заведующим объединенной кафедрой фотограмметрии и аэросъемки, и в связи с эвакуацией из Москвы части институтского коллектива он в ноябре выехал в Ташкент, где находился до апреля 1942 года. Возвратившись в Москву, Ф.В. Дробышев продолжает работать на кафедре фотограмметрии и разрабатывает приборы для топографического обеспечения боевых действий войск, например прибор для разведки передней оборонительной линии противника по перспективным снимкам (стереоопределитель) и развертывающий прибор с переменными углами сопряжения плоскостей для развертки перспективных снимков.

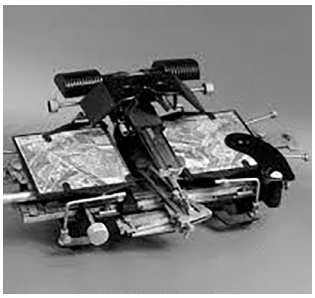
В декабре 1942 года Ф.В. Дробышева избирают на должность заведующего кафедрой фотограмметрии МИИГАиК, и он руководит ею без перерыва почти 30 лет.

Двадцать шестого июня 1946 года Постановлением СМ СССР коллективу ученых и работников производства, в состав которого входил Ф.В. Дробышев, за разработку и внедрение дифференцированного

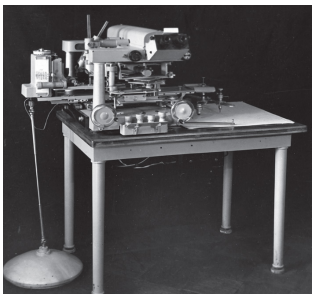
Разработки Ф.В. Дробышева (сверху вниз):
1. Надир-триангуляторы на заводе «Аэрогеоприбор»;
2. Девятикамерный аэрофотоаппарат АД-2;
3. Топографический стереометр СТД-1;
4. Работа на стереоскопе «Циклоп»;
5. Стереограф СД-1

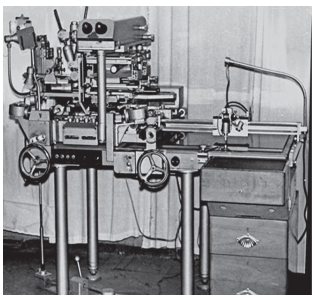














Ф.В. Дробышев и А.С. Скиридов среди студентов старших курсов во дворе института, 1945 г.

метода создания топографических карт была присуждена Сталинская премия 3-й степени, и ему было присвоено звание «Лауреат Сталинской премии».

В связи с возникновением задачи картографирования страны в масштабах 1 : 10 000 и крупнее, а также с учетом достижений оптико-механической промышленности Ф.В. Дробышев приступает к разработке конструкции универсального стереофотограмметрического прибора. В 1955 году он получил авторское свидетельство на стереограф СД-1, который открыл целую серию приборов данного типа. С 1959 по 1962 год были созданы и внедрены в производство СД-2, СД-3 и УСД. Из них СД-3 был выпущен в наибольшем количестве. В 1960 году Ф.В. Дробышев разработал фотостереограф, измерительный стереоскоп СИД, полевой стереоскоп СП-1. В начале 1960-х годов им были разработаны малый стереограф МСД-1, дешифровочный стереоскоп Д-2, стереоскопический автомат САД.

Двадцать пятого мая 1965 года Указом Президиума Верховного совета РСФСР Ф.В. Дробышеву было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР».

В 1960-е годы Ф.В. Дробышев занимался вопросами дифференциального трансформирования и с 1967 по 1970 год создал фотоприставку ФПД к стереографу СД-3, которая проходила испытание в Среднеазиатском АГП Сельхозаэрофотосъемки, а затем фотоприставку ФПД-2, экспонировавшуюся в 1970 году на ВДНХ. На ее базе в этом же году ЦНИИГАиК разработал ортофотопроектор Дробышева (ОФПД), которая пошла в серийное производство. Продолжая работать в этом направлении в начале 1970-х годов Ф.В. Дробышев разработал ортофототрансформатор. Кроме того, в этот же период Ф.В. Дробышев разработал малый стереограф МСД-2, который экспонировался на выставке в Турции.

Тринадцатого апреля 1970 года Ф.В. Дробышеву за разработку и внедрение в аэрофотогеодезическое производство фотограмметрических приборов была присуждена Ленинская премия и присвоено звание «Лауреат Ленинской премии».

Первого июля 1971 года в связи с выходом на пенсию Ф.В. Дробышев перестает заведовать кафедрой фотограмметрии и с 1 сентября 1971 года переводится на должность профессора-консультанта кафедры фотограмметрии МИИГАиК.

В течение 1973–1974 годов Ф.В. Дробышев разработал стереограф СД-5, на котором можно было учитывать кривизну поверхности планеты при обработке космических снимков, и электрокоординатограф к нему, экспедиционный стереокомпаратор, электроштурвал к стереографу СД-3, который облегчал работу оператора при гравировании на приборе. Электроштурвал прошел производственные испытания и получил положительную характеристику.

В 1974 году в связи с 80-летием со дня рождения и 60-летием научной, инженерной и педагогической деятельности фамилия Ф.В. Дробышева была занесена в Книгу почета МИИГАиК. Десятого января 1979 года Коллегия ГУГК при СМ СССР, Президиум Центрального совета ВОИР, Президиум ЦК профсоюза рабочих геологоразведочных работ присвоила Ф.В. Дробышеву звание «Лучший изобретатель геодезии и картографии». В 1984 году он был награжден Почетной грамотой Минвуза СССР и Президиума МК профсоюза работников просвещения, высшей школы и научных учреждений.

Двадцать восьмого июля 1986 года жизненный путь Фёдора Васильевича Дробышева завершился.

С 1925 по 1986 год Ф.В. Дробышевым написана 181 работа (в том числе монографии и учебники), сделано более 70 изобретений, многие из которых внедрены в производство. Наиболее широкое

распространение на производстве получили координатная линейка, топографический стереометр, стереограф и ортофотоприставка.

Ф.В. Дробышев большое внимание уделял подготовке научно-педагогических кадров. Под его руководством 24 аспиранта подготовили и защитили диссертации. Среди них доктора наук А.Н. Лобанов, И.Т. Антипов, Л.Н. Васильев, Б.А. Новаковский, кандидаты наук В.В. Кислов, В.А. Полякова, В.Д. Дервиз, П.С. Александров, Б.В. Краснопевцев, Е.А. Михайловский, Б.Н. Бегунов, Н.А. Васильев, Б.С. Пузанов, Ф.К. Свердлов, Р.Ю. Вилунас, М.В. Островский, Д.Я. Штыков, И.И. Стрижкин, Р.И. Гельман, А.А. Рандлепп, В.И. Нефедов, Н.Г. Барабанова, И.А. Преображенский, В.И. Костин.

Деятельность ученого-конструктора он сочетал с педагогической деятельностью, читая курсы лекций для студентов аэрофотогеодезической и оптико-механической специальностей. Отдельными изданиями были опубликованы учебники «Фотограмметрия» (1945), «Фотограмметрические приборы и инструментоведение» (1951), «Основы аэрофотосъемки и фотограмметрии» (1955, 1963, 1973) и монографии «Фотограмметрические приборы» (1936), «Теория стереофотограмметрических приборов» (1940), «Исследования в стереофотограмметрии» (1972).

Заслуги Ф.В. Дробышева в развитии советской фотограмметрии и фотограмметрического приборостроения были отмечены орденами Ленина (1953) и Трудового Красного Знамени (1951), медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне» (1947), «В память 800-летия Москвы» (1948), «За доблестный труд — в ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина» (1970), значками ГУГК при СМ СССР «Отличник геодезии и картографии» (1950, 1967, 1971) и Минвуза РСФСР «За отличные успехи в работе» (1951).

Фёдор Васильевич Дробышев обладал многогранными способностями. Являясь поклонником классической музыки, он сам сочинял музыкальные произведения для скрипки, которые исполнял на вечерах аэрофотогеодезического факультета и перед коллегами по кафедре. Он внес неоценимый вклад в развитие теории фотограмметрии, фотограмметрического приборостроения, аэрофотогеодезического производства, за что ему всегда будут благодарны потомки, и его имя навсегда останется в истории российской фотограмметрии. ■

Фотографии: Фёдор Васильевич Дробышев. Воспоминания / Авт.-сост. Б.В. Краснопевцев, Н.Н. Володина. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2014. — 180 с., ил.



Выступление Ф.В. Дробышева в Кремле на вручении Ленинской премии





Обработка космических снимков на кафедре фотограмметрии МИИГАиК. Слева направо: В.Д. Большаков, Ф.В. Дробышев, Е.В. Хрунов, Б.В. Краснопевцев