



БелГУ
Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет

ISSN 2712-7443 (online)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2025. Том 49, № 1

16+

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2025. Том 49, № 1

До 2020 г. журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (25.00.00 – науки о Земле). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Издатель: НИУ «БелГУ».

Адрес издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

Лисецкий Ф.Н., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ведущий редактор

Голеусов П.В., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственный секретарь

Зеленская Е.Я., кандидат географических наук, инженер Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «БелГУ», (Белгород, Россия)

Члены редколлегии:

Витченко А.Н., доктор географических наук, профессор Белорусского государственного университета (Минск, Республика Беларусь)

Геннадиев А.Н., доктор географических наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Тишков А.А., чл.-корр. РАН, доктор географических наук, профессор Института географии РАН (Москва, Россия)

Ермолаев О.П., доктор географических наук, профессор Казанского федерального университета (Казань, Россия)
(по согласованию)

Куролан С.А., доктор географических наук, профессор Воронежского государственного университета (Воронеж, Россия)

Луто Э.Р., доктор, профессор Университета Миссури (Колумбия, США)

Недялков М.И., чл.-корр. Академии Наук Молдовы, доктор географических наук, профессор Института экологии и географии Академии Наук Молдовы (Кишинев, Республика Молдова)

Хаустов В.В., доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета (Курск, Россия)

Хуббарт Дж. А., доктор, профессор Университета Западной Вирджинии (Моргантаун, США)

Чантурия Е.Л., доктор технических наук, профессор НИТУ «МИСиС» (Москва, Россия)

Чендев Ю.Г., доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

ISSN 2712-7443 (online)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-77841 от 31.01.2020. Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Мишенина. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Н.А. Вус. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. E-mail: goleusov@bsuedu.ru.

Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 21,0. Дата выхода 30.03.2025. Оригинал-макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

- 5 **Плотников И.В., Пожарская О.Д., Дубовицкая В.И.**
Особенности накопления тяжелых металлов растениями на антропогенно-измененных ландшафтах острова Симушир
- 16 **Блануца В.И.**
Пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области: географический прогноз
- 29 **Шерин Е.А.**
Угольная промышленность юга Монголии: новый конкурент Сибири на внешних рынках
- 40 **Брыжко И.В., Столбов И.А., Брыжко В.Г.**
Картографирование эрозионно опасных земель Пермского края
- 53 **Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.**
Теория и опыт агрофитомелиорации земель: аналитический обзор
- 69 **Никонорова И.В., Ильин В.Н., Викторов В.В., Никитин А.А., Ильина А.А.**
Хозяйственное использование родников Чувашской Республики
- 80 **Киселев В.В., Корнилова Е.А.**
Оценка общего гидроэкологического состояния малых рек Белгородской области
- 93 **Мелкий В.А., Долгополов Д.В., Верхотуров А.А.**
Мониторинг геопространства вулканопасных территорий
- 112 **Синюткина А.А., Гашкова Л.П.**
Оценка постпирогенной динамики растительности верхового болота (Западная Сибирь) на основе спутниковых данных Landsat
- 128 **Дмитриев А.В.**
Ранний этап в методологии автоматического распознавания топонимов на географических картах и в текстах
- 146 **Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А.**
Оценка экологического риска для здоровья населения вследствие азротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья
- 157 **Епринцев С.А., Шекоян С.В., Виноградов П.М.**
Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России
- 169 **Блакберн А.А.**
Площадь и фрагментированность природного каркаса в Краснолиманском, Славянском и Константиновском районах Донецкой Народной Республики
- 184 **Гладкий Ю.Н., Сухоруков В.Д.**
Географическая наука в зеркале феноменологии: междисциплинарные импульсы как угроза идентичности

REGIONAL GEOSYSTEMS

2025. Volume 49, No. 1

Until 2020, the journal was published with the name "Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences".

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be published (25.00.00 – Earth sciences). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (PML).

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

Publisher: Belgorod National Research University «BelSU».

Address of publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

Fedor N. Lisetskii, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Issuing Editor

Pavel V. Goleusov, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Responsible Secretary

Evgeniya Ya. Zelenskaya, Candidate of Geographical Sciences (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Members of Editorial Board:

Aleksandr N. Vitshenko, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus)

Aleksandr N. Gennadiyev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

Arkadiy A. Tishkov, Member corr. RAS, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Institute of Geography RAS, Moscow, Russia)

Oleg P. Ermolaev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazan Federal University, Kazan, Russia)

Semyon A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

Anthony R. Lupo, Doctor, Professor (University of Missouri-Columbia, Columbia, USA)

Maria I. Nedelcov, Member corr. Academy of Sciences of Moldova, Doctor, professor, (Institute of Ecology and Geography ASM, Chişinău Municipality, Republica of Moldova)

Vladimir V. Khaustov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor (Southwestern State University, Kursk, Russia)

Jason A. Hubbart, Doctor (Ph. D), Professor (West Virginia University, Morgantown, USA)

Elena L. Chanturia, Doctor of Technical Sciences, Professor (NUST "MISiS", Moscow, Russia)

Yuriy G. Chendev, Doctor of Geographical Sciences, Professor (BSU, Belgorod, Russia)

ISSN 2712-7443 (online)

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77-77841 dd 31.01.2020. Publication frequency: 4 times per year.

Commissioning Editor Yu.V. Mishenina. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by N.A. Vus. English text editor E.S. Danilova. E-mail: goleusov@bsuedu.ru. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 21,0. Date of publishing 30.03.2025. Dummy layout has been prepared by Belgorod National Research University Centre of Polygraphic Production. Address: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

- 5 **Plotnikov I.V., Pozharskaya O.D., Dubovitskaya V.I.**
Accumulation of Heavy Metals by Plants on Modified Landscapes of Simushir Island
- 16 **Blanutsa V.I.**
Distribution Limits of Tactile Communication's Territorial Communities in the Irkutsk Region: A Geographical Forecast
- 29 **Sherin E.A.**
Coal Industry of Southern Mongolia: a New Competitor to Siberia in Foreign Markets
- 40 **Bryzhko I.V., Stolbov I.A., Bryzhko V.G.**
Mapping of Erosion Hazard Lands of the Perm Region
- 53 **Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V.**
Theory and Experience of Land Agrophytomelioration: Analytical Review
- 69 **Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Viktorov V.V., Nikitin A.A., Ilyina A.A.**
Economic Use of Springs in the Chuvash Republic
- 80 **Kiselev V.V., Kornilova E.A.**
Assessment of the General Hydroecological Condition of Small Rivers in the Belgorod Region
- 93 **Melkiy V.A., Dolgopolov D.V., Verkhoturov A.A.**
Monitoring the Geospace of Volcano Hazard Areas
- 112 **Sinyutkina A.A., Gashkova L.P.**
Assessment of Post-Fire Vegetation Dynamics in a Raised Bog (Western Siberia) Based on Landsat Satellite Data
- 128 **Dmitriev A.V.**
The Early Stage in the Methodology of Automatic Toponym Recognition on Geographic Maps and in Texts
- 146 **Shish A.V., Klepikov O.V., Kurolap S.A.**
Assessment of Public Health Environmental Risk due to Central Chernozem Region Cities Aerotechnogenic Pollution
- 157 **Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Vinogradov P.M.**
Assessment of Unfavorable Environmental Factors in Urbanized Territories of Central Russia
- 169 **Blackburn A.A.**
The Area and Fragmentation of the Natural Framework in the Krasny Liman, Slavyansk, and Konstantinovka Districts of the Donetsk People's Republic
- 184 **Gladkiy Yu.N., Sukhorukov V.D.**
Geographical Science in the Mirror of Phenomenology: Interdisciplinary Impulses as a Threat to Identity



УДК 502.2.05
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Особенности накопления тяжелых металлов растениями на антропогенно-измененных ландшафтах острова Симушир

¹Плотников И.В., ²Пожарская О.Д., ³Дубовицкая В.И.

¹ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и национального парка «Земля леопарда» им. Н.Н. Воронцова

Россия, 690001, г. Владивосток, ул. Дальзаводская, 2, стр. лит. 38-А

²Санкт-Петербургский научный центр РАН

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 5

³Агрофизический научно-исследовательский институт

Россия, 195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14

iv-44@bk.ru, olesyapozharskaya@yandex.ru, himlabafi@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования, проведенного в 2023 году на острове Симушир (Курильские острова). Изучались общие особенности накопления тяжелых металлов в листьях растений, а также пространственное распределение концентраций на антропогенно-нарушенной территории, активная преобразующая хозяйственная деятельность на острове велась до 1997 года. Выявлялось фоновое содержание тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) в листьях растений видов: *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская), *Sasa kurilensis* (бамбучник). Общий ряд накопления растениями тяжелых металлов представлен следующим образом: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. Наблюдается характерное для растений острова Симушир повышенное содержание кадмия и низкое содержание хрома относительно среднего кларка для растений суши. В листьях *Betula ermanii* отмечены максимальные концентрации марганца, цинка, меди, никеля и кадмия. В листьях *Alnus japonica* наибольшее количество железа и хрома, *Sasa kurilensis* в отличие от остальных исследуемых видов, в наибольшей степени накапливает свинец. Содержание тяжелых металлов в листьях ольхи японской и березы каменной также определяли на антропогенно-трансформированной территории. На антропогенно-трансформированных участках наибольшие аномальные относительные концентрации тяжелых металлов наблюдаются в районе заброшенной пристани у бухты Броутона, у *Betula ermanii* в наибольшей степени накапливается Cr (6,3), Zn (5,24), Cd (4,06), Co (3,29), Pb (2,47), Ni (1,80), Mn (1,74), а у *Alnus japonica* Fe (3,28) и Pb (2,47).

Ключевые слова: бамбучник, береза каменная, ольха японская, Симушир, тяжелые металлы, фитогеохимия

Для цитирования: Плотников И.В., Пожарская О.Д., Дубовицкая В.И. 2025. Особенности накопления тяжелых металлов растениями на антропогенно-измененных ландшафтах острова Симушир. Региональные геосистемы, 49(1): 5–15. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Accumulation of Heavy Metals by Plants on Modified Landscapes of Simushir Island

¹Ilya V. Plotnikov, ²Olesya D. Pozharskaya, ³Victoria I. Dubovitskaya

¹Federal State Budgetary Institution Joint Directorate of “Kedrovaya Pad” State Biosphere Nature Reserve and “Land of the Leopard” National Park
38-A lit. 2 Dalzavodskaya St, Vladivostok 690068, Russia

²Saint-Petersburg Research Center of the Russian Academy of Science
5 Universitetskaya emb., St. Petersburg 199034, Russia

³Agrophysical Research Institute

14 Grazhdansky ave., St. Petersburg 195220, Russia

iv-44@bk.ru, olesyapozharskaya@yandex.ru, himlabafi@yandex.ru

Abstract. The studies were conducted on Simushir Island, Kuril Archipelago, in 2023. The analysis of heavy metals content in the leaves of species characteristic of the island showed that accumulation of heavy metals was highest in *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis*. *Betula ermanii*, and lowest



in *Sasa kurilensis*. The green mass of *Betula ermanii* had the highest concentrations of manganese, zinc, copper, nickel and cadmium. The leaves of *Alnus japonica* contained the highest amount of iron and chromium, while *Sasa kurilensis*, unlike the other studied species, accumulated lead to the greatest extent. As the island had been an object of an active anthropogenic activity until 1997, the authors analyzed the influence of anthropogenic factors on the content of heavy metals in plant leaves. The highest concentrations of heavy metals were found in the area of the abandoned pier at Broughton Bay, where *Betula ermanii* accumulated chromium and zinc to the greatest extent, and *Alnus japonica* accumulated iron and lead. Excess relative concentrations of heavy metals were also recorded in other areas, for example, in the territory of the abandoned settlement of Kraterny.

Keywords: *Alnus japonica*, *Betula ermanii*, heavy metals, phytogeochemistry, *Sasa kurilensis*, Simushir Island

For citation: Plotnikov I.V., Pozharskaya O.D., Dubovitskaya V.I. 2025. Accumulation of Heavy Metals by Plants on Modified Landscapes of Simushir Island. *Regional Geosystems*, 49(1): 5–15 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-5-15

Введение

Изучение миграции тяжелых металлов (далее ТМ) и их накопление в растительных сообществах является одной из важнейших составляющих фитогеохимических исследований. ТМ поступают в различные части растений естественным образом из окружающей среды, но, помимо естественных концентраций, причиной повышенного содержания ТМ в окружающей среде может являться деятельность человека. Высокая концентрация ТМ в растениях приводит к подавлению процессов фотосинтеза и замедлению роста, развитию хлороза и некроза, а также другим негативным явлениям, вызывающим как разрушение отдельных организмов [Узаков, 2018], так и целых растительных сообществ. Именно поэтому изучение особенностей накопления тяжелых металлов является важнейшей задачей для изучения антропогенно-нарушенных территорий. Различия в накоплении ТМ растениями могут быть связаны как с особенностями поглощения конкретных микроэлементов [Liu, Yu, 2001], так и особенностями условий произрастания. Для растений также характерны межвидовые различия в особенностях накопления ТМ в частях растений, что отражается в коэффициентах биологического поглощения [Медведев, Деревягин, 2017; Авдощенко, Климова, 2020; Плотников, 2022].

Остров Симушир в настоящее время характеризуется отсутствием постоянного населения и какой-либо хозяйственной деятельности. Кроме того, отсутствуют и источники ближнего атмосферного переноса загрязнений, ближайшие крупные промышленные центры расположены более чем в 600 км. Однако в недалеком прошлом на территории острова происходила активная хозяйственная деятельность, в результате чего на острове осталось множество строений и отходов [Пинегина, 2007; Хамина, 2024].

Основные цели исследования:

- определить закономерности распределения концентраций тяжелых металлов в листьях растений в зависимости от их видовой принадлежности;
- изучить возможные пути поступления тяжелых металлов в растительные сообщества, учитывая антропогенное влияние, оставшееся после прекращения хозяйственной деятельности.

Объекты и методы исследования

В рамках 4-го сезона экспедиции Русского географического общества «Восточный Бастион – Курильская гряда» были проведены исследования на острове Симушир. Симушир – остров в средней части Большой гряды Курильских островов. Длина 58 км, ширина 6–10 км, на перешейке Косточко сужен до 2,5 км. Представляет собой цепь вулканических

конусов, слившихся подножиями. Согласно климатическому районированию, остров входит в средний климатический район Курильских островов. Здесь наиболее выражены черты морского климата, которые формируются под воздействием течений Охотского моря и Тихого океана. Среднее количество осадков за год – 1610 мм (остров называют самым «мокрым» среди всех островов архипелага), основная часть которых выпадает в теплый период. Продолжительность безморозного периода – 136 дней. Для холодного периода характерны сильные северо-западные ветры, нередко штормовой силы [Полохин, Сибирина, 2013]. Преобладающей почвой является сухоторфяная океаническая (занимает около 48 % площади). Для исследуемого острова характерны наибольшие кларки концентраций в органогенных почвенных горизонтах для Cu, Co, Cr, Sc, Zn, Ba. Практически тот же набор характерен и для подстилающих пород [Костенков, Ознобихин, 2011; Полохин, Сибирина, 2013; Полохин, 2015].

Интенсивная преобразующая антропогенная деятельность на острове в районе бухты Броутона осуществлялась с 1971 года и прекращена в 1997 году [Пинегина и др., 2007; Хамина, 2024], когда был эвакуирован поселок Кратерный. На рис. 1 представлена фотография территории заброшенного поселка Кратерный на берегу бухты Броутона.



Рис. 1. Здания бывшего поселка на берегу бухты Броутона (Фото Мушкариной Д.С.)
Fig. 1. Buildings of the former settlement on the shore of Broughton Bay (Photo by D.S. Mushkarina)

В настоящее время на территории поселка находится много металлического мусора, в том числе в ходе разведки местности был обнаружен медный и свинцовый лом. Также присутствуют бочки из-под горюче-смазочного материала (далее ГСМ), обнаружено подземное топливозапасание.

В районе мыса Косякова располагалась военная база противовоздушной обороны, в настоящее время здесь находится свалка металлолома, большое количество бочек из-под ГСМ, остатки техники и строений [Хамина, 2024].

В районе исследований проведен сбор растительного материала для последующего анализа. Отбор листьев растений производился в северной части острова Симушир, в районе бухты Броутона в период 28–31 июля 2023 года. На рис. 2 представлен спутниковый снимок острова Симушир, бухта Броутона расположена на северо-востоке острова.



Рис. 2. Спутниковый снимок острова Симушир, исследование происходило на северо-востоке острова (красный круг) [Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», 2022]
Fig. 2. Satellite image of Simushir Island, the studies were carried out in the northeast of the island (red circle) [Data of ITC LLC «SCAEX», 2022]

Для изучения содержания ТМ в растительных сообществах были собраны образцы листьев (как аккумулирующей части) видов: *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская). Выбранные виды растений являются доминирующими видами в растительности острова, образующими плотный растительный покров, что делает данные виды универсальными для исследования как на острове Симушир, так и во всем районе Курильских островов [Гришин, 2008; Баркалов, 2009]. На фоновой территории для сравнения и выявления межвидовых различий фитогеохимических особенностей, дополнительно были отобраны образцы листьев вида *Sasa kurilensis* (бамбучник), данный вид также широко распространен на острове, однако находится на периферии своего ареала, граница которого проходит по острову Китой, в 25 км от исследованного участка [Воробьев, 1968; Богатов, 2002]. Для отбора материала закладывалась исследовательская площадка размером 20 на 20 м, на которой отбирался растительный материал (листья). Каждый образец массой 0,5–1 кг формировался объединением 8–10 точечных проб с отдельных растений, распределенных по площадке [Методические указания, 1992]. Фоновая площадка закладывалась на удалении 500 м к северо-востоку от края антропогенно-измененной территории. Повторяемость юго-западных ветров (в направлении от основного источника загрязнения к фоновой площадке) по данным Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института для острова Симушир [Федеральное Государственное ..., 2025] составляет 2,21 %. На рис. 3 представлена схема расположения заложенных исследовательских площадок с указанием границ территорий поселка Кратерный и прилегающих зон со значительным антропогенным изменением ландшафта.



Рис. 3. Схема расположения пробных участков и территорий с антропогенно-нарушенными ландшафтами [Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», 2022]
Fig. 3. Scheme of sample plots and areas with anthropogenically disturbed landscapes [Data of ITC LLC «SCAEX», 2022]

Для определения содержания ТМ растительный материал высушивали при комнатной температуре, измельчали и навеску массой 1 г переносили в фарфоровый тигель, предварительно высушенный, и озоляли при 520 °С в течение 4 ч. После того как тигель и проба остыли, полученную золу растворяли соляной кислотой, разведенной 1:1 и переносили в мерную колбу объемом 50 мл и разбавляли дистиллированной водой. В полученном растворе измеряли концентрации тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) на атомно-абсорбционном спектрометре *Varian AA240FS* с системой *Fast Sequential* с пламенной ионизацией по ранее установленной градуировочной зависимости. Пробоподготовка и анализы проводились на базе научно-исследовательской лаборатории Биохимии почвенно-растительных систем Агрофизического научно-исследовательского института в г. Санкт-Петербурге [Yargholi et al, 2008].

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенного анализа была получена информация о содержании металлов (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Fe, Co, Cr) в листьях растений видов *Betula ermanii* (береза каменная), *Alnus japonica* (ольха японская) и *Sasa kurilensis* (бамбучник). На основании полученных данных можно проследить межвидовые особенности накопления ТМ в листьях растений. На рис. 4 представлен график концентраций тяжелых металлов в листьях различных видов на фоновой территории.

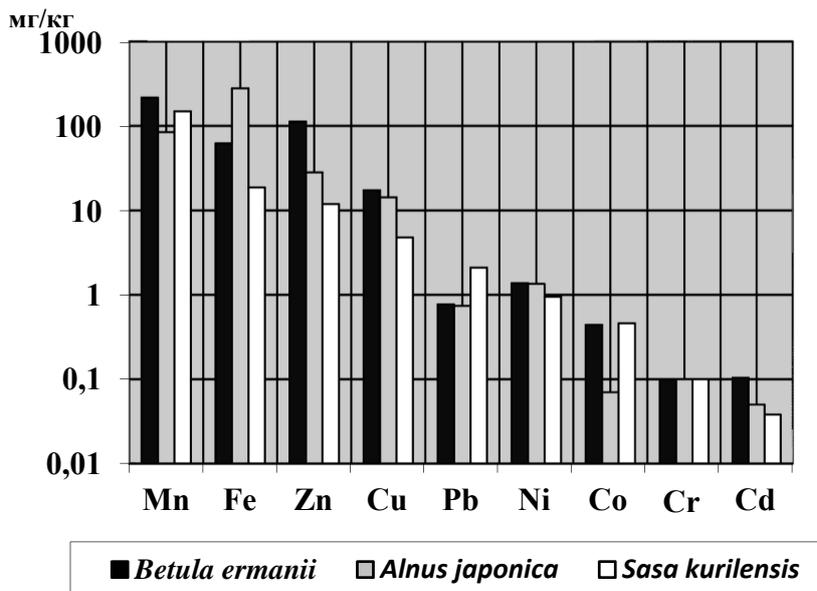


Рис. 4. Средняя концентрация ТМ в листьях растений видов *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis* на фоновой площадке острова Симушир
 Fig. 4. Average concentration of heavy metals in the green mass of plants of *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis* species at the background site of Simushir Island

Таким образом, выделяются следующие ряды концентрации тяжелых металлов:

- 1) Для бамбучника ряд значений концентрации представлен: $Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Ni > Co > Cr > Cd$,
- 2) Для березы каменной – $Mn > Zn > Fe > Cu > Ni > Pb > Co > Cr > Cd$,
- 3) Для ольхи японской – $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cr > Co > Cd$.

По общей интенсивности накопления тяжелых металлов исследуемые виды расположены в ранговом порядке: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. Береза каменная интенсивнее остальных изученных видов накапливает медь, цинк, марганец, кобальт, никель, кадмий. Ольха японская наиболее сильно накапливает железо и хром, а бамбучник – свинец. Особенность менее интенсивного накопления тяжелых металлов бамбучником относительно листовенных древесных растений в схожих условиях произрастания также отмечается в работах других авторов [Добровольский и др., 2006, Фураев, 2013]. По всем исследованным растениям зафиксировано многократное превышение содержания кадмия относительно кларкового содержания, приведенного для сухой зеленой массы растений суши [Добровольский, 2003]. При этом для вулканических почв Курильских островов и Камчатки не характерно естественное высокое содержание кадмия [Ермакова, 2022, Опекунова и др., 2022], однако его высокое содержание отмечается в растительности Камчатского региона, в том числе каменной березе, что может свидетельствовать о естественной гиперконцентрации данного элемента в листьях изучаемых растений [Авдощенко, Климова, 2020].

Для установления влияния антропогенной деятельности на растительность были вычислены коэффициенты аномальной концентрации тяжелых металлов для районов острова с антропогенными нарушениями, относительно фонового участка. В таблице представлены ряды концентраций элементов с аномальным накоплением в листьях растений, относительно фонового участка (более чем в 1,5 раз).

Относительные концентрации ТМ для вида *Betula ermanii* выделяются на всех изученных участках, где имеются следы антропогенной деятельности и в сумме значительно превосходят относительные концентрации для *Alnus japonica*.

Ряды концентраций элементов с аномальным накоплением в листьях кустарников на территориях с антропогенной нагрузкой (в скобках указан коэффициент концентрации)
Concentration series of elements with abnormal accumulation in the green mass of shrubs in areas with anthropogenic impact (concentration coefficient is given in brackets)

Источники антропогенной нагрузки	<i>Betula ermanii</i>	<i>Alnus japonica</i>
I. Берег бухты Броутона, рядом с местом выхода грунтовых вод	Co (6,57)	–
II. Мыс Косякова	Co (3,86) > Zn (2,45) > Cd (1,66)	–
III. Территория бывшей жилой зоны заброшенного поселка Кратерный	Co (5,14) > Pb (1,78) > Cd (1,74)	Pb (2,84)
IV. Район пристани в бухте Броутона	Cr (6,3) > Zn (5,24) > Cd (4,06) > Co (3,29) > Pb (2,47) > Ni (1,80) > Mn (1,74)	Fe (3,28) > Pb (2,47)

Наибольшее число выявленных металлов, нехарактерных для естественного фона, с аномально высокими концентрациями в листьях обнаружены в районах заброшенной пристани. Это свидетельствует о наибольшем химическом загрязнении во время функционирования пристани в прошлом, также элементы могут мигрировать из мест накопления твердых коммунальных отходов, разрушенного крупного металлического мусора и строительных материалов [Устинова, Жилина, 2001; Пугин и др., 2016; Милютин и др., 2020]. Участки на мысе Косякова и в поселке Кратерный имеют аномальные концентрации кобальта и кадмия. На исследуемом участке в поселке у *Betula ermanii* также зафиксировано высокое содержание свинца, а на мысе Косякова – цинка. Для вида *Alnus japonica* отмечаются два участка на острове, где наблюдается аномальное превышение фоновых концентраций свинца и один участок с повышенным содержанием железа.

Аномальное накопление свинца характерно для двух изученных видов, произрастающих на территории бывшего поселка Кратерный и района пристани у бухты Броутона. Поступление свинца в растительность может быть связано с разливами ГСМ и выбросами при сгорании топлива, содержащего тетраэтилсвинец, который в свою очередь способен создавать полосы с аномальными концентрациями вдоль транспортных путей [Петрова, Райхерт, 2013; Корчагина 2014; Семенова 2020]. Можно сделать вывод о том, что антропогенная деятельность, существовавшая в регионе до 1997 года, оказывает влияние на современную растительность, а тяжелые металлы проникают из загрязненных почв через корневую систему в листья [Мудрый, 1997].

Заключение

Для видов *Betula ermanii*, *Alnus japonica*, *Sasa kurilensis*, произрастающих на острове Симушир, выявлено повышенное содержание кадмия и низкое содержание хрома относительно среднего кларка для растений суши. Среди трех изученных видов растений ряд суммарной интенсивности накопления тяжелых металлов выглядит следующим образом: *Betula ermanii* > *Alnus japonica* > *Sasa kurilensis*. В листьях *Betula ermanii* отмечены максимальные концентрации марганца, цинка, меди, никеля и кадмия. В листьях *Alnus japonica* наибольшее количество железа и хрома, *Sasa kurilensis* в наибольшей степени накапливает свинец.

Самые высокие аномальные относительные концентрации тяжелых металлов, относительно фона, в листовенной массе растительности острова наблюдаются в районе заброшенной пристани у бухты Броутона. На данном участке у *Betula ermanii* в наибольшей



степени накапливается Cr (6,3), Zn (5,24), Cd (4,06), Co (3,29), Pb (2,47), Ni (1,80), Mn (1,74), а у *Alnus japonica* Fe (3,28) и Pb (2,47). Данная территория также наиболее нарушена в ландшафтном отношении, присутствует большое количество металлического мусора, в том числе цветных металлов, что, вероятно, может являться источником ТМ для растительности.

На территории бывшего поселка Кратерный выявлена высокая относительная концентрация Co (5,14), Pb (1,78), Cd (1,74) в листьях *Betula ermanii* и Pb (2,84) в листьях *Alnus japonica*. Данный участок также имеет высокую степень преобразования ландшафта, включая большое количество металлического мусора.

На территории у мыса Косякова в листьях *Betula ermanii* отмечается аномальное накопление Co (3,86), Zn (2,45), Cd (1,66), при этом для вида *Alnus japonica* аномальных концентраций на данном участке не выявлено.

На побережье бухты Броутона в районе выхода грунтовых вод на поверхность отмечается наибольшая концентрация кобальта в листьях *Betula ermanii* (для данного вида высокая относительная концентрация кобальта обнаружена для всех исследованных площадок со следами антропогенной деятельности).

Список источников

- Данные ООО ИТЦ «СКАНЭКС», Includes IKONOS, 2022. Электронный ресурс. URL: <https://yandex.ru/maps/geo> (дата обращения: 24.10.2024).
- Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии. Москва, Академия, 400 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. Москва, ЦИНАО, 57 с.
- Пинегина Т.К., Чирков С.А., Кравчуновская Е.А. 2007. Обследование макросейсмических эффектов Симуширских землетрясений. Южно-Сахалинск, СФ ГС РАН, 17 с.
- Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт» (ФГБУ «ДВНИГМИ»): Симушир. Двумерная многолетняя повторяемость по скорости и направлению ветра. Электронный ресурс. URL http://rus.ferhri.ru/okhotsk/Meteo/Vind_Povt_Kuril/Simushir.htm (дата обращения: 01.02.2025).

Список литературы

- Авдошенко В.Г., Климова А.В. 2020. Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. Вестник Камчатского государственного технического университета, 54: 48–64. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-54-48-64>
- Баркалов В.Ю. 2009. Флора Курильских островов. Владивосток, Дальнаука, 468 с.
- Богатов В.В. 2002. Растительный и животный мир Курильских островов. Владивосток, Дальнаука, 163 с.
- Воробьев Д.П. 1968. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Ленинград, Наука, 277 с.
- Гришин С.Ю. 2008. География растительного покрова Курильских островов (к карте растительности архипелага). Известия Русского географического общества, 140(5): 8–15.
- Добровольский В.В., Рощина И.А., Фураев Е.А. 2006. Геохимические особенности ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова). В кн.: Геохимия природных и техногенно измененных биосистем. Москва, Научный мир: 159–178.
- Ермакова С.В. 2022. Содержание тяжелых металлов почв сельскохозяйственных угодий юго-восточной Камчатки на территории Елизовского района. В кн.: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция, Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022. Петропавловск-Камчатский, Камчатский государственный технический университет: 169–172.

- Корчагина К.В. 2014. Оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами с учетом профильного распределения их объемных концентраций. Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 145 с.
- Костенков Н.М., Ознобихин В.И. 2011. Почвенно-географическое районирование Курильских островов. Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН, 1: 77–83.
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. 2017. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов, Ракурс. 178 с.
- Милютин Н.О., Осмоловская Н.Г., Политаева Н.А., Куриленко В.В. 2020. Анализ миграции тяжелых металлов в системе “почва–растение” при эколого-геологической оценке окружающей среды вокруг полигона ТКО в г. Тамбов. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 3: 55–63. <https://doi.org/10.31857/S086978092003008X>
- Мудрый И.В. 1997. Тяжелые металлы в системе почва–растение–человек (обзор). Гигиена и санитария, 1: 16–19.
- Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Сомов В.В., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю., Лисенков С.А., Никулина А.Р. 2022. Природные и антропогенные факторы формирования химического состава почв о. Шикотан (Курильские острова). Почвоведение, 12: 1592–1609. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22100343>
- Петрова Е.Е., Райхерт Е.В. 2013. Влияние автотранспорта на накопление цинка и свинца в почвах и их биологическое поглощение пшеницей мягкой (*triticum aestivum*) в придорожных агроценозах (в условиях Алейского района Алтайского края). Известия Алтайского государственного университета, 3–2(79): 42–46. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2013\)3.2-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2013)3.2-07)
- Плотников И.В. 2022. Особенности накопления тяжелых металлов в зеленой массе кустарников вида *Betula nana* (береза карликовая) в условиях повышенной антропогенной нагрузки. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 3(215): 70–78. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-70-78>
- Полохин О.В. 2015. Содержание микроэлементов в вулканических почвах острова Симушир (Курильские острова). В кн.: Отражение био-гео-антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. V Международная научная конференция, посвященная 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв, Томск, 07–11 сентября 2015. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет: 84–87.
- Полохин О.В., Сибирина Л.А. 2013. Почвы и растительность острова Симушир (Курильские острова). Фундаментальные исследования, 10–8: 1766–1769.
- Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Бояршинов М.Г. 2016. Математическое моделирование эмиссии тяжелых металлов в водные объекты из строительных материалов, полученных на основе отходов производства. Вестник МГСУ, 1: 105–117.
- Семенова В.В. 2020. Аккумуляция тяжелых металлов представителями рода тысячелистник (*Achillea L.*) в условиях высотной зональности северо-восточного Кавказа. Дисс. ... канд., биол. наук. Нижний Новгород, 199 с.
- Узаков З.З. 2018. Тяжелые металлы и их влияние на растения. Символ науки: международный научный журнал, 1–2: 52–54.
- Устинова В.Н., Жилина Е.Н. 2001. Геоэкологические проблемы Сибирского региона. Вопросы географии Сибири: 365–376.
- Фураев Е.А. 2013. Геохимия ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова). Москва, Прометей, 180 с.
- Хамина Н.В. 2024. Экономико-географическая оценка о. Симушир: анализ результатов исследования по итогам комплексной экспедиции «Восточный бастион-Курильская гряда». Международный научно-исследовательский журнал, 2(140): 1–5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.59>
- Liu J., Yu J. 2001. Analysis of Biological Geochemistry of Chemical Elements in *Betula ermanii* Forest in Changbai Mountains, China. Chinese Geographical Science, 11(4): 350–355. <https://doi.org/10.1007/s11769-001-0051-z>
- Yargholi B., Azimi A.A., Baghvand A., Liaghat A.M., Fardi G.A. 2008. Investigation of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Some Vegetables. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(3): 357–364.



References

- Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. 2020. Contents of Heavy Metals in the Plants of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka Territory) in 2017–2018. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 54: 48–64 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-54-48-64>
- Barkalov V.Yu. 2009. *Flora Kuril'skikh ostrovov [Flora of the Kuril Islands]*. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 468 p.
- Bogatov V.V. 2002. *Flora and Fauna of Kuril Islands*. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 163 p. (in Russian).
- Vorob'ev D.P. 1968. *Dikorastushchie derev'ya i kustarniki Dal'nego Vostoka [Wild Trees and Shrubs of the Far East]*. Leningrad, Publ. Nauka, 277 p.
- Grishin S.Yu. 2008. Geography of the Land Cover of Kuril Islands. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 140(5): 8–15 (in Russian).
- Dobrovolskiy V.V., Roshchina I.A., Furaev E.A. 2006. Geohimicheskie osobennosti landshaftov ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Geochemical Features of Landscapes of Kunashir Island (Kuril Islands)]. In: *Geohimiya prirodnykh i tekhnogenno izmenennykh biogeosistem [Geochemistry of Natural and Technogenically Modified Biogeosystems]*. Moscow, Publ. Nauchnyj mir: 159–178.
- Ermakova S.V. 2022. Heavy Metal Content in Soils of Agricultural Land in South-Eastern Kamchatka on the Territory of the Yelizovsky District. In: *Natural Resources, Their Current State, Protection, Commercial and Technical Use. National (All-Russian) scientific and practical conference, Petropavlovsk-Kamchatsky, 29–30 March 2022*. Petropavlovsk-Kamchatsky, Publ. Kamchatka State Technical University: 169–172 (in Russian)
- Korchagina K.V. 2014. Ocenka zagryazneniya gorodskikh pochv tyazhelymi metallami s uchetom profil'nogo raspredeleniya ih obemnykh koncentracij [Assessment of Pollution of Urban Soils with Heavy Metals Taking into Account the Profile Distribution of Their Volume Concentrations]. *Dis. ... cand. boil. sciences*. Moscow, 145 p.
- Kostenkov N.M., Oznobihin V.I. 2011. Geographic Areas and Soil Zones of the Kuril Islands. *Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*, 1: 77–83 (in Russian).
- Medvedev I.F., Derevyagin S.S. 2017. *Heavy Metals in Ecosystems*. Saratov, Publ. Rakurs, 178 p. (in Russian).
- Milyutina N.O., Osmolovskaya N.G., Politaeva N.A., Kurilenko V.V. 2020. Analysis of Heavy Metal Migration in Soil-Plant System Upon the Ecological-Geological Assessment of the Environment Around the Municipal Solid Waste Landfill in Tambov. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 3: 55–63 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S086978092003008X>
- Mudryj I.V. 1997. Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie-chelovek (obzor) [Heavy Metals in the Soil-Plant-Human System (Review)]. *Gigiena i sanitariya*, 1: 16–19.
- Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Somov V.V., Kukushkin S.Yu., Arestova I.Yu., Lisenkov S.A., Nikulina A.R. 2022. Natural and Anthropogenic Factors of Soils Chemical Composition on Shikotan Island (Kuril Islands). *Eurasian Soil Science*, 55(12): 1891–1908. <https://doi.org/10.1134/s1064229322700077>
- Petrova E.E., Raikhert E.V. 2013. Effect of Vehicles on the Accumulation of Lead and Zinc in Soils and Their Biological Absorption by Soft Wheat (*Triticum Aestivum*) in Roadside Agricultural Lands (in the Alei Zone, Altai Territory). *Izvestiya of Altai State University*, 3–2(79): 42–46 (in Russian). [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2013\)3.2-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2013)3.2-07)
- Plotnikov I.V. 2022. Features of Accumulation of Heavy Metals in the Green Mass of *Betula Nana* Shrubs Under Conditions of Increased Anthropogenic Impact. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science*, 3(215): 70–78 (in Russian). <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2022-3-70-78>
- Polokhin O.V. 2015. The Amount of Trace Elements of Volcanic Soils of Simushir Island (Kuril Island). In: *Reflection of Bio-Geo-Anthropospheric Interactions in Soils and Soil Cover. V International scientific conference dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology, Tomsk, 7–11 September 2015*. Tomsk, Publ. National Research Tomsk State University: 84–87 (in Russian).
- Polokhin O.V., Sibirina L.A. 2013. Soil and Vegetation Simushir Island (Kuril Island). *Fundamental research*, 10–8: 1766–1769 (in Russian).

- Pugin K.G, Vaysman Ya.I., Boyarshinov M.G. 2016. Mathematical Modeling of the Emission of Heavy Metals into Water Bodies from Building Materials Derived from Production Waste. Vestnik MGSU, 1: 105–117 (in Russian).
- Semenova V.V. 2020. Akkumulyaciya tyazhelyh metallov predstavatelyami roda tysyachelistnik (*Achillea L.*) V usloviyah vysotnoj zonal'nosti severo-vostochnogo Kavkaza [Accumulation of Heavy Metals by Representatives of the Genus Yarrow (*Achillea L.*) in the Conditions of Altitudinal Zonality of the North-Eastern Caucasus]. Diss. ... cand. biol. sciences. Nizhniy Novgorod, 199 p.
- Uzakov Z.Z. 2018. Tyazhelye metally i ih vliyanie na rasteniya [Heavy Metals and Their Effects on Plants]. Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal, 1–2: 52–54.
- Ustinova V.N., Zhilina E.N. 2001. Geoekologicheskie problemy Sibirskogo regiona [Geocological Problems of the Siberian Region]. Voprosy geografii Sibiri: 365–376.
- Furaev E.A. 2013. Geohimiya landshaftov ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Geochemistry of Landscapes of Kunashir Island (Kuril Islands)]. Moscow, Publ. Prometey, 180 p.
- Khamina N.V. 2024. An Economic and Geographical Assessment of Sumishir Island: An Analysis of the Study Results of the Eastern Bastion-Kuril Ridge Complex Expedition. International Research Journal, 2(140): 1–5. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.59>
- Liu J., Yu J. 2001. Analysis of Biological Geochemistry of Chemical Elements in *Betula ermanii* Forest in Changbai Mountains, China. Chinese Geographical Science, 11(4): 350–355. <https://doi.org/10.1007/s11769-001-0051-z>
- Yargholi B., Azimi A.A., Baghvand A., Liaghat A.M., Fardi G.A. 2008. Investigation of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Some Vegetables. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(3): 357–364.

Поступила в редакцию 02.12.2024;
поступила после рецензирования 23.12.2024;
принята к публикации 09.03.2025

Received December 02, 2024;
Revised December 23, 2024;
Accepted March 09, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Плотников Илья Викторович, младший научный сотрудник отдела науки и экологического мониторинга, ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного биосферного заповедника «Кедровая падь» и национального парка «Земля леопарда» им. Н.Н. Воронцова, г. Владивосток, Россия

Пожарская Олеся Дмитриевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Дубовицкая Виктория Игоревна, научный сотрудник лаборатории опытного отдела, Агрофизический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya V. Plotnikov, Junior Researcher, Department of Science and Environmental Monitoring, Federal State Budgetary Institution Joint Directorate of Kedrovaya Pad State Biosphere Nature Reserve and Land of the Leopard National Park, Vladivostok, Russia

Olesya D. Pozharskaya, Junior Researcher, Research Department, Saint Petersburg Research Center of the Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia

Victoria I. Dubovitskaya, Researcher, Experimental Department Laboratory, Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia



УДК 911.3+004.738.5(571.53)
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области: географический прогноз

Блануца В.И.

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
blanutsa@list.ru

Аннотация. В следующем десятилетии ожидается развертывание тактильного Интернета (дистанционный обмен в режиме реального времени не только текстом, аудио и видео, но и тактильными ощущениями) на основе телекоммуникационной сети шестого поколения. Однако возможные социально-географические последствия такого развертывания еще не анализировались в мировой науке. Одним из негативных последствий станет дробление единого телекоммуникационного пространства страны на множество отдельных ареалов, в пределах которых будет поддерживаться обмен тактильными ощущениями в режиме реального времени, а вне этих ареалов тактильной связи не будет. В таких ареалах сформируются специфические территориальные сообщества тактильной коммуникации. Ранее эти сообщества не выделялись в каком-либо регионе или стране. Поэтому целью нашего исследования стала идентификация отмеченных сообществ посредством установления максимально возможного числа городских поселений (городов и поселков городского типа) в каждом ареале на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Иркутской области в 2030-х и последующих годах. Установлено, что предельные размеры территориальных сообществ определяются величиной круговой задержки в передаче тактильных данных между населенными пунктами, которая не должна превышать одну миллисекунду. Для выделения сообществ использовалась авторская база данных о линиях электросвязи и данные Росстата о численности населения городских поселений. Расчеты величины задержки проводились по специальной формуле. Ограничения по людности центров сообществ взяты из отечественного опыта развертывания широкополосной связи. Это позволило определить десять стадий развертывания тактильной связи. Вычисление задержки между 66 городскими поселениями Иркутской области позволило идентифицировать 13 территориальных сообществ тактильной коммуникации. Приведен перечень поселений, входящих в каждое сообщество, и последовательность формирования сообществ. Полученные результаты интерпретированы с позиции проблемных поселений и будущего интернет-тактильного неравенства. Практическая значимость исследования связана с разработкой программы ликвидации будущего неравенства.

Ключевые слова: общественная география, тактильный Интернет, задержка передачи данных, территориальное сообщество, будущее цифровое неравенство, Иркутская область

Благодарности: исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ регистрации темы АААА-А21-121012190018-2).

Для цитирования: Блануца В.И. 2025. Пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области: географический прогноз. Региональные геосистемы, 49(1): 16–28. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Distribution Limits of Tactile Communication's Territorial Communities in the Irkutsk Region: A Geographical Forecast

Viktor I. Blanutsa

Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia
blanutsa@list.ru

Abstract. The next decade will see the deployment of the Tactile Internet based on the sixth generation telecommunication network, allowing real-time remote exchange of not only text, audio and video, but also tactile sensations. However, the possible socio-geographical consequences of this deployment have

© Блануца В.И., 2025

not yet been analysed in the world science. One of the negative consequences will be the fragmentation of the country's unified telecommunication space into many separate areas where real-time exchange of tactile sensations will be maintained. Outside these areas, no tactile communication will be available. Specific territorial communities of tactile communication will be formed in such areas. These communities were not previously distinguished in any region or country. Therefore, the purpose of our study was to identify such communities by establishing the maximum possible number of towns and urban-type settlements in each area at different stages of the Tactile Internet deployment in the Irkutsk region in the 2030s and beyond. We have found that the maximum size of territorial communities is determined by the magnitude of the circular delay in the transmission of tactile data between towns and settlements, which should not exceed one millisecond. To identify communities, the author's database of telecommunication lines and Russian Federal Service of State Statistics' data on the population of urban settlements were used. The delay value was calculated using a special formula. The restrictions on the population number in community centers were taken from the domestic experience of broadband deployment. This allowed us to identify ten stages of tactile communication deployment. The calculation of the delay between 66 urban settlements of the Irkutsk region made it possible to identify 13 territorial communities of tactile communication. The article provides a list of settlements included in each community and the sequence of community formation. The author interprets the results from the perspective of problematic settlements and the future of internet-tactile inequality. The practical significance of the study is connected with the development of a program to eliminate future inequality.

Keywords: human geography, Tactile Internet, data transmission delay, territorial community, future digital inequality, Irkutsk region

Acknowledgements: The study was carried out at the expense of the state task (registration number of the topic AAAA-A21-121012190018-2).

For citation: Blanutsa V.I. 2025. Distribution Limits of Tactile Communication's Territorial Communities in the Irkutsk Region: A Geographical Forecast. *Regional Geosystems*, 49(1): 16–28 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-16-28

Введение

Одной из функций науки как общественного института является прогнозирование социальных последствий внедрения новых технологий. В XXI в. наиболее значительное воздействие на общество оказывают информационно-коммуникационные технологии. Их развитие можно представить в виде следующей последовательности [Islam et al., 2022]: фиксированный Интернет (1980–2000-е гг.; сети связи 1G, 2G и 3G), мобильный Интернет (2010-е гг.; 4G), Интернет вещей (2020-е гг.; 5G) и тактильный Интернет (2030-е гг.; 6G). Концепция последнего вида Интернета была представлена десять лет назад [Fettweis, 2014] и зафиксирована в докладе рабочей группы Международного союза электросвязи [The Tactile Internet..., 2014]. В наиболее общем виде под тактильным Интернетом (ТИ) понимается сверхнадежный и с наименьшей задержкой дистанционный обмен не только традиционными данными (текст, аудио, видео), но и тактильными ощущениями (прикосновение, давление, вибрация, шероховатость и др.).

Проблема в том, что с географических позиций будущая тактильная связь еще не анализировалась в мировой науке. Также отсутствуют какие-либо представления о возможных социально-географических последствиях внедрения ТИ. Наш анализ обобщающих публикаций по тактильной связи [Fettweis, 2014; Кучерявый и др., 2016; Yahiya, Kirci, 2019; Le et al., 2020; Yu et al., 2020; Fanibhare et al., 2021; Fitzek et al., 2021; Hou et al., 2021; Samanta et al., 2021; Islam et al., 2022; Awais et al., 2023; Tychola et al., 2023] позволил выявить одно негативное последствие – дробление (фрагментация, дифференциация) единого телекоммуникационного пространства страны на множество отдельных ареалов, в пределах которых будет поддерживаться дистанционный обмен тактильными ощущениями в режиме реального времени. Соответственно, между ареалами обмен ощущениями не будет доступен в требуемом режиме (только в записи или путем машинной имитации) из-за превышения сверх-



малой задержки при передаче тактильных данных. Такая дифференциация приведет к формированию замкнутых территориальных сообществ пользователей ТИ и тем самым создаст новое цифровое – интернет-тактильное – неравенство между людьми, которые по своему положению в географическом пространстве будут иметь или не иметь доступ к тактильной связи. Ранее территориальные сообщества тактильной коммуникации не выделялись ни для какой страны или региона. Поэтому целью нашего исследования стала идентификация отмеченных сообществ посредством установления максимально возможного числа городских поселений (городов и поселков городского типа) в каждом ареале на разных стадиях развертывания ТИ в Иркутской области в 2030-х и последующих годах.

Объекты и методы исследования

При идентификации географических пределов распространения будущих территориальных сообществ тактильной коммуникации целесообразно опираться на отечественный опыт внедрения информационно-коммуникационных технологий [Перфильев, 2003; Блануца, 2019]. Из него следует, что первоначально новая технология внедряется в столице (г. Москва), а затем распространяется на города с численностью населения более 1 млн человек, после чего постепенно происходит несколько переходов к поселениям с примерно в два раза меньшей людностью. Это дает основание предположить, что внедрение ТИ также будет осуществляться в несколько стадий в 2030-х гг. Учитывая распространение мобильной связи [Развитие ..., 2020], можно ожидать последовательное снижение людности поселений до 10 тыс. человек как некоторого порога экономической целесообразности для операторов связи, ниже которого внедрение новой технологии финансируется не частными компаниями, а государством (в рамках программы устранения цифрового неравенства). Тогда внедрение тактильной связи в России будет происходить примерно в следующей последовательности: г. Москва (первая стадия), города с людностью не менее 1,0000 (вторая), 0,5000–0,9999 (третья), 0,2500–0,4999 (четвертая), 0,1000–0,2499 (пятая), 0,0500–0,0999 (шестая), 0,0250–0,0499 (седьмая) и 0,0100 – 0,0249 (восьмая стадия) млн человек. Кроме этого, будем учитывать возможность создания прямых оптоволоконных линий между городскими поселениями (сейчас такие линии связи являются извилистыми, так как прокладываются в основном вдоль автомобильных и железных дорог, линий электропередачи и трубопроводов; с некоторой условностью эту стадию можно считать девятой) и будущее развитие технологий электросвязи, приближающих скорость передачи данных к скорости света по прямой линии между населенными пунктами (условно десятая стадия).

Значения людности городских поселений Иркутской области взяты из данных Росстата на 1 января 2023 года [Численность населения ..., 2023]. Прогноз изменения численности городского населения области в 2030–2040-е гг. автором не проводился, но учитывался прогноз Росстата [Иркутская область ..., 2024], согласно которому городское население области будет уменьшаться с 1,8172 (01.01.2023) до 1,7329 (2030 г.), 1,6848 (2035 г.), 1,6527 (2040 г.) и 1,6330 (2045 г.). млн человек. Если допустить, что снижение численности населения будет проходить линейно и пропорционально исходной людности городских поселений, то для приблизительной оценки доли горожан вне будущего доступа к ТИ можно использовать относительные данные (проценты, рассчитанные на 01.01.2023). Что касается кратчайших расстояний между городскими поселениями по оптоволоконным линиям, то они определялись по авторской базе данных «Линии электросвязи Российской Федерации», составленной по отчетам отечественных операторов связи на 1 января 2023 года. Прогноз создания новых оптоволоконных линий определялся задачами повышения телекоммуникационной связанности российских городов [Блануца, 2019] и необходимостью перевода критических элементов связи России в обычные (некритические) линейно-узловые элементы [Блануца, 2024].

Для расчета величины задержки передачи тактильных данных T использовалась следующая формула [Кучерявый и др., 2016]:

$$T = R\sigma + \Theta,$$

где R – расстояние между городскими поселениями по кратчайшей оптоволоконной линии (км), σ – задержка, связанная с физическими ограничениями по передаче данных (мкс/км; 1 микросекунда = 0,000001 секунды; для оптоволоконных линий $\sigma = 5$ мкс/км), Θ – задержка, вносимая техническими средствами связи (мкс; развитие средств связи ведет к минимизации Θ , что позволяет в прогнозных расчетах принять $\Theta = 0$). В случае передачи тактильных данных со скоростью света сохранение сверхмалых задержек в 1 мс (1000 мкс) возможно на прямом расстоянии между городскими поселениями до 300 км (при круговой – туда и обратно – задержке получается 150 км).

Результаты и их обсуждение

Тактильный Интернет

Из обобщающих публикаций следует, что архитектуру ТИ можно представить в виде двух коммуникационных доменов, предоставляющих услуги абонентам, и сетевого домена, обеспечивающего соединение абонентов. Здесь важную роль играют устройства считывания тактильных ощущений (сенсоры), преобразования их в цифровую запись (кодеки) и воспроизведения (тактильные приводы в виде перчаток, браслетов или колец; ведутся исследования по обеспечению тактильной обратной связи в воздухе – с помощью вихрей, струй и ультразвука [Vaquero-Melchor, Bernardos, 2019]). Первоначально предполагалось, что тактильная коммуникация будет внедрена в 2020-х гг. на основе беспроводной связи пятого поколения [Simsek et al., 2016], но дальнейшее уточнение возможностей сетей 5G привело к пониманию их ограничений и переносу полномасштабного внедрения данной новации на период развертывания сетей 6G [Hou et al., 2021].

Среди всех характеристик нового вида Интернета ключевыми являются два параметра – сверхвысокая надежность (вероятность отказа один к миллиону) и сверхмалая круговая задержка (время передачи данных от одного абонента к другому и обратно не должно превышать 1 мс). Особо критична задержка [Le et al., 2020], которая ограничена физическими свойствами канала связи (оптоволокно, медь или радиосвязь), длиной очереди на передачу данных, временем обработки данных и другими пределами [Islam et al., 2022], что приводит к дополнительному сокращению максимального расстояния между абонентами. Таким образом, величина задержки является главным географическим ограничением для возможности осуществления тактильной коммуникации в режиме реального времени. В качестве приложений ТИ обычно рассматриваются электронное здравоохранение (теледиагностика, телехирургия и телереабилитация), образование, виртуальная и дополненная реальность, самоуправляемые (беспилотные) транспортные средства, «умное производство», «умный город», электронная торговля и тактильный туризм [Кузнецов и др., 2019; Islam et al., 2022; Blom, Nilsson, 2023].

Территориальные сообщества

Ограничение на круговую задержку в 1 мс приведет к тому, что тактильная коммуникация в реальном времени будет возможна не повсеместно, а только между близко расположенными населенными пунктами. Это сформирует территориально ограниченные сообщества тактильной коммуникации. С современных позиций можно предположить, что негативное общественно-географическое последствие развертывания ТИ будет проявляться в возможности полноценного дистанционного общения (включая тактильные ощущения в режиме реального времени) только в пределах территориальных сообществ тактильной коммуникации, а в остальных сообществах такой возможности не будет (аудио-видео общение без ощущений).



Отсутствие в мировой науке публикаций по выделению сообществ тактильной коммуникации может быть частично восполнено географическим опытом идентификации территориальных сообществ людей по данным операторов сотовой связи [Botta, del Genio, 2017; Yang et al., 2019; Zhang et al., 2022; Arjona et al., 2023]. Несмотря на некоторое сходство между двумя отмеченными видами связи, тактильная коммуникация характеризуется соблюдением сверхмалых круговых задержек в передаче данных, а при сотовой связи соединение абонентов не ограничено задержкой и не требует тактильных кодеков. Еще одним научным направлением, из которого можно взять отдельные способы делимитации территориальных сообществ, может стать выявление функциональных районов на основе данных об интенсивности ежедневных междугородних поездок людей на работу, учебу и по иным целям [Martínez-Bernabéu et al., 2020; Iacus et al., 2022; Shen et al., 2023]. Применительно к тактильной коммуникации выделение территориальных сообществ может проводиться по интенсивности ТИ-соединения абонентов из разных населенных пунктов. Тогда искомые сообщества будут замыкаться в пределах функциональных районов тактильной коммуникации.

Пределы распространения

Определение величины задержки в передаче тактильных данных по кратчайшим оптоволоконным линиям связи между населенными пунктами может проводиться путем измерения (по датчикам операторов связи) или расчета по специальной формуле [Кучерявый и др., 2016]. Поскольку развертывание ТИ начнется примерно после 2030 года, то в настоящее время отсутствуют сведения о замерах задержки в передаче таких данных. Поэтому использовались расчеты по упомянутой формуле с уточнением, что в следующем десятилетии задержка в узлах связи будет ликвидирована ($\Theta = 0$). В таком случае алгоритм выделения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области объединит следующие действия: (а) по данным Росстата на 1 января 2023 года определяется город с наибольшей людностью, в котором должны быть расположены будущие службы поддержки тактильной связи – «центр» территориального сообщества (г. Иркутск); (б) идентифицируются городские поселения, находящиеся на удалении (туда и обратно) не более 0,50 мс от выделенного центра (эти поселения формируют «ближнюю периферию» сообщества, отличительной чертой которой является возможность тактильной коммуникации в режиме реального времени не только с центром, но и со всеми остальными поселениями в ближней периферии); (в) выделяется «дальняя периферия» сообщества как множество городских поселений, удаленных от центра на 0,51–1,00 мс (для этих поселений характерна возможность тактильной связи с центром и только с некоторыми другими поселениями в ближней и дальней периферии, до которых круговая задержка не превышает 1 мс; таким образом, здесь имеет место только частичный доступ к ТИ); (г) все поселения, входящие в первое территориальное сообщество, удаляются из списка рассматриваемых населенных пунктов области, а среди оставшихся выделяется поселение с наибольшей людностью (г. Братск); (д) относительно нового центра определяется ближняя и дальняя периферия и так продолжалось до тех пор, пока существуют потенциальные центры сообществ с численностью населения не менее 10 тыс. человек. Реализация этого алгоритма позволила идентифицировать 13 будущих территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области и привязать их создание к семи стадиям развертывания ТИ в Российской Федерации (первая, вторая и четвертые стадии не характерны для области в связи с отсутствием центров с необходимой людностью). Получилось следующее распределение городских поселений по территориальным сообществам.

Третья стадия: Иркутское сообщество (центр – г. Иркутск; ближняя периферия – г. Ангарск, г. Шелехов, пгт Маркова; дальняя периферия – г. Усолье-Сибирское, пгт Бело-

реченский, пгт Большая Речка, пгт Култук, пгт Листвянка, пгт Средний, пгт Тайтурка, пгт Тельма).

Пятая стадия: Братское сообщество (центр – г. Братск; ближняя периферия – г. Вихоревка).

Шестая стадия: Усть-Илимское (центр – г. Усть-Илимск; ближняя периферия – пгт Железнодорожный) и Черемховское (центр – г. Черемхово; ближняя периферия – г. Свирск, пгт Михайловка, пгт Мишелевка; дальняя периферия – пгт Залари, пгт Тыреть 1-я) сообщества.

Седьмая стадия: Тулунское (центр – г. Тулун), Усть-Кутское (центр – г. Усть-Кут; ближняя периферия – пгт Янталь; дальняя периферия – пгт Звёздный), Саянское (центр – г. Саянск; ближняя периферия – г. Зима; дальняя периферия – пгт Куйтун), Тайшетское (центр – г. Тайшет; ближняя периферия – г. Бирюсинск, пгт Квиток, пгт Юрты; дальняя периферия – г. Алзамай, пгт Шиткино) и Нижнеудинское (центр – г. Нижнеудинск; ближняя периферия – пгт Атагай, пгт Ук, пгт Шумский) сообщества.

Восьмая стадия: Железногорск-Илимское (центр – г. Железногорск-Илимский; ближняя периферия – пгт Хребтовая; дальняя периферия – пгт Новая Игирма), Слюдянское (центр – г. Слюдянка; ближняя периферия – г. Байкальск), Чунское (центр – пгт Чунский; ближняя периферия – пгт Лесогорск, пгт Октябрьский) и Киренское (центр – г. Киренск; ближняя периферия – пгт Алексеевск) сообщества.

Анализ трассировки будущих оптоволоконных линий связи [Блануца, 2019, 2024]) показал, что эти линии, повышающие связанность российских городов, никак не влияют на уменьшение величины задержки в передаче тактильных данных между городскими поселениями Иркутской области. Поэтому были проанализированы две последние – гипотетические – стадии развертывания ТИ. Установлено, что создание прямых оптоволоконных линий связи между городскими поселениями (девятая стадия) позволит подключить к ТИ еще два населенных пункта во внешней периферии Железногорск-Илимского (пгт Видим) и Усть-Илимского (пгт Радищев) сообществ. Если когда-то будет разработана технология передачи тактильных данных со скоростью света (десятая стадия), то появится возможность расширить внешнюю периферию Тайшетского (пгт Новобирюсинский), Усть-Илимского (пгт Рудногорск, пгт Янгель) и Усть-Кутского (пгт Магистральный) сообществ. Однако и после реализации десятой стадии развертывания ТИ в Иркутской области останутся городские поселения без доступа к тактильной связи (табл. 1) – город Бодайбо и десять поселков городского типа (Артемовский, Балахнинский, Витимский, Жигалово, Качуг, Кропоткин, Луговский, Мама, Мамакан, Улькан). Таковы крайние пределы распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области.

Обычно обсуждение полученных результатов проводится путем сравнения с ранее полученными аналогичными данными по той же территории и (или) с помощью других алгоритмов. Однако ранее территориальные сообщества тактильной коммуникации не выделялись не только в Иркутской области, но и в других регионах и странах, а для применения алгоритмов идентификации функциональных районов тактильной коммуникации нет исходной информации об интенсивности обмена тактильными данными между населенными пунктами (такие сведения появятся после 2030 года при развертывании ТИ). Поэтому далее рассмотрим лишь ограничения проведенного исследования и интерпретацию полученных результатов.

Среди ограничений нашего исследования целесообразно отметить учет только городских поселений Иркутской области, отсутствие привязки стадий развертывания ТИ к конкретным годам и фиксированные границы территориальных сообществ. Первое ограничение связано с тем, что еще не все сельские поселения подключены к единой оптоволоконной сети России (в Иркутской области продолжается реализация программы ликвидации цифрового неравенства для поселений с численностью населения от 100 до 500 че-



ловек). Возможно, после 2030 года в области останется ряд сельских поселений без волоконно-оптических линий связи (только спутниковая связь), что исключает запуск тактильной связи. Кроме этого, людность шести сельских поселений области – Баклашинское, Молодежное, Уриковское, Усть-Ордынское, Ушаковское и Хомутовское – превышает 10 тыс. человек, что делает их потенциальными центрами территориальных сообществ. Однако такие сообщества не сформируются как отдельные образования, так как отмеченные сельские поселения находятся в зоне влияния г. Иркутска и войдут в Иркутское сообщество.

Таблица 1
 Table 1

Количество городских поселений Иркутской области в территориальных сообществах тактильной коммуникации и за их пределами на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Российской Федерации после 2030 года (составлено автором)
 The number of Irkutsk region's towns and settlements in the territorial communities of tactile communication and beyond at different stages of the Tactile Internet deployment in the Russian Federation after 2030 (compiled by the author)

Стадия развертывания	Число поселений с доступом к тактильной связи		Число поселений без доступа к тактильной связи	
	Города	Поселки городского типа	Города	Поселки городского типа
Первая	0	0	22	44
Вторая	0	0	22	44
Третья	4	8	18	36
Четвертая	4	8	18	36
Пятая	6	8	16	36
Шестая	9	13	13	31
Седьмая	17	22	5	22
Восьмая	21	28	1	16
Девятая	21	30	1	14
Десятая	21	34	1	10

Примечание. Учитывались населенные пункты Иркутской области, имеющие статус города или поселка городского типа на 1 января 2023 года.

Второе ограничение обусловлено отсутствием прогноза точной даты начала первой стадии развертывания ТИ в России и третьей стадии – в Иркутской области. Не исключено, что в разных российских регионах будут свои темпы внедрения тактильной связи. Поэтому в нашем географическом прогнозе восемь стадий привязаны к следующему десятилетию, а девятая и десятая стадии рассматриваются как гипотетические варианты с возможностью реализации в 2040-х гг. Неопределенность с конкретными годами заставила отказаться от попытки прогнозирования изменения численности населения городских поселений области, так как данные о предсказываемой людности невозможно соотнести с подробной хронологией стадий внедрения ТИ.

В нашем алгоритме выделения территориальных сообществ предусмотрены строго фиксированные границы (третье ограничение), что необходимо для планирования развертывания ТИ. Это обусловлено операцией «г» в рамках алгоритма. Однако в реальности могут быть населенные пункты, имеющие допустимую круговую задержку от нескольких центров, что создает «размытые» территориальные сообщества. Например, пгт Култук на третьей стадии должен войти во внешнюю периферию Иркутского сообщества, а на восьмой стадии может быть включен в ближнюю периферию Слюдянского сообщества. Получается, что жители данного поселка могут иметь тактильную связь с двумя центрами – городами Иркутск и Слюдянка. С учетом всех десяти стадий в Иркутской области такие пересечения могут быть между Усть-Кутским и Железногорск-Илимским, Усть-Илимским и Железногорск-Илимским, Братским и Железногорск-Илимским, Чунским и Братским, Тайшетским и Чунским, Нижнеудинским и Тайшетским, Тулунским и Нижнеудинским, Саянским и Тулунским, Черемховским и Саянским, Иркутским и Черемховским, Иркутским и Слюдянским сообществами тактильной коммуникации.

Интерпретация полученных результатов может осуществляться с разных позиций. Ограничимся толкованием территориальных сообществ тактильной коммуникации с позиций идентификации проблемных поселений и цифрового неравенства. В обоих случаях представляют интерес городские поселения, не вошедшие в состав рассматриваемых сообществ на разных стадиях развертывания ТИ. В этом контексте проблемным можно считать населенный пункт, который еще не подключен к тактильной связи. Если на первой стадии таковыми являются все городские поселения Иркутской области, то после десятой стадии останется 11 проблемных поселений (см. табл. 1). Больше всего этих поселений расположено на северо-востоке области, что заставит российское правительство финансировать операторам связи развертывания ТИ на этой территории в связи с недостаточным количеством потенциальных абонентов. Поэтому не исключено, что в отдаленной перспективе (после 2040 года) будут созданы два малых сообщества тактильной коммуникации – Бодайбинское (центр – г. Бодайбо; ближняя периферия – пгт Балахнинский, пгт Мамакан; дальняя периферия – пгт Артёмовский; при создании прямой оптоволоконной линии от г. Бодайбо возможно подключение пгт Кропоткин) и Мамское (центр – пгт Мама; ближняя периферия – пгт Витимский, пгт Луговский). После этого останется как-то подключать к ТИ три удаленных поселка – Жигалово, Качуг и Улькан.

Цифровое неравенство в современном понимании представлено тремя уровнями [Hargittai, 2002; Scheerder et al., 2017; Van Dijk, 2020] – доступом к информационно-коммуникационной сети, использованием сети (навыки, цифровая грамотность) и офлайн-результатами такого использования. До внедрения тактильной связи можно прогнозировать только возможность доступа к ТИ. В данном случае цифровое (точнее, интернет-тактильное) пространственное неравенство будет выражаться в существовании двух видов географических мест – с возможностью и без возможности тактильной связи. Как отмечалось выше, определение суммарной людности второго вида мест не имеет смысла без точной хронологии стадийности внедрения ТИ. Поэтому ограничимся предположением, что существующий удельный вес каждого городского поселения Иркутской области (на 1 января 2023 года) сохранится и после 2030 года. Это позволяет примерно оценить процент горожан области, которым будет частично доступна (внешняя периферия территориальных сообществ) и полностью недоступна тактильная связь на каждой стадии (табл. 2). Конечно, людность поселений не будет изменяться линейно и пропорционально относительно современной ситуации. Кроме этого, может измениться количество городских поселений как за счет появления новых поселений и перевода сельских поселений в городские, так и за счет лишения статуса городского поселения (например, в области в 2022 году существовал пгт Кунерма, который по данным Росстата на 01.01.2023 года уже значился сельским поселением). Несмотря на это, проведенные расчеты показывают, что



даже после сложно реализуемой десятой стадии в Иркутской области останется до двух процентов горожан без возможности пользования услугами ТИ.

Таблица 2
 Table 2

Предполагаемый удельный вес (проценты) городского населения Иркутской области с частичным доступом (дальняя периферия территориальных сообществ) и без доступа к тактильной связи на разных стадиях развертывания тактильного Интернета в Российской Федерации после 2030 года (составлено автором)
 The estimated proportion (percentage) of the Irkutsk region's urban population with partial access to tactile communication (the far periphery of territorial communities) and those without it at various stages of the Tactile Internet deployment in the Russian Federation after 2030 (compiled by the author)

Стадия развертывания	Будет возможность частичного доступа	Не будет возможности доступа
Первая	0	100,00
Вторая	0	100,00
Третья	5,70	44,26
Четвертая	5,70	44,26
Пятая	5,70	30,91
Шестая	6,45	21,08
Седьмая	7,40	7,75
Восьмая	7,90	2,51
Девятая	7,99	2,41
Десятая	8,69	1,72

Примечание. За основу взяты данные Росстата о численности городского населения на 1 января 2023 года и принято допущение, что после 2030 года сохранится удельный вес каждого городского поселения Иркутской области в суммарной людности таких поселений.

Заключение

Географический прогноз пределов распространения территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области показал, что с учетом круговой задержки в передаче тактильных данных между населенными пунктами не более одной миллисекунды и минимальной людности центра сообщества в 10 тыс. человек может сформироваться максимум 13 таких сообществ. При этом создание прямых (по прямой линии между поселениями) оптоволоконных каналов связи и гипотетическая возможность разработки технологии передачи тактильных данных со скоростью света не может увеличить количество территориальных сообществ тактильной коммуникации в Иркутской области. Таким образом, тактильная связь в будущем (в 2030-х гг.) охватит максимум 55 городских поселений области. Оставшиеся 11 поселений при существующих ограничениях на людность центров размещения служб поддержки тактильной коммуникации будут без доступа к ТИ. Полученное знание имеет практическое применение в том смысле, что позволяет заранее (до 2030 года) начать разработку программы ликвидации будущего интернет-тактильного неравенства первого уровня (доступ к ТИ) в Иркутской области.

Перспективы дальнейших исследований по рассматриваемой проблематике связаны с устранением существующих ограничений, охватом других регионов (всей территории Российской Федерации), переходом от изучения тактильных дистанционных взаимо-

действий между людьми к аналогичным взаимодействиям в системах «человек – машина» и «машина – машина», разработкой алгоритма выявления функциональных тактильных районов, созданием пилотных региональных программ ликвидации будущего интернет-тактильного неравенства и получением иных – негеографических – прогнозов (к примеру, экономического прогноза, призванного оценить экономическую целесообразность развертывания тактильной связи в регионе).

Список источников

- Иркутская область. Расчет предположительной численности населения. Средний вариант прогноза (1 января 2024–2046 гг.). Электронный ресурс. URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/167937> (дата обращения: 20.10.2024).
- Развитие мобильной связи и широкополосного доступа (22.06.2020). Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/543/> (дата обращения: 20.10.2024).
- Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2023 года. Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 20.10.2024).
- The Tactile Internet: ITU-T Technology Watch Report, August 2014. 2014. Geneva, ITU, 18 p.

Список литературы

- Блануца В.И. 2019. Информационно-сетевая география. Москва, ИНФРА-М, 243 с. https://doi.org/10.12737/monography_5cff8bcec8c6d5.00839612
- Блануца В.И. 2024. Идентификация критической телекоммуникационной инфраструктуры в России: географический подход. География и природные ресурсы, 45(1): 5–14. <https://doi.org/10.15372/GIPR20240101>
- Кузнецов К.А., Мутханна Ф.С.Ф., Кучерявый А.Е. 2019. Тактильный интернет и его приложения. Информационные технологии и телекоммуникации, 7(2): 12–20. <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20>
- Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Киричек Р.В. 2016. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками. Электросвязь, 1: 44–46.
- Перфильев Ю.Ю. 2003. Российское интернет-пространство: развитие и структура. Москва, Гардарики, 272 с.
- Arjona J.O., Santacruz J.S.R., de Las Obras-LoCERTALES J. 2023. Mapping of Functional Areas in Spain Based on Mobile Phone Data During Different Phases of the COVID-19 Pandemic. Journal of Maps, 19(1): 2214804. <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2214804>
- Awais M., Khan F.U., Zafar M., Mudassar M., Zaheer M.Z., Cheema K.M., Kamran M., Jung W.-S. 2023. Towards Enabling Haptic Communications Over 6G: Issues and Challenges. Electronics, 12(13): 2955. <https://doi.org/10.3390/electronics12132955>
- Blom T., Nilsson M. 2023. Tactile Tourism: Tourist Attractions Touch. Tourism, 71(3): 553–567. <https://doi.org/10.37741/t.71.3.8>
- Botta F., del Genio C.I. 2017. Analysis of the Communities of an Urban Mobile Phone Network. PLoS ONE, 12(3): 0174198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174198>
- Fanibhare V., Sarkar N.I., Al-Anbuky A. 2021. A Survey of the Tactile Internet: Design Issues and Challenges, Applications, and Future Directions. Electronics, 10(17): 2171. <https://doi.org/10.3390/electronics10172171>
- Fettweis G.P. 2014. The Tactile Internet: Applications and Challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 9(1): 64–70. <https://doi.org/10.1109/mvt.2013.2295069>
- Fitzek F.H.P., Li, S. C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. 2021. Tactile Internet with Human-in-the-Loop. London, San Diego, Cambridge. Oxford, Academic Press, 508 p.
- Hargittai E. 2002. Second-Level Digital Divide: Differences in People’s Online Skills. First Monday, 7(4): 1–20. <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>
- Hou Z., She C., Li Y., Niyato D., Dohler M., Vucetic B. 2021. Intelligent Communications for Tactile Internet in 6G: Requirements Technologies and Challenges. IEEE Communications Magazine, 59(12): 82–88. <https://doi.org/10.1109/mcom.006.2100227>



- Iacus S.M., Santamaria C., Sermi F., Spyrtatos S., Tarchi D., Vespe M. 2022. Mobility Functional Areas and COVID-19 Spread. *Transportation*, 49(6): 1999–2025. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10234-z>
- Islam M.Z., Ali R., Malik A.H., Kim H.S. 2022. QoS Provisioning: Key Drivers and Enables Toward the Tactile Internet in Beyond 5G Era. *IEEE Access*, 10: 85720–85754. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3197900>
- Le D.T., Nguyen T.G., Tran T.T.T. 2020. The 1-Millisecond Challenge – Tactile Internet: From Concept to Standardization. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 8(2): 56–93. <https://doi.org/10.18080/jtde.v8n2.240>
- Martínez-Bernabéu L., Coombes M., Casado-Díaz J.M. 2020. Functional Regions for Policy: A Statistical ‘Toolbox’ Providing Evidence for Decisions Between Alternative Geographies. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13: 739–758. <https://doi.org/10.1007/s12061-019-09326-2>
- Samanta A., Panigrahi B., Rath H.K., Shailendra S. 2021. On Low Latency Uplink Scheduling for Cellular Haptic Communication To Support Tactile Internet. *Wireless Personal Communications*, 121: 1471–1488. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08680-0>
- Scheerder A., van Deursen A., van Dijk J. 2017. Determinants of Internet Skills, Uses and Outcomes. A Systematic Review of the Second- and Third-Level Digital Divide. *Telematics and Informatics*, 34(8): 1607–1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Shen J., Zong H., Chen M. 2023. Identifying City Communities in China by Fusing Multisource Flow Data. *International Journal of Digital Earth*, 16(2): 4247–4264. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2268595>
- Simsek M., Alijaz A., Dohler M., Sachs J., Fettweis G. 2016. 5G-enabled Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3): 460–473. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2525398>
- Tychola K.A., Voulgaridis K., Lagkas T. 2023. Tactile IoT and 5G & Beyond Schemes as Key Enabling Technologies for the Future Metaverse. *Telecommunication Systems*, 84: 363–385. <https://doi.org/10.1007/s11235-023-01052-y>
- Van Dijk J. 2020. *The Digital Divide*. Cambridge, Polity Press, 208 p.
- Vaquero-Melchor D., Bernardos A.M. 2019. Enhancing Interaction with Augmented Reality Through Mid-Air Haptic Feedback: Architecture Design and User Feedback. *Applied Sciences*, 9(23): 5123. <https://doi.org/10.3390/app9235123>
- Yahiya T.I., Kirci P. 2019. Issues and Challenges Facing Low Latency in Tactile Internet. *UKH Journal of Science and Engineering*, 3(1): 47–58. <https://doi.org/10.25079/ukhjse.v3n1y2019.pp44-58>
- Yang X., Fang Z., Xu Y., Yin L., Li J., Lu S. 2019. Spatial Heterogeneity in Spatial Interaction of Human Movements – Insights from Large-Scale Mobile Positioning Data. *Journal of Transport Geography*, 78: 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010>
- Yu H., Afzal M.K., Zikria Y.B., Rachedi A., Fitzek F.H.P. 2020. Tactile Internet: Technologies, Test Platforms, Trials, and Applications. *Future Generation Computer Systems*, 106: 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.057>
- Zhang B., Zhong C., Cao Q., Shabrina Z., Tu W. 2022. Delineating Urban Functional Zones Using Mobile Phone Data: A Case Study of Cross-Boundary Integration in Shenzhen-Dongguan-Huizhou Area. *Computer, Environment and Urban Systems*, 98: 101872. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101872>

References

- Blanutsa V.I. 2019. *Information Network Geography*. Moscow, Publ. INFRA-M, 243 p. (in Russian). https://doi.org/10.12737/monography_5cff8bceec8c6d5.00839612
- Blanutsa V.I. 2024. Identification of Critical Telecommunications Infrastructure in Russia: a Geographical Approach. *Geography and Natural Resources*, 45(1): 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/GIPR20240101>
- Kuznetsov K.A., Muthanna F.S.F., Kucheryavy A.E. 2019. Tactile Internet and Its Applications. *Telecom IT*, 7(2): 12–20 (in Russian). <https://doi.org/10.31854/2307-1303-2019-7-2-12-20>
- Kucheryavy A.E., Makolkina M.A., Kirichek R.V. 2016. Tactile Internet. *Ultra-Low Latency Networks*. *Electrosvyaz*, 1: 44–46 (in Russian).
- Perfiliev Yu.Yu. 2003. *Rossijskoe internet-prostranstvo: razvitie i struktura* [The Russian Internet Space: Development and Structure]. Moscow, Publ. Gardariki, 272 p.

- Arjona J.O., Santacruz J.S.R., de Las Obras-Loscertales J. 2023. Mapping of Functional Areas in Spain Based on Mobile Phone Data During Different Phases of the COVID-19 Pandemic. *Journal of Maps*, 19(1): 2214804. <https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2214804>
- Awais M., Khan F.U., Zafar M., Mudassar M., Zaheer M.Z., Cheema K.M., Kamran M., Jung W.-S. 2023. Towards Enabling Haptic Communications Over 6G: Issues and Challenges. *Electronics*, 12(13): 2955. <https://doi.org/10.3390/electronics12132955>
- Blom T., Nilsson M. 2023. Tactile Tourism: Tourist Attractions Touch. *Tourism*, 71(3): 553–567. <https://doi.org/10.37741/t.71.3.8>
- Botta F., del Genio C.I. 2017. Analysis of the Communities of an Urban Mobile Phone Network. *PLoS ONE*, 12(3): 0174198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174198>
- Fanibhare V., Sarkar N.I., Al-Anbuky A. 2021. A Survey of the Tactile Internet: Design Issues and Challenges, Applications, and Future Directions. *Electronics*, 10(17): 2171. <https://doi.org/10.3390/electronics10172171>
- Fettweis G.P. 2014. The Tactile Internet: Applications and Challenges. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9(1): 64–70. <https://doi.org/10.1109/mvt.2013.2295069>
- Fitzek F.H.P., Li, S. C., Speidel S., Strufe T., Simsek M., Reisslein M. 2021. Tactile Internet with Human-in-the-Loop. London, San Diego, Cambridge. Oxford, Academic Press, 508 p.
- Hargittai E. 2002. Second-Level Digital Divide: Differences in People’s Online Skills. *First Monday*, 7(4): 1–20. <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>
- Hou Z., She C., Li Y., Niyato D., Dohler M., Vucetic B. 2021. Intelligent Communications for Tactile Internet in 6G: Requirements Technologies and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 59(12): 82–88. <https://doi.org/10.1109/mcom.006.2100227>
- Iacus S.M., Santamaria C., Sermi F., Spyrtatos S., Tarchi D., Vespe M. 2022. Mobility Functional Areas and COVID-19 Spread. *Transportation*, 49(6): 1999–2025. <https://doi.org/10.1007/s11116-021-10234-z>
- Islam M.Z., Ali R., Malik A.H., Kim H.S. 2022. QoS Provisioning: Key Drivers and Enables Toward the Tactile Internet in Beyond 5G Era. *IEEE Access*, 10: 85720–85754. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3197900>
- Le D.T., Nguyen T.G., Tran T.T.T. 2020. The 1-Millisecond Challenge – Tactile Internet: From Concept to Standardization. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, 8(2): 56–93. <https://doi.org/10.18080/jtde.v8n2.240>
- Martínez-Bernabéu L., Coombes M., Casado-Díaz J.M. 2020. Functional Regions for Policy: A Statistical ‘Toolbox’ Providing Evidence for Decisions Between Alternative Geographies. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13: 739–758. <https://doi.org/10.1007/s12061-019-09326-2>
- Samanta A., Panigrahi B., Rath H.K., Shailendra S. 2021. On Low Latency Uplink Scheduling for Cellular Haptic Communication To Support Tactile Internet. *Wireless Personal Communications*, 121: 1471–1488. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08680-0>
- Scheerder A., van Deursen A., van Dijk J. 2017. Determinants of Internet Skills, Uses and Outcomes. A Systematic Review of the Second- and Third-Level Digital Divide. *Telematics and Informatics*, 34(8): 1607–1624. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.07.007>
- Shen J., Zong H., Chen M. 2023. Identifying City Communities in China by Fusing Multisource Flow Data. *International Journal of Digital Earth*, 16(2): 4247–4264. <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2268595>
- Simsek M., Alijaz A., Dohler M., Sachs J., Fettweis G. 2016. 5G-enabled Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3): 460–473. <https://doi.org/10.1109/jsac.2016.2525398>
- Tychola K.A., Voulgaridis K., Lagkas T. 2023. Tactile IoT and 5G & Beyond Schemes as Key Enabling Technologies for the Future Metaverse. *Telecommunication Systems*, 84: 363–385. <https://doi.org/10.1007/s11235-023-01052-y>
- Van Dijk J. 2020. *The Digital Divide*. Cambridge, Polity Press, 208 p.
- Vaquero-Melchor D., Bernardos A.M. 2019. Enhancing Interaction with Augmented Reality Through Mid-Air Haptic Feedback: Architecture Design and User Feedback. *Applied Sciences*, 9(23): 5123. <https://doi.org/10.3390/app9235123>
- Yahiya T.I., Kirci P. 2019. Issues and Challenges Facing Low Latency in Tactile Internet. *UKH Journal of Science and Engineering*, 3(1): 47–58. <https://doi.org/10.25079/ukhjse.v3n1y2019.pp.44-58>



- Yang X., Fang Z., Xu Y., Yin L., Li J., Lu S. 2019. Spatial Heterogeneity in Spatial Interaction of Human Movements – Insights from Large-Scale Mobile Positioning Data. *Journal of Transport Geography*, 78: 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010>
- Yu H., Afzal M.K., Zikria Y.B., Rachedi A., Fitzek F.H.P. 2020. Tactile Internet: Technologies, Test Platforms, Trials, and Applications. *Future Generation Computer Systems*, 106: 685–688. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.057>
- Zhang B., Zhong C., Cao Q., Shabrina Z., Tu W. 2022. Delineating Urban Functional Zones Using Mobile Phone Data: A Case Study of Cross-Boundary Integration in Shenzhen-Dongguan-Huizhou Area. *Computer, Environment and Urban Systems*, 98: 101872. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101872>

Поступила в редакцию 03.12.2024;
поступила после рецензирования 24.12.2024;
принята к публикации 16.01.2025

Received December 03, 2024;
Revised December 24, 2024;
Accepted January 16, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блануца Виктор Иванович, доктор географических наук, эксперт РАН по экономическим наукам, ведущий научный сотрудник, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Viktor I. Blanutsa, Doctor of Geographical Sciences, RAS Expert in Economic Sciences, Leading Researcher, Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia



УДК 911.3:33

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-29-39

Угольная промышленность юга Монголии: новый конкурент Сибири на внешних рынках

Шерин Е.А.

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН,
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
egor-sherin@mail.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в анализе стремительно развивающейся угольной промышленности юга Монголии, сосредоточенной в пределах аймака Умнеговь. Задачами исследования являются, во-первых, характеристика всех разрабатываемых угольных месторождений аймака, определение их институциональной принадлежности, геологических запасов, величин добычи и экспорта угля. Во-вторых, вопросы переработки угля. В-третьих, определение путей вывоза угля и пропорций между ними. В-четвёртых, рассмотрение проблем и перспектив угольной промышленности аймака. И наконец, в-пятых, раскрытие вопросов проявляющейся конкуренции угольных предприятий юга Монголии и Сибири на внешних рынках, прежде всего, Китая.

Ключевые слова: угольная промышленность, транспортировка угля, экспорт, железные дороги, Таван-Толгой, Овоот-Толгой, Монголия, Сибирь

Благодарности: исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-47-03004, <https://rscf.ru/project/24-47-03004/>.

Для цитирования: Шерин Е.А. 2025. Угольная промышленность юга Монголии: новый конкурент Сибири на внешних рынках. Региональные геосистемы, 49(1): 29–39. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-29-39

Coal Industry of Southern Mongolia: a New Competitor to Siberia in Foreign Markets

Egor A. Sherin

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
1 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk 664033, Russia,
egor-sherin@mail.ru

Abstract. The article is focused on the coal industry of the Ömnögovi aimag in the south of Mongolia, which is becoming the main competitor to Siberian coal in foreign markets. The paper shows the fundamental role of mining sector exports for the modern economy of Mongolia in general, and Ömnögovi aimag in particular. The author analyzes all coal deposits under development in southern Mongolia and determines their institutional affiliation, geological reserves, coal production, and export volumes. The existing coal preparation plants and coal thermal power plants of the aimag are considered, as well as ones under construction, and those planned for construction. The volume of coal exported is assessed, and the main importing country is determined. Coal transportation routes are disclosed: roads and border crossings, both existing and planned ones. The proportions of export routes are calculated. The article discusses the problems and prospects of the coal industry in southern Mongolia, as well as the issues of emerging competition between southern Mongolian coal and Siberian coal.

Keywords: coal industry, coal transportation, export, railways, Tavan Tolgoi, Ovoot Tolgoi, Mongolia, Siberia

© Шерин Е.А., 2025



Acknowledgements: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 24-47-03004, <https://rscf.ru/project/24-47-03004/>.

For citation: Sherin E.A. 2025. Coal Industry of Southern Mongolia: a New Competitor to Siberia in Foreign Markets. *Regional Geosystems*, 49(1): 29–39 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-29-39

Введение

Основу современной экономики Монголии составляет экспорт продукции горнодобывающего сектора. По данным 2021 года, в горнодобывающей отрасли было сформировано 24 % ВВП Монголии. Доля экспорта к ВВП составила 59 % [Национальное статистическое..., 2025]. В товарной структуре экспорта Монголии традиционно преобладает минеральное сырьё, доля которого в 2023 году составила 84,1 % [Главное таможенное..., 2025]. Данные показатели отражают высокую зависимость экономики Монголии от добычи минерального сырья и его последующего экспорта [Шерин, 2023б]. Согласно мнению авторов, ведущая роль горнодобывающей отрасли в экономике Монголии сохранится и в будущем [Narankhuu, 2018]. С 2022 года более половины всего экспорта Монголии составляет один тип товара – каменный уголь.

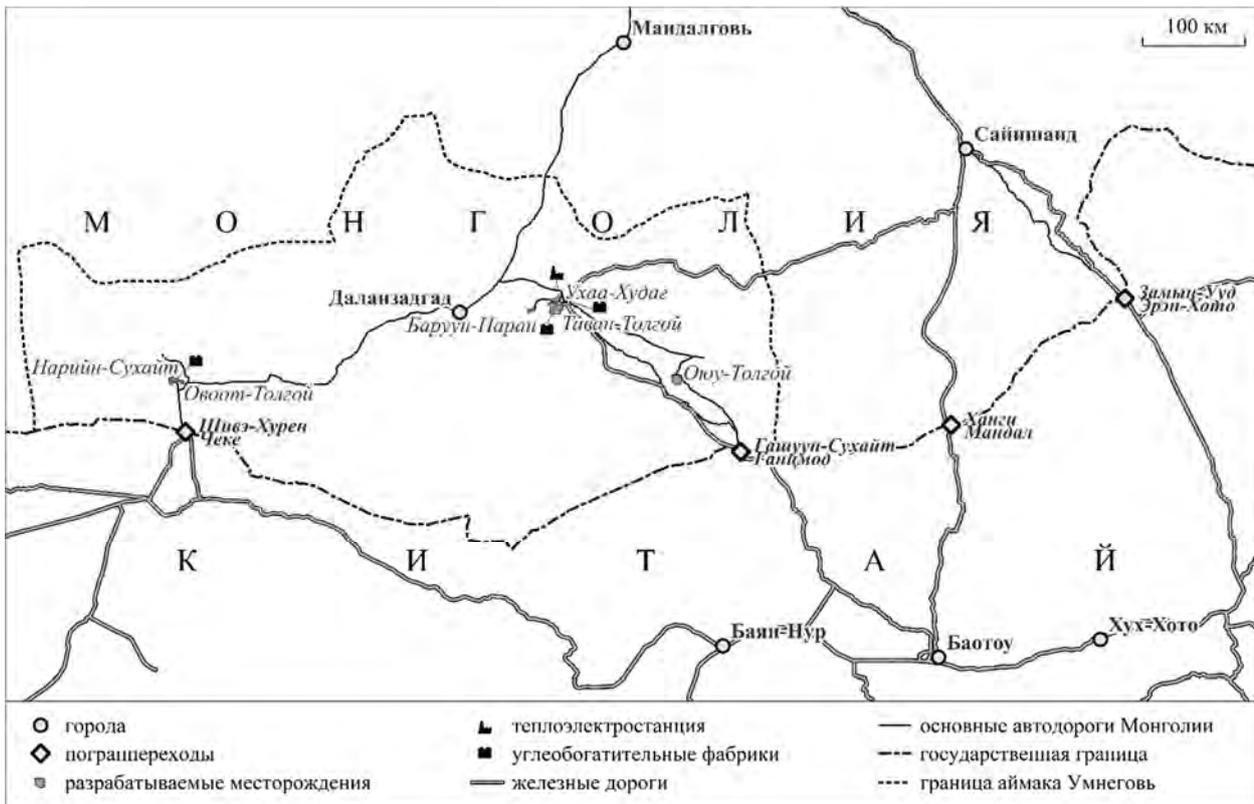
В последние годы горнодобывающая отрасль Монголии развивается динамично. До недавнего времени в стране был развит единственный концентрированный индустриальный район на центральном севере страны (города Улан-Батор, Эрдэнэт, Дархан), во многом связанный с советским (отчасти российским) сотрудничеством. В настоящее время формируется район нового ресурсно-индустриального освоения на центральном юге страны – в аймаке Умнеговь, связанный с транснациональным сотрудничеством. Если в Монголии в целом объём сельскохозяйственной продукции уступает объёму промышленной продукции в 2 раза, то в аймаке Умнеговь – в 9,3 раза, что говорит о его ярко выраженной промышленной специализации. В структуре промышленности аймака безоговорочно преобладает добыча полезных ископаемых, на которую приходится 99,8 % всего объёма промышленного производства. В первую очередь речь идёт о каменном угле, показатели запасов, добычи и экспорта которого в аймаке превышают суммарные показатели остальной части страны.

Анализ русскоязычной научной литературы не обнаружил комплексных исследований угольной промышленности аймака Умнеговь [Ганхуяг, 2018; Залогова, Такайшвили, 2019; Пунсалмаагийн, 2017; Чимэддорж, 2018]. Информационной базой исследования послужил анализ литературы на монгольском и английском языках, а также результаты научной экспедиции в аймак Умнеговь, осуществлённой в июле – августе 2024 года в рамках проекта РФФИ, в ходе которой были произведены встречи с представителями администрации сомона Цогтцэций, угольной компании «Эрдэнэс Тавантолгой» и погранперехода Гашуун-Сухайт, а также встречи с местными жителями (включая занимающихся традиционной отраслью хозяйства – пастухов) и вахтовыми рабочими.

Характеристика угольной промышленности юга Монголии

Месторождения и их институциональная принадлежность

В пределах аймака Умнеговь располагаются следующие каменноугольные месторождения: Таван-Толгой в сомоне Цогтцэций (одно из крупнейших в мире среди разрабатываемых), Баруун-Наран в сомоне Ханхонгор, Овоот-Толгой – Нарийн-Сухайт в сомоне Гурвантэс, а также ряд более мелких. По мнению автора, данные месторождения являются частью общего каменноугольного бассейна. Помимо угольных, в аймаке расположено одно из крупнейших в мире среди разрабатываемых медно-золоторудное месторождение Оюу-Толгой в сомоне Ханбогд (рисунок).



Горнодобывающая промышленность и транспортная инфраструктура аймака Умнеговь и прилегающих территорий

Mining industry and transport infrastructure of Ömnögovi aimag and adjacent territories

Первая группа разрабатываемых каменноугольных месторождений – Таван-Толгой и Баруун-Наран – находится в восточной части аймака. Распространена путаница между схожими названиями месторождения и компаний, занимающихся его разработкой. В действительности ситуация выглядит следующим образом: месторождение Таван-Толгой разрабатывают три компании: «Эрдэнэс Тавантолгой» (называемая также «Большой Таван-Толгой»), «Тавантолгой» (называемая также «Малый Таван-Толгой») и «Энержи Ресурс». Месторождение Таван-Толгой состоит из шести участков: Цанхи (разрабатывается «Эрдэнэс Тавантолгой»), Бортээг (разрабатывается «Тавантолгой»), Оорцог, Ончхараат, Бортолгой (данные три участка в настоящее время не разрабатываются) и Ухаа-Худаг (разрабатывается «Энержи Ресурс»). При этом компании «Эрдэнэс Тавантолгой» принадлежат лицензии на разработку всех шести участков. Также поблизости непосредственно за границей сомона располагается месторождение Баруун-Наран (также разрабатывается компанией «Энержи Ресурс»).

Компания «Эрдэнэс Тавантолгой» является совладением правительства и населения Монголии (государство владеет 81,5 % акций, население – 18,5 %), выплачивающим периодически дивиденды гражданам Монголии. Так, при чистой прибыли компании в размере 1,3 трлн тугриков в 2022 году в стране с населением 3,5 млн чел., 345 млрд будут распределены в виде дивидендов; при чистой прибыли в размере 3,4 трлн тугриков в 2023 году – 844 млрд. Компания «Тавантолгой» – местное совместное предприятие (доля государственной собственности – 51 %, частной (граждане 23 стран) – 49 %). Компания «Энержи Ресурс» является монгольским консорциумом (доля частной собственности – 100 %), зарегистрированным через материнскую компанию «Mongolian Mining Corporation» в конечных счетах в Гонконге и Сингапуре. В ближайших планах компаний-разработчиков значится разработка следующих месторождений и участков в восточной части аймака: Бортээг – «Эрдэнэс Тавантолгой», Цайхар-Худаг – «Энержи Ресурс», Двоот-Толгой-Сумбер и Гашуун-Овоо – иные компании.



Вторая группа разрабатываемых месторождений – Овоот-Толгой – Нарийн-Сухайт – находится в западной части аймака Умнеговь. Участки Овоот-Толгой и Нарийн-Сухайт располагаются в непосредственной близости (смежно) друг от друга, являются единым геологическим объектом, но разрабатываются разными компаниями. Участок Овоот-Толгой занимает южную часть месторождения, разрабатывается канадско-монгольской компанией «SouthGobi Resources» через свою дочернюю зарегистрированную в Монголии компанию «SouthGobi Sands». Участок Нарийн-Сухайт занимает северную часть месторождения, разрабатывается монгольской компанией «Mongolyn Alt Corporation» («МАК») через монгольско-китайское совместное предприятие «Qinhua-MAK-Nariin Sukhait» («МАК-Qinghua»). Взаимоотношения «SouthGobi Sands» и «МАК-Qinghua» можно охарактеризовать как партнёрские: компании имеют соглашение о сотрудничестве, связанное со сбросом вскрышных пород на территории участков друг друга. В ближайших планах компаний-разработчиков значится разработка следующих месторождений в западной части аймака: Сумбер (пограничье сомонов Гурвантэс и Ноён) и Заг-Суудж (пограничье сомонов Ноён и Баяндалай) – оба «SouthGobi Sands».

Запасы, добыча и переработка угля

Запасы участков месторождения Таван-Толгой, принадлежащих компании «Эрдэнэс Тавантолгой», после переоценки в марте 2024 года составляют 8,128 млрд т, из которых 72,15 % (5,864 млрд т) – коксующиеся и 27,85 % (2,264 млрд т) – энергетические. При этом запасы только участков Цанхи и Бортээг относятся к категории А + В, остальных – прогнозные (Р), не имеющие на данный момент точной геологической оценки. Запасы участков месторождений других компаний более скромны (табл. 1). Таким образом, общие запасы каменного угля аймака составляют 9,36 млрд т (из них Таван-Толгой и Баруун-Наран – 8,938 млрд т, Овоот-Толгой – Нарийн-Сухайт – 422 млн т), что весьма значительно в общемировом масштабе, при том что подавляющая их часть представлена ценными для сталелитейного производства коксующимися марками.

Таблица 1
Table 1

Характеристика каменноугольных месторождений аймака Умнеговь
Characteristics of coal deposits of Ömnögovii aimag

Месторождение	Участок	Разработчик	Запасы, млн т	Добыча, млн т		Экспорт, млн т	
				2019	2023	2019	2023
Таван-Толгой	Бортээг	«Тавантолгой»	20	2,40	3,57	1,90	2,50
		«Эрдэнэс Тавантолгой»	2 574	–	–	–	–
	Цанхи		3 855	16,20	28,23	15,50	28,40
	Оорцог		646	–	–	–	–
	Ончхараат		786	–	–	–	–
	Бортолгой		267	–	–	–	–
	Ухаа-Худаг	0,4	–	–	–	–	
Баруун-Наран	Баруун-Наран	«Энержи Ресурс»	460	9,75	12,12	4,62	8,74
			330	0,96	2,47		
Овоот-Толгой – Нарийн-Сухайт	Овоот-Толгой	«SouthGobi»	201,9	5,05	4,05	5,05	4,05
	Нарийн-Сухайт	«МАК»	220	–*	–*	–*	–*
Итого:			9 360,3	>34,36	>50,41	>27,07	>43,69

* Объёмы добычи и экспорта компании «МАК-Qinghua» не приведены вследствие отсутствия годовых отчётов компании в открытом доступе [Эрдэнэс Тавантолгой... 2020, Эрдэнэс Тавантолгой... 2024, Mongolian Mining... 2020, Mongolian Mining... 2024, Тавантолгой... 2020, Тавантолгой... 2024, SouthGobi... 2020, SouthGobi... 2024].

Добывается уголь на всех участках открытым (карьерным) способом. Компания «Эрдэнэс Тавантолгой» является основным экспортёром монгольского сырого (Run-of-Mine) угля. В 2023 году на участке Цанхи было добыто 28,23 млн т угля (из них 100 % – коксующегося) и экспортировано 28,4 млн т. По результатам года доля «Эрдэнэс Тавантолгой» в общем объёме экспорта угля Монголии составила 52 %. Осенью 2024 года добыча компании перевалила за рекордные 50 млн т угля. Компания «Энержи Ресурс» является основным экспортёром монгольского обогащённого угля. В 2023 году компания добыла 14,59 млн т угля (из них Ухаа-Худаг – 12,12 млн т, Баруун-Наран – 2,47 млн т), переработав на углеобогащательной фабрике и впоследствии экспортировав 8,75 млн т обогащённого угля (из которых 6,74 млн т – первичный продукт (концентрат) и 2 млн т – промежуточный). Объёмы добычи и экспорта южномонгольского угля других компаний более скромны (см. табл. 1). При этом у всех рассмотренных компаний объёмы добычи и экспорта (исключая связанный с коронавирусными ограничениями 2020 год) растут год от года, кроме компании «SouthGobi Resources», максимум годовой добычи которой (6,38 млн т) наблюдался в 2017 году. Объёмы добычи и экспорта компании «МАК-Qinghua» не были найдены вследствие отсутствия годовых отчётов компании в открытом доступе, однако, исходя из информации прошлых лет, эти показатели могут составлять около 5 млн т в год. В целом угольная промышленность юга Монголии с 2023 года обеспечивает более 70 % всего добываемого и экспортируемого каменного угля страны.

По состоянию на начало 2025 года в аймаке Умнеговь работают две углеобогащательные фабрики (ОФ) и одна планируется к открытию в ближайшие месяцы. ОФ Ухаа-Худаг («Энержи Ресурс») производительностью 5 млн т в год (по факту выше) работает с 2011 года. В 2021 году за десять лет с момента её первой эксплуатации фабрика обогатила в общей сложности 62 млн т рядового угля, выпустив 31 млн т обогащённого коксующего угля и 12,5 млн т обогащённого энергетического. ОФ Нарийн-Сухайт («МАК-Qinghua») производительностью 1 млн т в год (фактически выше) работает с 2018 года. ОФ Таван-Толгой («Эрдэнэс Тавантолгой») проектной производительностью 10 млн т в год в настоящее время достроена, ввод в постоянную эксплуатацию планируется в марте 2025 года. В дальнейшем, с постройкой новых блоков, планируется доведение показателя до 30 млн т в год. С целью её водоснабжения построен водопровод с месторождения подземных вод Заг, расположенного в сомоне Цогтцэций, примерно в 65 км к северо-востоку от месторождения Таван-Толгой. Оно имеет подтверждённые запасы воды 63,65 л/сек и может использоваться в промышленных целях обогащательной фабрики в течение 25 лет.

На 2025 год в аймаке Умнеговь работает одна угольная теплоэлектростанция (ТЭС) и одна находится в виде многолетнего проекта. Кроме того, в ходе экспедиции была замечена строящаяся электростанция в сомоне Баян-Овоо близ автодороги на середине пути между месторождениями Таван-Толгой и Оюу-Толгой. ТЭС Ухаа-Худаг («Энержи Ресурс») мощностью 18 МВт работает с 2011 года. В декабре 2021 года объём производства электроэнергии электростанцией достиг исторического показателя в 1 млрд кВт*ч. Помимо удовлетворения энергетических потребностей горнодобывающих и инфраструктурных проектов компании, электростанция также обеспечивает электроснабжением центр сомона Цогтцэций. Проект ТЭС Тавантолгойская (предварительный план: 30 % – «Эрдэнэс Тавантолгой», 70 % – государственные гарантии и обязательства) проектной мощностью 450 МВт утверждён в 2013 году и по состоянию на март 2024 года подрядчик для строительства всё ещё не выбран. Планируется что электростанция, помимо электроснабжения горнодобывающих и инфраструктурных работ месторождения Таван-Толгой, будет обеспечивать электричеством медно-золоторудное месторождение Оюу-Толгой.

Транспортировка экспортного угля

Практически весь (98 %) добытый уголь аймака уходит на экспорт в сыром (80 %) или обработанном (20 %) виде. Экспорт угля осуществляется почти полностью потребителям из



Китая, потому как он попросту не имеет иного пути сбыта: Монголия не имеет выхода к морю и «зажата» между двумя странами. При этом гипотетический сбыт через Россию невозможен, так как восточная часть российских железных дорог ныне чрезвычайно загружена и не справляется даже с внутренними потребностями. В то же время компания «Энержи Ресурс», помимо Китая, осуществляет пробные поставки обогащённого коксующегося угля (через территорию Китая) на рынки Японии, Кореи, Индии и Германии.

Добытый уголь месторождений восточной части аймака транспортируется к монгольско-китайской границе тремя путями: автомобильной дорогой Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт, железными дорогами Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт и Таван-Толгой – Зуунбаян – Ханги; западной части – одним путём – автомобильной дорогой Овоот-Толгой – Шивэ-Хурен, и ещё один путь – железная дорога Нарийн-Сухайт – Шивэ-Хурен – будет построен в ближайшей перспективе. Всего на южной границе Монголии расположено четыре погранперехода (с востока на запад): Замын-Ууд – Эрэн-Хото (он же Дзамын-Удэ – Эрлян), Ханги – Мандал, Гашуун-Сухайт – Ганцмод, Шивэ-Хурен – Чеке. В настоящий момент три из них (кроме Ханги – Мандал) соединены как автомобильным, так и железнодорожным сообщением; и к семи из восьми пунктам пропуска (кроме Шивэ-Хурен) подведены железные дороги (см. рис.). Через пункт пропуска Гашуун-Сухайт проходит основная часть экспорта Монголии, через Замын-Ууд – основная часть импорта.

Асфальтированная дорога Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт протяжённостью 245 км эксплуатируется с 2011 года. Построена компанией «Энержи Ресурс», в 2014 году передана государству на условиях взимания платы за проезд по ней автопоездов с углем других компаний. Вследствие этого, те зачастую едут параллельно дороге по грунту, нанося тем самым негативное воздействие на окружающую среду. Удельный вес дороги в перевозке экспортного угля месторождений Таван-Толгой и Баруун-Наран в 2023 году составил 94,71 %, ранее – 100 %.

Железная дорога Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт имеет протяжённость 267 км и китайскую ширину колеи 1435 мм. Строительство начато в 2019 году, эксплуатируется с конца 2022 года. Финансирование строительства осуществлено компанией «Эрдэнэс Тавантолгой». Принадлежность: 66 % «Эрдэнэс Тавантолгой», 34 % «Монгольская железная дорога». Проектная провозная способность – 30 млн т в год. Удельный вес перевозок угля месторождений Таван-Толгой и Баруун-Наран дорогой в 2023 году составил 4,7 % (1,86 млн т).

Железная дорога Таван-Толгой – Зуунбаян – Ханги имеет протяжённость 640 км и русскую ширину колеи 1520 мм. Строительство участка Таван-Толгой – Зуунбаян (414 км) начато в 2019 году и закончено за три года, участка Зуунбаян – Ханги (226 км) – начато в 2022 году и закончено за шесть месяцев. Эксплуатируется с конца 2022 года. Финансирование строительства осуществлено компанией «Эрдэнэс Тавантолгой». Принадлежность: 66 % «Эрдэнэс Тавантолгой», 34 % «Монгольская железная дорога». Проектная провозная способность составляет 20 млн т в год. Удельный вес перевозок угля месторождений Таван-Толгой и Баруун-Наран по дороге в 2023 году составил 0,6 % (0,24 млн т).

Асфальтированная дорога Овоот-Толгой – Шивэ-Хурен протяжённостью 46 км эксплуатируется с 2015 года. 40 % акций дороги принадлежат компании «SouthGobi Resources». Удельный вес дороги в перевозке экспортного угля месторождения Овоот-Толгой – Нарийн-Сухайт в 2023 году (как и ранее) составляет 100 %.

Проектируемая железная дорога Нарийн-Сухайт – Шивэ-Хурен будет иметь протяжённость около 45 км и китайскую ширину колеи. Проектная провозная способность оценивается в 24 млн т грузов в год. Железнодорожная линия длиной в несколько километров от монгольского пункта пропуска Шивэ-Хурен до китайского Чеке проложена в 2023 году, финансирование осуществлено компанией «МАК».

Вывоз за рубеж добытого каменного угля западной части аймака Умнеговь, при отсутствии железных дорог, возможен только автомобильным транспортом. Экспорт же угля восточной части аймака, при наличии железных дорог, имеет свои особенности. Со-

гласно отчётным данным, по итогам 2023 года компанией «Эрдэнэс Тавантолгой» экспортировано по автодороге Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт 97,52 % (27 696,8 тыс. т) угля, по железной дороге Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт – 1,64 % (466,6 тыс. т) и по железной дороге Таван-Толгой – Зуунбаян – Ханги – 0,83 % (236,6 тыс. т) угля. То есть практически весь объём экспортированного угля пришёлся на автомобильный транспорт. Схожая ситуация наблюдается и во второй крупнейшей углекэкспортирующей компании – «Энержи Ресурс», экспортирующей, согласно отчётным данным, свою продукцию почти полностью по автодороге Таван-Толгой – Гашуун-Сухайт, по железной дороге Таван-Толгой – Зуунбаян – Ханги в 2023 году осуществлялись лишь ограниченные поставки. Отличается от крупных соседних компаний ситуация с перевозкой угля у третьей, разрабатывающей месторождение Таван-Толгой, компании. По отчётным данным компания «Тавантолгой» перевозит добытый уголь только через погранпереход Гашуун-Сухайт – Ганцмод, при этом, с апреля 2023 года началась транспортировка и по железной дороге. По итогам 2023 года большую часть экспортированного угля – 55,8 % (1 395 тыс. т) – доставили к границе железнодорожным транспортом и 44,2 % – автомобильным (табл. 2). Таким образом, в 2023 году уголь восточной части аймака Умнеговь на 94,71 % был экспортирован автомобильным транспортом и на 5,29 % – железнодорожным (уголь западной части аймака – на 100 % автомобильным).

Таблица 2
Table 2

Транспортировка экспортного угля восточной части аймака Умнеговь в 2023 году, тыс. т
Transportation of export coal from the eastern part of the Ömnögovi aimag in 2023, thousand tons

Компания Путь	«Эрдэнэс Тавантолгой»	«Энержи Ресурс»	«Тавантолгой»	Доли пути в перевозке:
Автодорога ТТ–ГС ¹	27 696,8	8 739,9	1 105,0	37 541,7 (94,71 %)
Железная дорога ТТ–ГС	466,6	–	1 395,0	1 861,6 (4,70 %)
Железная дорога ТТ–З–Х ²	236,6	0,1	–	236,7 (0,60 %)
Доли компаний в экспорте:	28 400,0 (71,64 %)	8 740,0 (22,05 %)	2 500,0 (6,31 %)	39 640 (100 %)

¹ТТ – Таван-Толгой, ГС – Гашуун-Сухайт; ²З – Зуунбаян, Х – Ханги [Эрдэнэс Тавантолгой..., 2024, Mongolian Mining..., 2024, Тавантолгой..., 2024].

Сложившаяся ситуация выглядит нелогичной, ведь перевозка южномонгольского угля в Китай железнодорожным транспортом обходится примерно в четыре раза дешевле чем автомобильным (12 долл. за тонну против 47). Остаётся под вопросом, почему после введения в эксплуатацию в конце 2022 года двух железнодорожных линий с месторождения Таван-Толгой до погранпереходов на границе с Китаем, углекэкспортирующие компании всё ещё отдают приоритет дорогим автомобильным перевозкам, не используя потенциал дешёвых железнодорожных, тем более что их провозной способности (50 млн т грузов в год) вполне хватает удовлетворить потребности в транспортировке.

По мнению автора, среди возможных причин сложившейся ситуации с транспортировкой экспортного угля восточной части аймака могут быть следующие. Компания «Энержи Ресурс» практически не использует железные дороги, т. к. не имеет доли в их собственности. Компания «Эрдэнэс Тавантолгой» не начала полноценное пользование железными дорогами в 2023 году, несмотря на наличие доли собственности в них, потому как, являясь крупным (по объёму товаров) экспортёром, ещё могла иметь крупные действующие контракты на пользование автотранспортом через своих субподрядчиков. Ком-



пания «Тавантолгой», являясь сравнительно небольшим экспортёром по объёму товаров, могла не иметь крупные действующие контракты на пользование автотранспортом и вследствие чего успеть перевести свои поставки на железные дороги. Если данные предположения верны, то в 2025–2026 гг. удельный вес железных дорог в транспортировке южномонгольского угля должен резко возрасти.

Проблемы и перспективы угольной промышленности юга Монголии

Среди лимитирующих развитие угольной промышленности юга Монголии факторов, прежде всего стоит отметить проблемы с водоснабжением горнодобывающих и перерабатывающих производств, возникшие вследствие засушливости климата аймака и отсутствия постоянных водотоков. Перспективы здесь прослеживаются в использовании потенциала подземных источников вод, запасы которых также ограничены. Переброска вод трубами из рек Орхон и Керулен в рамках так называемого проекта «Синий конь», по авторскому мнению, неперспективна.

Следующим лимитирующим фактором являются проблемы с электроснабжением производств. В настоящее время в аймаке наблюдается дефицит электроэнергии (по отдельным сведениям, до 90 %), которая подаётся от линии электропередач, распределяющих электроэнергию из Китая. Перспективы преодоления данной проблемы связаны с запланированной постройкой угольной теплоэлектростанции мощностью 450 МВт. Кроме того, существуют планы постройки линии электропередач в сомон Цогтцэций из города Мандалговь соседнего аймака Дундговь.

Существенным недостатком является ограниченное использование нижних стадий переработки добытых ресурсов и отсутствие глубокой их переработки. Частичным выходом из данной ситуации является наращивание строительства углеобогачительных фабрик. Перспективы в данной области благоприятны, так как в 2025 году планируется ввод в эксплуатацию обогачительной фабрики мощностью 10 (в перспективе – 30) млн т в год.

Ещё одним недостатком является почти полный вывоз за рубеж добытых ресурсов при дефиците перерабатывающих производств на территории аймака. Помимо углеобогачительных фабрик, рационально строительство коксохимического завода, продукция которого – кокс – имеет много большую добавленную стоимость, нежели обогащённый коксующийся уголь.

Другой проблемой является зависимость угольной промышленности юга Монголии от Китая. Институциональный фактор неприсутствия Китая в составе большей части горнодобывающих компаний юга Монголии нивелируется географическим положением, позволяющим Китаю играть ведущую роль во взаимодействии с оными и иметь рычаги давления на них. Китай является основным (99 %) покупателем добываемых природных ресурсов юга Монголии, большая часть которых направляется в Китай в необработанном виде, Китай поставляет электроэнергию на горнодобывающие производства, а железные дороги, подведённые к месторождениям со стороны Китая, имеют китайскую ширину колеи.

Все пять вышеперечисленных проблем и лимитирующих факторов, помимо угольной, применимы и к медной промышленности юга Монголии, разрабатываемой монгольско-канадской компанией «Оюу-Толгой». Также существуют проблемы экологического характера и нюансы взаимодействия горнодобывающих компаний с занимающимися традиционными отраслями хозяйства местными жителями – пастухами.

Взаимоотношения Монголии и Китая являются отдельной сложностью её внешнеэкономической деятельности. В 2023 году 91,2 % экспорта Монголии отправилось в Китай. При этом экспорт демонстрировал узость товарной номенклатуры и превалирование минерального сырья. В то же время на Китай пришлось 40,5 % импорта в Монголию [Главное таможенное..., 2025]. Наконец, Китай в последние годы является лидером по иностранным инвестициям в экономику Монголии – объём китайских прямых иностран-

ных инвестиций превышает 50 % от общего объёма зарубежных вложений [Миронова, Потапенко, 2016]. Всё это обуславливает уязвимость экономики Монголии от крупного соседа [Шерин, 2023б].

В целом перспективы угольной промышленности юга Монголии можно рассматривать как благоприятные. Не так давно были введены в эксплуатацию две железнодорожные линии, потенциал которых ещё не используется в полной мере, и планируется к постройке ещё одна. Заканчивается строительство углеобогатительной фабрики, которая станет крупнейшей в регионе, и водопровод с месторождения подземных вод. Потребность в монгольском коксующемся угле со стороны Китая прогнозируется с тенденцией к росту. В то же время нельзя не заметить формирующуюся конкуренцию угля юга Монголии с углем Сибири.

Конкуренция между Монголией и Сибирью на внешних рынках угля

Среди пограничных с Сибирью стран Монголия имеет наименьший удельный вес в структуре её внешнеторгового оборота [Шерин, 2023а; Шерин, 2023б; Шерин, 2024]. Отчасти это объясняется тем, что Сибирь и Монголия экспортируют на мировой рынок схожие товарные группы, становясь, таким образом, конкурентами на внешних рынках. Прежде всего, речь идёт о продаже каменного угля, медных руд и концентратов.

Сибирь по сравнению с Монголией проигрывает в расстояниях до потребителей. Так, для Монголии путь от месторождения Таван-Толгой до ключевого порта Китая на Жёлтом море – Тяньцзиня – составляет по железной дороге около 1,5 тыс. км. В то же время расстояние перевозки до него кузнецкого угля составляет около 5,37 тыс. км, что почти в 3,6 раз больше [Шерин, 2024]. Более того, южномонгольский уголь почти в полном объёме экспортируется в близлежащие регионы Китая по суше, прежде всего во Внутреннюю Монголию. Расстояние перевозок здесь ещё меньше: до главного промышленного центра Внутренней Монголии г. Баотоу оно составляет 400–450 км, что даёт огромные экономические преимущества [Безруков, Фартышев, 2022]. Многократно уступая России по запасам природных ресурсов и общеэкономическому потенциалу, Монголия вполне успешно конкурирует с ней на внешних рынках минерального сырья за счёт чётко выраженной специализации производства и экспортной ориентации, а также более выгодного транспортно-географического положения относительно Китая как главного рынка.

Наглядным тому подтверждением служит то, что разрыв между российскими и монгольскими поставками угля в Китай в последние годы начал снижаться: в 2022 и 2023 гг. он составлял 33–36 млн т, а по итогам 2024 года сократился до 12,2 млн т. В 2024 году Россия стала единственным экспортёром угля в Китай, чьи поставки упали (на 7 %). При этом угольный экспорт Монголии непрерывно растёт с 2022 года.

Взаимовыгодное снижение остроты сибирско-монгольской конкуренции на внешних рынках возможно за счёт увеличения глубины переработки минерального сырья и получения полуфабрикатов или готовой продукции с высокой добавленной стоимостью. В таком случае перевозки становятся более рентабельными, а рынки сбыта расширяются. Одно из основных направлений модернизации сибирской промышленности заключается в углублении переработки сырья путём формирования верхних «этажей» базовых производств. По такому же пути должна идти и Монголия, что позволит устранить жёсткую привязку экспорта её сырья к близлежащим регионам Китая и ослабить остроту конкуренции с Россией [Безруков, Фартышев, 2022].

Заключение

В современной Монголии основополагающая роль в экономике принадлежит экспорту продукции горнодобывающего сектора. В южном аймаке Умнеговь эта специализация ещё значительней и основана на двух природных ресурсах: каменном угле и меди. За-



пасы каменного угля аймака (9,36 млрд т) значительны в общемировом масштабе, причём подавляющая их часть представлена ценными коксующимися марками. Практически весь объём добытого угля (98 %) в сыром или обработанном виде уходит на экспорт в одну страну – Китай. Угольная промышленность юга Монголии обеспечивает более 70 % добываемого и экспортируемого каменного угля страны. Характерной особенностью транспортировки угля восточной части аймака Умнеговь является его вывоз преимущественно (94,7 %) автомобильным видом транспорта при наличии железных дорог, несмотря на очевидные преимущества последних: четырёхкратно более низкая стоимость перевозки и высокая провозная способность. Перспективы угольной промышленности юга Монголии в целом благоприятны. При этом в настоящее время формируется конкуренция южномонгольской угольной промышленности с сибирской, уже проявившаяся в отношении главного рынка сбыта – Китая.

Список источников

- Главное таможенное управление Монголии. Электронный ресурс. URL: <https://customs.gov.mn/> (дата обращения: 14.01.2025).
- Национальное статистическое управление Монголии. Электронный ресурс. URL: <https://nso.mn/> (дата обращения: 14.01.2025).
- «Тавантолгой» ХК-ийн 2019 оны Үйл ажиллагааны тайлан. 2020, 17 с. (на монгольском).
- «Тавантолгой» ХК Үйл ажиллагааны тайлан 2023. 2024, 28 с. (на монгольском).
- «Эрдэнэс-Тавантолгой» ХК-ийн тайлан 2019. 2020, 48 с. (на монгольском).
- «Эрдэнэс-Тавантолгой» ХК-ийн жилийн тайлан 2023. 2024, 93 с. (на монгольском).
- Mongolian Mining Corporation Annual report 2019. 2020, 226 p. (in English).
- Mongolian Mining Corporation Annual report 2023. 2024, 190 p. (in English).
- SouthGobi Resources LTD. Annual Information Form. For the year ended December 31, 2019. 2020, 124 p. (in English).
- SouthGobi Resources LTD. Annual Information Form. For the year ended December 31, 2023. 2024, 105 p. (in English).

Список литературы

- Безруков Л.А., Фартышев А.Н. 2022. Особенности внешней торговли Монголии: риски для России. *Мировая экономика и международные отношения*, 66(3): 101–109. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2022-66-3-101-109>
- Ганхуяг Б. 2018. Политические партии Монголии и некоторые проблемы вокруг каменноугольного месторождения Таван-Толгой. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Политология. Религиоведение*, 26: 46–59. <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2018.26.46>
- Залогова О.И., Такайшвили Л.Н. 2019. Состояние и перспективы развития транспортной инфраструктуры Монголии для экспорта угля. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, 2(62): 177–185. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2\(62\).177-185](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2(62).177-185)
- Миронова М.Н., Потапенко М.В. 2016. Современные тенденции экономического сотрудничества Монголии с Китаем и Россией. *Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки*, 3–1: 11–25.
- Пунсалмаагийн О. 2017. Угольная промышленность Монголии: состояние и перспективы развития. *Записки Горного института*, 226: 420–427. <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.4.420>
- Чимэддорж У. 2018. Технологический менеджмент рационального природопользования (по материалам угольных месторождений Монголии). *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент*, 2: 110–121. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2018-11-2-110-121>
- Шерин Е.А. 2023а. Внешнеторговое сотрудничество Казахстана и сибирских регионов. *ЭКО*, 53(6): 137–151. <https://doi.org/10.30680/ЕСО0131-7652-2023-6-137-151>
- Шерин Е.А. 2023б. Внешнеторговое сотрудничество Монголии и сибирских регионов. *Географический вестник*, 1(64): 44–51. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-44-51>



- Шерин Е.А. 2024. Внешнеторговое сотрудничество Китая и сибирских регионов. *Мировая экономика и международные отношения*, 68(5): 81–90. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2024-68-5-81-90>
- Narankhuu B. 2018. Are Natural Resources a Curse or a Blessing for Mongolia? *Mineral Economics*, 31(1): 171–177. <https://doi.org/10.1007/s13563-018-0144-0>

References

- Bezrukov L.A., Fartyshev A.N. 2022. Features of Mongolian Trade: Risks for Russia. *World Economy and International Relations*, 66(3): 101–109 (in Russian). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2022-66-3-101-109>
- Ganghuyag B. 2018. Mongolian Political Parties and Some Problems with Tavan Tolgoi Coal Mine. «The Bulletin of Irkutsk State University». Series «Political Science and Religion Studies», 26: 46–59 (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2018.26.46>
- Zalogova O.I., Takaishvili L.N. 2019. State and Prospects of Development of Transport Infrastructure of Mongolia for Coal Export. *Modern Technologies. System analysis. Modeling*, 2(62): 177–185 (in Russian). [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2\(62\).177-185](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.2(62).177-185)
- Mironova M.N., Potapenko M.V. 2016. Modern Trends of Mongolian Economic Cooperation with China and Russia. *Izvestiya Tula State University. Economic and legal sciences*, 3–1: 11–25 (in Russian).
- Punsalmaagiin O. 2017. Coal Industry in Mongolia: Status and Prospects of Development. *Journal of mining institute*, 226: 420–427 (in Russian). <https://doi.org/10.25515/pmi.2017.4.420>
- Chimeddorj U. 2018. Technological Management of Rational Nature Management (Based on the Datas from Coal Deposits in Mongolia). *Scientific journal NRU ITMO. Series Economics and Environmental Management*, 2: 110–121 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2018-11-2-110-121>
- Sherin E.A. 2023a. Foreign Trade Cooperation between Kazakhstan and Siberian Regions. *ECO*, 53(6): 137–151 (in Russian). <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2023-6-137-151>
- Sherin E.A. 2023b. Foreign Trade Cooperation Between Mongolia and Siberian Regions. *Geographical Bulletin*, 1(64): 44–51 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-44-51>
- Sherin E.A. 2024. Foreign Trade Cooperation Between China and Siberian Regions. *World Economy and International Relations*, 68(5): 81–90 (in English). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2024-68-5-81-90>
- Narankhuu B. 2018. Are Natural Resources a Curse or a Blessing for Mongolia? *Mineral Economics*, 31(1): 171–177. <https://doi.org/10.1007/s13563-018-0144-0>

*Поступила в редакцию 18.12.2024;
поступила после рецензирования 31.01.2025;
принята к публикации 19.02.2025*

*Received December 18, 2024;
Revised January 31, 2025;
Accepted February 19, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шерин Егор Александрович, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории георесурсоведения и политической географии, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Egor A. Sherin, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Laboratory of Georesources Science and Political Geography, V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia



УДК 912.4+332.2
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-40-52

Картографирование эрозионно опасных земель Пермского края

¹Брыжко И.В., ¹Столбов И.А., ²Брыжко В.Г.

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 614068, Пермь, Букирева, 15

²Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова,
Россия, 614990, Пермь, ул. Петропавловская, 23
zemproekt@yandex.ru, warbendust@mail.ru, bryzhko@bk.ru

Аннотация. Проблема деградации и уменьшения плодородия земель сельскохозяйственного назначения является особенно актуальной для регионов рискованного земледелия, таких как Пермский край. В целях обеспечения актуальной информацией о территориях, подверженных эрозионной опасности, разработан картографический веб-сервис. Цель работы – картографическая поддержка развития земельно-имущественного комплекса сельского хозяйства в условиях эрозии почв. Для достижения цели разработана методика, основанная на ГИС-анализе данных о рельефе, почвах и типах землепользования с использованием растровых моделей и расчета интегрального показателя эрозионной опасности. Результатом является интерактивная карта эрозионной опасности, позволяющая визуализировать пространственное распределение рисков эрозии по муниципальным образованиям Пермского края и получать статистическую информацию о площадях, подверженных различной степени опасности. Разработанный веб-сервис призван способствовать повышению уровня управления земельно-имущественным комплексом и ресурсным потенциалом сельского хозяйства, обеспечить возможность сохранения ценных земельных массивов, помочь развитию базы продовольственного обеспечения края и улучшению социальных условий проживания.

Ключевые слова: противоэрозионная организация территории, эрозионная опасность, геоинформационные системы, сельские территории, веб-сервис

Для цитирования: Брыжко И.В., Столбов И.А., Брыжко В.Г. 2025. Картографирование эрозионно опасных земель Пермского края. Региональные геосистемы, 49(1): 40–52. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-40-52

Mapping of Erosion Hazard Lands of the Perm Region

¹Ilya V. Bryzhko, ¹Ilya A. Stolbov, ²Viktor G. Bryzhko,

¹Perm State University,

15 Bukireva St, Perm 614068, Russia

²Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
23 Petropavlovskaya St, Perm 614990, Russia,

zemproekt@yandex.ru, warbendust@mail.ru, bryzhko@bk.ru

Abstract. The problem of degradation and decrease in the fertility of land is among the most important ones for our agriculture. This is especially true for regions such as the Perm region, located in the zone of risky farming and having insufficient resources for farming. For this reason, we have developed a web service providing up-to-date information on the region's land and property complexes susceptible to erosion. The purpose of its creation is cartographic support for the development of the land and property complex of agriculture in the conditions of soil erosion. The developed web service should help improve the level of

© Брыжко И.В., Столбов И.А., Брыжко В.Г., 2025

management of the land and property complex and the resource potential of agriculture, provide an opportunity to save valuable land, help develop the region's food supply base, and boost social indices of people's living. The web service allows opening additional thematic layers, selecting an object in a municipality for displaying its erosion hazard data; it includes zooming widgets, a full screen mode, a scale bar; provides an opportunity to track the coordinates of the cursor both in the metric system and in the geographic one. When interacting with the area of the municipality, a block appears containing statistics on the distribution of erosion hazard on the territory. The developed web service allows improving the process and quality of land property management in the region. The results of the study make it possible to ensure the adoption of operational management decisions in the areas of organization of the territory and land cadastre, organization and implementation of agricultural production, environmental protection, social development, and entrepreneurship in the municipalities of the Perm region.

Keywords: anti-erosion organization of the territory, erosion hazard, geoinformation systems, rural areas, web service

For citation: Bryzhko I.V., Stolbov I.A., Bryzhko V.G. 2025. Mapping of Erosion Hazard Lands of the Perm Region. *Regional Geosystems*, 49(1): 40–52 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-40-52

Введение

Нарушение устойчивой системы внешнеэкономических связей страны, нарастающие агрессивные действия бывших российских партнеров по отстранению отечественной экономики от западной экономической системы требуют эффективных мер по обеспечению приоритетных национальных интересов, центральное место среди которых занимает сфера продовольственного обеспечения.

Последнее реализуется посредством осуществления агропроизводственной деятельности, нуждающейся в инновационном развитии, улучшении инвестиционного климата, совершенствовании регулирующих воздействий [Ушачев, Маслова, 2022].

Осуществление агропроизводственных процессов происходит, в первую очередь, за счет использования земельно-ресурсного потенциала. Развитие агрокомплекса обеспечивается в известной степени рационализацией земельно-имущественного комплекса, значительный удельный вес которого подвержен процессам деградации, включая эрозионные процессы. Сегодня назрела необходимость формирования устойчивого, эффективного землепользования агропроизводственного назначения, обеспечивающего устранение причин, приводящих к деградации земли [Хлыстун, Алакоз, 2022]. Это необходимая мера, важность которой подтверждается увеличением площади деградированных земель за последние четверть века почти на 24 млн. га. Площадь оврагов, формирование которых происходит в результате эрозионных процессов, превысила миллион гектаров, а их протяженность ежегодно увеличивается, что наносит серьезный ущерб территориальной земельно-имущественной основе отечественного агрокомплекса [Хлыстун, 2018].

Эти и другие негативные процессы в состоянии аграрного земельного имущества определяют актуальность развития системы управления землями сельского хозяйства, которое требует применения в практической организационно-территориальной деятельности современных технических средств, продуктов и технологий.

Целесообразность использования геоинформационных технологий определяется тем, насколько эти технологии пригодны для решения практических задач землеустройства и кадастра, а также возможностью достижения установленных целей [Цыпкин и др., 2022]. Современное землеустроительное производство невозможно без качественного геоинформационного и картографического обеспечения.

Картографирование территории служит базовой, одной из основных функций управления земельным имуществом. Картографическая визуализация необходима для наглядного представления географических закономерностей территории, в том числе на



участках с повышенным риском потенциального формирования оврагов [Украинский и др., 2022]. Моделирование рельефа, как одного из важнейших пространственных элементов, требуется для прогнозирования эрозионной опасности земель и устранения условий для проявления деградационных процессов [Новаковский, Пермяков, 2019].

Деградация земель сельскохозяйственного назначения является серьезной проблемой для России. За последние годы наблюдается увеличение площади деградированных земель, что негативно сказывается на продовольственной безопасности страны [Новиков и др., 2022].

Проблема эрозии почв является одной из ключевых в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития сельских территорий. Как отмечают отечественные авторы, изучающие эту тему, оценка эрозионной опасности почв позволяет выявлять наиболее уязвимые участки и разрабатывать эффективные меры по их защите [Лазовик, Топаз, 2021].

Современные геоинформационные и картографические продукты требуются широкому кругу корпоративных пользователей. В нашем случае при помощи геоинформационных технологий определяется опасность той или иной территории региона, степень которой зависит от набора основных факторов (рельеф, почвы, естественная растительность, гидрография, хозяйственная освоенность территории).

Для простоты пользования полученной информацией и обеспечения оперативности требуется визуализация данных, необходимых для принятия управленческих, хозяйственных, природоохранных, коммерческих решений. Для визуализации данных об эрозионной опасности территорий и земельно-имущественных комплексов для широкого круга пользователей необходим веб-сервис, содержащий картографическую информацию об эродированных землях и участках с потенциальной эрозионной опасностью. В данной статье представлены результаты работы авторов по разработке картографического веб-сервиса, визуально отражающего эрозионную опасность земель по муниципальным образованиям Пермского края.

Объекты и методы исследования

Эрозия почв оказывает мощное отрицательное воздействие на качественное состояние плодородных земельно-имущественных комплексов, вызывает потери продукции растениеводства, рост затрат на поддержание уровня почвенного плодородия в нормативных параметрах. Не случайно противоэрозионные мероприятия являются важной составляющей в системе земельно-охранных действий, реализуемых в общегосударственных интересах [Кузнецов, Глазунов, 2004]. Защитные мероприятия в данном направлении носят различный характер и сводятся к организационным, административным, мелиоративным, агротехническим, агрохимическим, геоботаническим, рекультивационным, инженерным и иным работам [Захаров, 2009].

Применение геоинформационных и картографических ресурсов направлено на значительное повышение качества противоэрозионных мероприятий, сокращение сроков проведения почвозащитных работ, обеспечение объективности и достоверности исходной для проектирования информации, усиление практического значения результатов противоэрозионного проектирования.

Для моделирования эрозионных процессов и картографирования эрозионной опасности применялись геоинформационные системы (ГИС), которые, являются эффективным инструментом для анализа пространственных данных и визуализации результатов [Ермолаев, 2017].

Известна практика создания картографических материалов для использования в процессе производства аграрной продукции, содержащих данные о пригодности агросурсовых условий, в числе которых эрозионный потенциал рельефа [Осипов и др., 2021]. Эта практика позволяет повысить уровень проектных организационно-территориальных разработок на земельных массивах, находящихся в аграрном обороте.

Данная статья продолжает исследование авторов по геоинформационному обеспечению оценки эрозионной опасности земель сельских территорий, выполненное для одного из районов Прикамья, результатом которого стало составление картограммы оценки эрозионной опасности сельскохозяйственных земель [Столбов и др., 2022].

На основе выполненных ранее исследований произведено картографирование территорий Пермского края, подверженных эрозионной опасности, в целях обеспечения развития земельно-имущественного комплекса сельского хозяйства региона.

В процессе разработки веб-сервиса авторами использованы разработки ученых местного университетского сообщества [Абдуллин, Пономарчук, 2020].

Объектом исследования в данной работе выступают муниципальные районы Пермского края. Для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) использовались данные топографических карт масштаба 1:100 000, представленные в виде горизонталей с шагом 10 метров. Горизонталы были получены путем конвертации ранее созданной ЦМР, что позволило унифицировать формат данных и обеспечить их совместимость с инструментом «Топо в растр» *ArcGIS*. Вначале была выполнена обработка данных для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) с использованием новых горизонталей. Исходными данными для анализа послужили горизонталы, полученные в результате преобразования цифровой модели рельефа, а также данные о гидрографической сети региона в формате *Shape*. Для каждого муниципального района была построена ЦМР, на ее основе были вычислены уклоны и экспозиция. Эти растровые данные были подвергнуты переклассификации. Кроме того, с использованием ЦМР были рассчитаны значения *LS*-фактора, характеризующего потенциал плоскостного смыва почвы, а также определены пороговые значения для разделения территории на равнины, пологие и крутые склоны, что позволило оценить опасность смыва почв. Полученные пороговые значения были переклассифицированы для присвоения новых рангов.

После анализа факторов рельефа из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России были получены сведения о почвах. На основе их характеристик, почвы были классифицированы по степени подверженности эрозии. Чем выше ранг эрозионной опасности, тем более уязвима почва к разрушению. Методика расчета *LS*-фактора основана на работах отечественных ученых, занимающихся этими же проблемами – Павлова [2013], Корытный с соавторами [2018], а также Добровольский и Никитин [1990], почвенный фактор оценивался с учетом рекомендаций Артемьевой и соавторов [2022]. Для выделения обрабатываемых земель использовался индекс *NDVI*, что позволило на основе анализа спектральных характеристик отделить пахотные земли от территорий с естественной растительностью [Гиберт, Кустышева, 2023].

Далее нами был сформирован список почв с присвоенными рангами эрозионной опасности: к первому рангу отнесены торфяные болотные, черноземы оподзоленные; ко второму рангу относятся пойменные слабокислые и нейтральные, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, пойменные кислые, пойменные заболоченные почвы; к третьему рангу мы отнесли таежные, светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные; в четвертый ранг вошли дерново-подзолистые–глубокоподзолистые, подзолы глеевые торфянистые, подзолы иллювиально-железистые; к пятому рангу отнесены подзолистые–глубокоподзолистые, дерново-подзолистые иллювиально-железистые, дерново-подзолистые преимущественно мелко-, подзолистые-сверхглубокоподзолистые, дерново-подзолистые-неглубокоподзолистые; и к шестому – подзолистые-мелкоподзолистые, подзолистые поверхностно-глееватые.

Типы почв, после присвоения им рангов эрозионной опасности, были преобразованы в растровый формат *GEOTIFF* для дальнейшего использования в расчете итогового показателя опасности. Аналогичная процедура обработки и ранжирования была применена к почвообразующим породам. Классификация почвообразующих пород основывалась на их устойчивости к эрозии и характеристиках их внутренней структуры.



В результате к первому рангу относятся ил и торф; ко второму известняки и другие карбонатные, легкосуглинистые породы; к третьему рангу – песчаные и супесчаные, среднесуглинистые, супесчаные, суглинки; к четвертому относятся метаморфические и изверженные, среднесуглинистые валунные и галечниковые, щебнистые, песчаные; в пятый ранг входят тяжелосуглинистые и глинистые; и в шестой – плотные глины.

Почвообразующие породы были конвертированы в растровый формат *GEOTIFF* для использования в дальнейших расчетах итогового показателя опасности.

На следующем этапе исследования была проведена работа по классификации растительности в соответствии с ее влиянием на эрозионную опасность. Исходными данными послужили векторные слои, содержащие информацию о типах растительности в Пермском крае. В этот слой были добавлены данные об обрабатываемых сельскохозяйственных землях, выделенные на основе анализа снимков поздневесеннего – раннелетнего периода.

Для выделения обрабатываемых земель был использован индекс *NDVI*, а также полевые значения для его интерпретации. В результате обработки был получен векторный слой, отображающий расположение обрабатываемых земель по состоянию начиная с 2016 года. Затем была проведена локальная перекодировка и ранжирование этих данных.

Нами были выделены для разных типов территории следующие ранги эрозионной опасности: нулевой – открытая вода; первый – густые горные темнохвойные леса и темнохвойные леса равнин, приспевающие, спелые и перестойные, лиственные спелые и приспевающие леса с обильно развитым хвойным подростом; второй – разреженные молодые сосновые леса и смешанные мелколиственно-сосновые разреженные насаждения, смешанные хвойно-мелколиственные леса с преобладанием сосны и присутствием темнохвойных пород, сосновые леса спелые, приспевающие и перестойные; третий – смешанные хвойно-мелколиственные леса с преобладанием лиственных либо темнохвойных пород и присутствием темнохвойных пород, болота верховые и переходные; четвертый – лиственные молодые и приспевающие разреженные леса, средне-низкобонитетные или молодые лиственные древесные и кустарниковые насаждения; пятый – безлесные территории, редкие древесно-кустарниковые насаждения на вырубках, бросовых землях; шестой – горная тундра и каменные россыпи, обрабатываемые земли.

С использованием калькулятора раstra были созданы растровые изображения, отображающие эрозионную опасность. Затем эти растровые поверхности были преобразованы в векторный формат для загрузки на ГИС-серверы и последующего анализа. Это позволило нам получить статистику по распределению площадей различных классов эрозионной опасности. Результаты статистического анализа представлены на разработанном веб-сервисе.

Для оценки достоверности полученных карт эрозионной опасности было проведено сравнение расчетных данных с рельефом местности на трех контрольных участках. Были выбраны три участка в Бардымском, Лысьвенском и Чернушинском муниципальных образованиях, где были проведены линии АБ, ВГ и ДЕ соответственно. По этим линиям построены профили местности и соответствующие им профили распределения различных характеристик эрозионной опасности. В результате были получены профили в виде графиков, которые были скомпонованы в единое изображение.

Анализ профиля АБ на первом контрольном участке, расположенном в Бардымском муниципальном образовании, показал, что уровень эрозионной опасности закономерно возрастает на склонах и уменьшается на участках с более пологим рельефом (рис. 1).

Очевидно, что крутизна склона в крайней степени влияет на уровень эрозионной опасности. При анализе контрольного участка в Бардымском муниципальном образовании по линии АБ эта зависимость подтверждается.

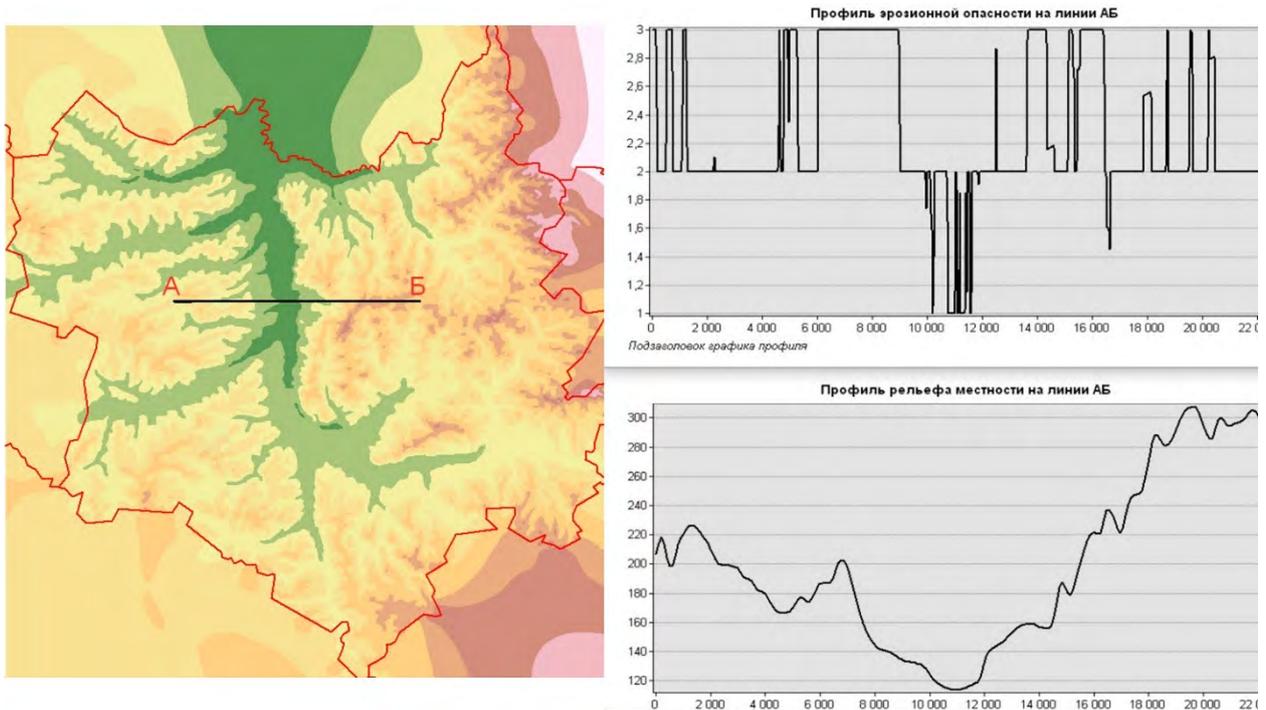


Рис. 1. Разрез по линии АБ
Fig. 1. A-B section

Второй контрольный участок, представленный линией ВГ в Лысьвенском муниципальном образовании (МО), демонстрирует схожие закономерности (рис. 2). Эрозионная опасность здесь также повышена на склонах и относительно снижена на равнинных участках. На начальном отрезке профиля (до 3500 м) уровень опасности остается сравнительно невысоким, но не достигает минимальных значений. Это обусловлено тем, что на данном участке присутствуют почвы, относящиеся к пятой категории эрозионной опасности.

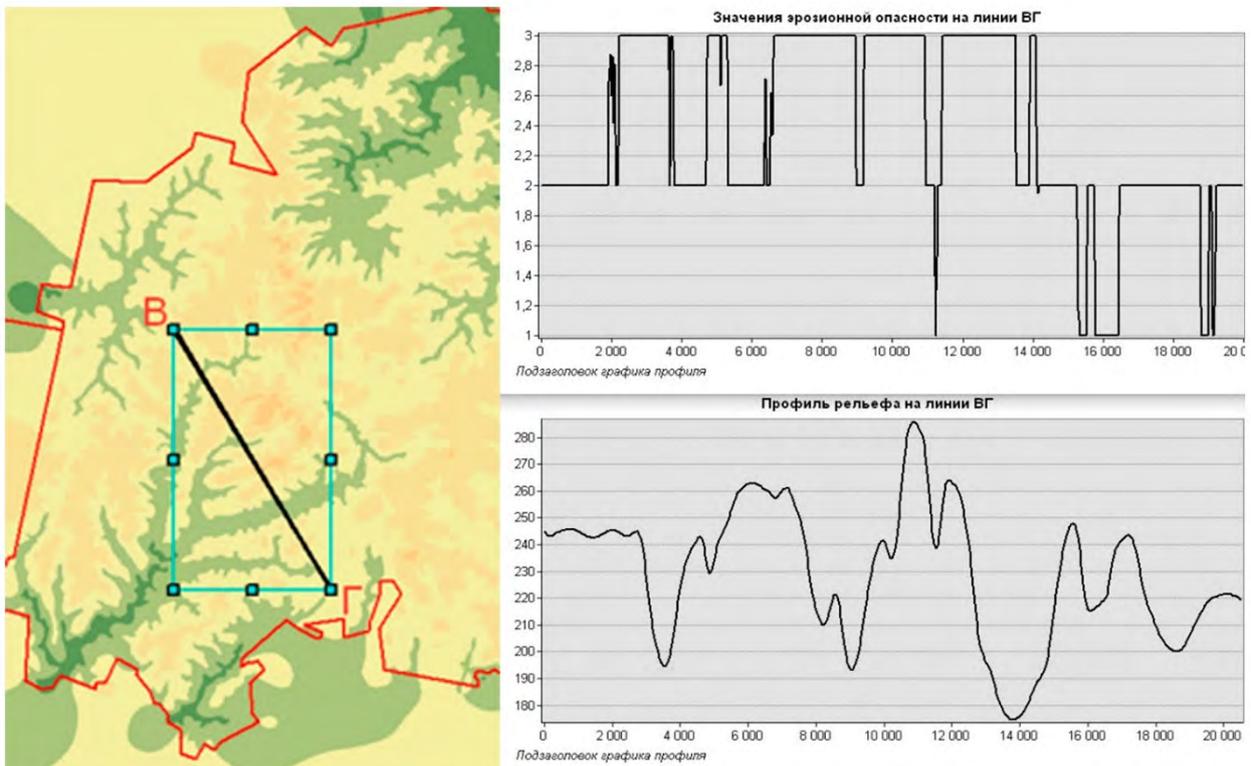


Рис. 2. Разрез ВГ
Fig. 2. B-G section

В качестве завершающего примера рассмотрим профиль ДЕ в Чернушинском муниципальном образовании (рис. 3). Этот район был выбран для анализа в связи с тем, что он характеризуется высокой долей сельскохозяйственных угодий. Сравнение профилей рельефа и эрозионной опасности позволяет заключить, что, как и в предыдущих случаях, значения эрозионной опасности увеличиваются при наличии склонов и уменьшаются на территориях с более равнинным рельефом.

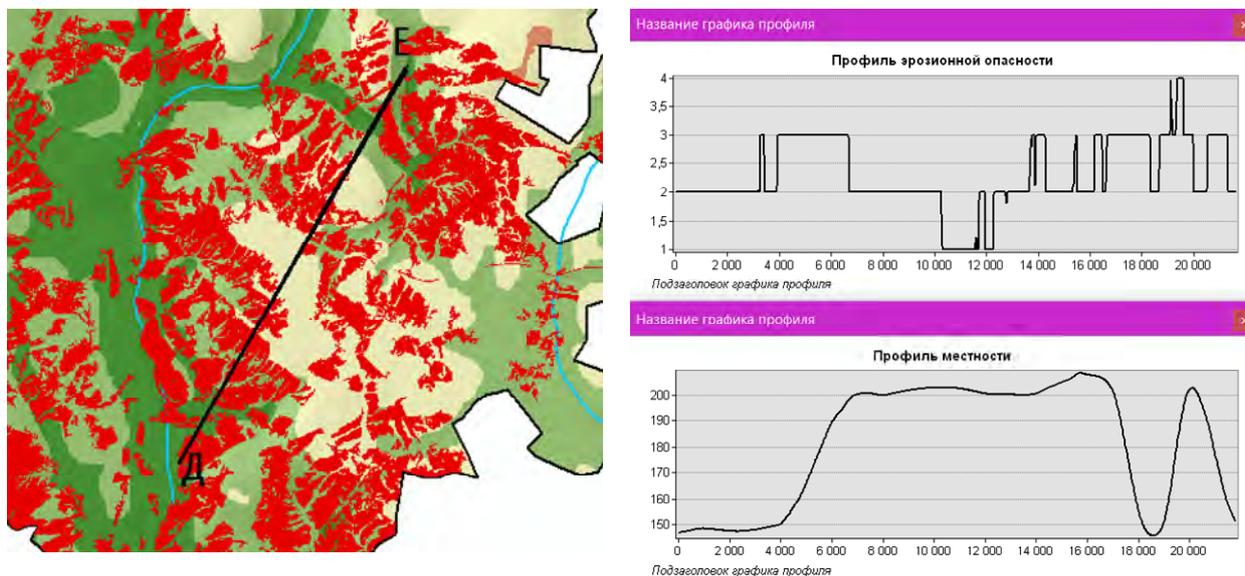


Рис. 3. Разрез ДЕ
Fig. 3. D-E section

Однако стоит отметить, что наличие обрабатываемых сельскохозяйственных земель на равнинных участках приводит к резкому повышению степени эрозионной опасности в этих местах. При этом, на равнинных территориях, не подвергающихся обработке, эрозионная опасность снижается практически до 1-й степени.

Таким образом, после сравнения результатов по трем территориям, получаем что созданные в процессе работы поверхности эрозионной опасности вполне корректно отображают ситуацию на текущем состоянии местности. Основное внимание при анализе профилей уделялось рельефу, поскольку он является одним из ключевых факторов, определяющих эрозионную опасность, особенно в условиях холмистого и горного рельефа Пермского края. Однако при построении карт эрозионной опасности учитывались и другие факторы, такие как типы почв и растительности, которые также оказывают существенное влияние на эрозионные процессы. Что позволяет сделать вывод о том, что метод создания подобной поверхности, разработанный и описанный нами в предыдущей работе на эту тему [Столбов и др., 2022], является корректным и позволяет проводить анализ.

Следует отметить, что на графиках (см. рис. 1–3) наблюдаются резкие изменения эрозионной опасности, не всегда связанные с изменением рельефа («выбросы»). Эти выбросы, как правило, обусловлены сменой типа землепользования (например, переход от леса к пашне) или изменением типа почв. Так, на рис. 2 (Лысьвенский МО) повышенный уровень эрозионной опасности на относительно ровном участке может быть связан с распространением почв, относящихся к пятой категории эрозионной опасности.

На основании анализа результатов, полученных на трех контрольных участках, можно сделать вывод о том, что разработанные в ходе данного исследования модели эрозионной опасности корректно отражают реальную ситуацию на местности.

Автономность веб-сервиса обеспечивается загрузкой и хранением данных в СУБД с последующим размещением на сервере *GeoServer* (ПГНИУ "<http://ogs.psu.ru:8080/geoserver/web/>"). Для загрузки использовался *QGIS*, а в качестве системы управления базами данных – *PostgreSQL*.

При разработке веб-приложения была использована среда *Visual Studio Code*. Структура *HTML*-страницы была разделена на контейнеры (*div*), каждый из которых отвечает за конкретную задачу. В веб-приложении устроены следующие блоки: блок переключения базовых подложек (*OSM Standard, OSM Humanitarian, Bing Maps Satellite, Yandex Maps Standard, Yandex Maps Satellite, Stamen Watercolor*), блок включения/выключения тематических слоев (*Tile Debug Layer*, Границы муниципальных образований, Центры муниципальных образований, Соседние субъекты федерации, Обрабатываемые земли), блок выбора слоев эрозионной опасности, блок инструментов измерений, блок отображения картографического контента.

В результате завершения разработки, оформления и загрузки всех данных на *GitHub* сервис был опубликован и начал работу. На данный момент он доступен по ссылке на странице «Эрозионная опасность Пермского края» (<https://ilyastb.github.io/LGO/>), максимальная совместимость сервиса есть только с браузером *Mozilla Firefox*, работа над улучшением совместимости ведется, но на других платформах могут загружаться не все слои.

Итоговая версия веб-сервиса позволяет визуализировать информацию, получать статистику, скачивать данные об эрозионной опасности. В веб-сервисе возможно переключение базовых слоев, включения/выключения тематических слоев, выбор слоев эрозионной опасности из списка, вывод статистики по эрозионной опасности при клике на муниципальный район и вывод названия населенного пункта при наведении курсора.

Результаты и их обсуждение

В результате выполненного авторами исследования разработан веб-сервис, целью создания которого является картографическая поддержка развития земельно-имущественного комплекса и отрасли сельского хозяйства региона в условиях эрозии почв.

Разработанный веб-сервис обеспечивает удобный доступ к информации об эрозионной опасности для широкого круга пользователей, что соответствует современным тенденциям развития геоинформационных технологий и позволяет повысить эффективность управления земельными ресурсами [Малочкин, 2019].

В качестве примера итогового результата можно привести карту распределения эрозионной опасности для Лысьвенского городского округа как территории, где представлены все степени эрозионной опасности (рис. 4).

Целевой ориентир полученного результата – повышение уровня управления земельным имуществом и ресурсным потенциалом аграрной сферы, сохранность ценных земельных массивов, развитие базы продовольственного обеспечения края, развитие социальных индексов проживания людей.

Результаты работы имеют существенное практическое значение. В частности, практического интереса заслуживает статистика по распространению по территории массивов, относящихся к различным рангам эрозионной опасности.

Также высокую практическую ценность имеют картографические изображения территорий, подверженных эрозионной опасности в муниципальных административных формированиях Пермского края.

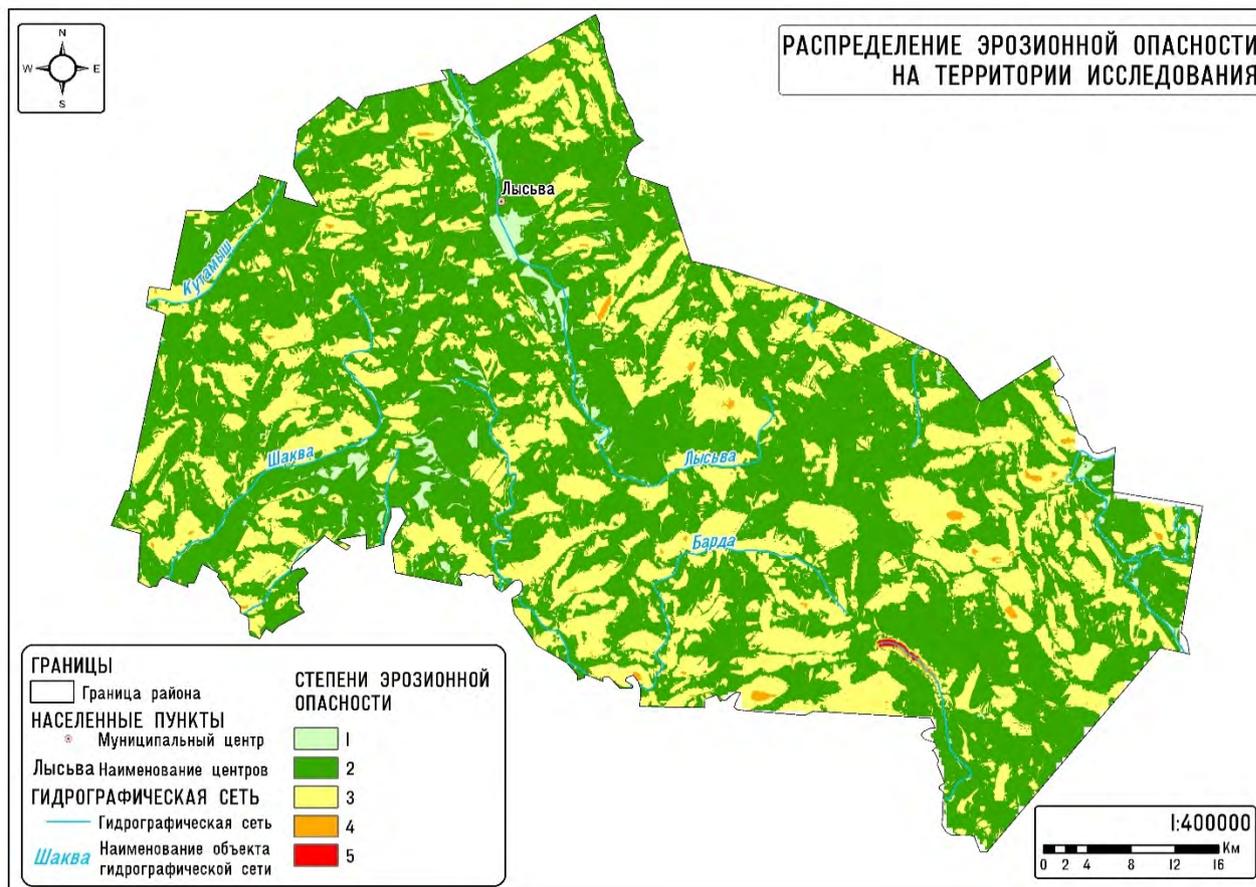


Рис. 4. Распределение эрозионной опасности на территории исследования
Fig. 4. Erosion hazard distribution in the study area

Сферы практического использования результатов работы:

1. Информационная. По мнению авторов, данные об эрозионной опасности на конкретных участках должны входить в реестр необходимых кадастровых сведений о качестве земель. Совершенствование в этом направлении технологической составляющей кадастра должно отразиться на общем развитии отечественной кадастровой системы [Bryzhko V.G., Bryzhko I.V., 2020].

2. Хозяйственная. Данные веб-сервиса могут быть полезны производителям агропродукции при установлении направлений хозяйственного использования конкретного земельного имущества с учетом требований противоэрозионной организации территории.

3. Экологическая. Противоэрозионные меры, устанавливаемые на основе результатов картографирования позволяют решать в комплексе земельно- и природоохранные задачи.

4. Социальная. Предотвращение деградационных процессов на территориях проживания населения края позволяет добиться улучшения условий жизни местного населения.

5. Коммерческая. Данные веб-сервиса могут быть полезны представителям предпринимательского сообщества при принятии решений о сделках с участками, подверженными эрозии, и их практическом использовании в коммерческих целях.

Для верификации наших результатов мы провели сравнение с данными, опубликованными в открытом доступе в сети Интернет. Мы выбрали для этого веб-сервис, созданный в Институте экологии и природопользования Казанского федерального университета. Сервис предоставляет широкий спектр пространственных данных о бассейнах малых рек, включая характеристики рельефа, климата, дочетвертичных отложений, почвообразую-

щих пород и почв, а также показатели лесистости, распаханности, заболоченности и другие параметры. Также на сервисе представлены модельные значения стока воды, оценки антропогенной нагрузки и эрозионных процессов.

Нас интересовало, каким образом авторы сервиса рассчитывают показатели эрозионной опасности и как эти результаты отображаются на карте. Для определения степени эрозии почвы разработчики использовали математическое моделирование.

Их результаты доступны в виде тематических слоев в разделе «Бассейны» на веб-сервисе «Речные бассейны Европейской России». Несмотря на то, что наши подходы к расчету отличаются (мы определяем предрасположенность к эрозии в виде ранга, в то время как сравниваемая модель дает количественную оценку смытых почв), мы считаем возможным сопоставление результатов. На рис. 5 для сравнения представлены оба варианта карт распределения степени эрозионной опасности.

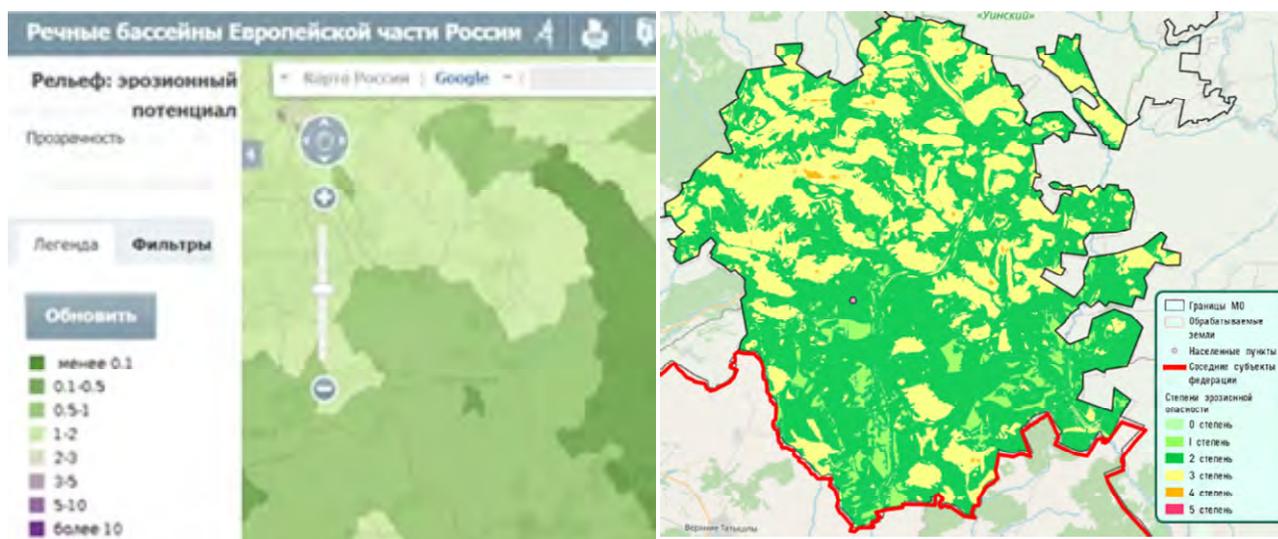


Рис. 5. Сравнение полученных результатов по Чернушенскому району (справа) с данными, полученными из ресурса «Речные бассейны Европейской России» (слева)

Fig. 5. Comparison of the obtained results on Chernushinsky district (on the right) with the data obtained from the resource "River basins of the European part of Russia" (on the left)

Земли, расположенные на северо-западе, имеют расчлененный рельеф, что увеличивает степень их предрасположенности к эрозионным процессам. Участки земли на юге расположены в равнинной местности, в связи с чем их эрозионная опасность значительно меньше.

На юго-востоке и востоке района большое количество обрабатываемых земель и небольшое количество лесных массивов, что также сказывается на повышении эрозионной опасности. В результате проведения сравнения полученных результатов в двух системах можно заметить, что созданные в процессе выполнения работы поверхности эрозионной опасности корректно отображают ситуацию местности, и что представленный нами метод создания подобной поверхности, является корректным и позволяет использовать результаты работы в практической деятельности.

Заключение

Системная борьба с проявлениями деградации плодородных земельных участков входит в круг общегосударственных задач, направленных на стабильное обеспечение страны аграрной продукцией. Муниципальные образования Пермского края нуждаются в информации о земельно-имущественных комплексах, подверженных эрозионной опасно-



сти. Большое значение имеет картографическая поддержка развития земельно-ресурсного потенциала аграрной сферы края в условиях эрозии почв.

Проведенное исследование позволило разработать и запустить картографический веб-сервис, обеспечивающий оперативный и удобный доступ к актуальным данным об эрозионной опасности земель Пермского края. В результате мы получили не только инструмент для визуализации данных, но и основу для дальнейшего углубленного анализа причин и механизмов возникновения эрозионных процессов.

Веб-сервис предоставляет информацию, необходимую для принятия обоснованных решений в области землепользования, разработки противоэрозионных мер, планирования деятельности в области сельского хозяйства и прогнозирования потенциальных рисков. Перспективы дальнейшего развития работы включают в себя расширение функционала сервиса путем добавления новых типов данных и интеграции с другими информационными системами. Разработанный веб-сервис является важным шагом на пути к более эффективному управлению земельными ресурсами и обеспечению устойчивого развития аграрного комплекса региона, и может служить примером успешного применения геоинформационных технологий в практике организации рационального использования земли.

Список источников

- Абдуллин Р.К., Пономарчук А.И. 2020. Технологии интернет картографирования. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 133 с.
- Захаров Н.Г. 2009. Защита почв от эрозии. Ульяновск, Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 235 с.
- Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. 2004. Эрозия и Охрана почв. Москва, КолосС, 351 с.
- Новаковский Б.А., Пермяков Р.В. 2019. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа. Москва, Московский государственный университет геодезии и картографии, 175 с.

Список литературы

- Артемьева О.В., Бакулев А.С., Позднякова Н.А., Тюрин С.В. 2022. Динамическое картографирование нарушенных земель с использованием данных дистанционного зондирования. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 28(2): 785–799. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-785-799>
- Гиберт К.А., Кустышева И.Н. 2023. Совершенствование функционирования мелиорационных систем с целью эффективности водопонижения на территории г. Тюмени. Интерэкспо Гео-Сибирь, 4(2): 18–23. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-4-2-18-23>
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. 1990. Функции почв в биосфере и экосистемах. Москва, Наука, 258 с.
- Ермолаев О.П. 2017. Геоинформационное картографирование эрозии почв в регионе среднего Поволжья. Почвоведение, 1: 132–146. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010075>
- Корытный Л.М., Бальжинов А.В., Башалханова Л.Б., Веселова В.Н., Михеева Е.В. 2018. Роль ресурсно-климатических факторов в устойчивом развитии Байкальского региона. В кн.: Устойчивое развитие в Восточной Азии: актуальные эколого-географические и социально-экономические проблемы. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию высшего географического образования и 60-летию фундаментальной географической науки в Бурятии, Улан-Удэ, 17–19 мая 2018. Улан-Удэ, Бурятский государственный университет: 108–110.
- Лазовик Г.С., Топаз А.А. 2021. Оценка эрозионной опасности почв и ее картографирование с использованием ГИС-технологий. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология, 2: 18–31. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-18-31>
- Малочкин В.Ю. 2019. Разработка методики проведения инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения посредством ГИС. Международный сельскохозяйственный журнал, 2: 17–21. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-12020>

- Новиков А.В., Хабарова И.А., Хабаров Д.А., Скрипко Е.С. 2022. Предложения по предотвращению деградации земель сельскохозяйственного назначения. Вектор ГеоНаук, 5(4): 13–17. <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-4-13-17>
- Осипов А.Г., Дмитриев В.В., Ковязин В.Ф. 2021. Методика оценки и картографирования природно-аграрного потенциала ландшафтов. Геодезия и картография, 82(9): 11–20. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2021-975-9-11-20>.
- Павлова А.И. 2013. Оценка эрозионной опасности земель с использованием ГИС-технологий. Стратегия устойчивого развития регионов России, 18: 107–110.
- Столбов И.А., Брыжко В.Г., Брыжко И.В. 2022. Геоинформационное обеспечение оценки эрозионной опасности земель сельских территорий. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 28(2): 885–900. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-885-900>.
- Украинский П.А., Буряк Ж.А., Терехин Э.А. 2022. Картографирование структуры пространственных точечных образов в региональном масштабе. Геодезия и картография, 83(11): 50–63. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2022-989-11-50-63>.
- Ушачев И.Г., Маслова В.В. 2022. Научные подходы к совершенствованию государственного регулирования в АПК на современном этапе. АПК: экономика, управление, 4: 3–10. <https://doi.org/10.33305/224-3>.
- Хлыстун В.Н., Алакоз В.В. 2022. Управление земельными ресурсами и землеустроительная инфраструктура. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 10: 629–636. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2210-01>.
- Хлыстун В.Н. 2018. Структурные изменения в земельном фонде России. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 4(159): 11–18.
- Цыпкин Ю.А., Папаскири Т.В., Орлов С.В., Хабарова И.А., Ведьманова О.О. 2022. Перспективы совершенствования геостратегического управления активами страны на основе единой системы пространственных данных. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель, 12: 757–765. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2212-01>.
- Bryzhko V.G., Bryzhko I.V. 2020. State and Directions of Development of Land Cadastral Practice. Espacios, 41(45): 90–97. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p08>.

References

- Artemeva O.V., Bakulev A.S., Pozdnyakova N.A., Tyurin S.V. 2022. Dynamic Mapping of Disturbed Lands Using Remote Sensing Data. InterCarto. InterGIS, 28(2): 785–799 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-785-799> (in Russian)
- Gibert K.A., Kustysheva I.N. 2023. Improving the Functioning of Melioration Systems for the Purpose of the Effectiveness of Dewatering in the Territory of the City of Tyumen. Interexpo GEO-Siberia, 4(2): 18–23. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2023-4-2-18-23>
- Dobrovolskiy G.V., Nikitin E.D. 1990. Funktsii pochv v biosfere i ekosistemakh [Functions of Soils in the Biosphere and Ecosystems]. Moscow, Publ. Nauka, 258 p.
- Yermolaev O.P. 2017. Geoinformation Mapping of Soil Erosion in the Middle Volga Region. Eurasian Soil Science, 50(1): 181–131 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229317010070>
- Korytnyi L.M., Balzhinov A.V., Bashalkhanova L.B., Veselova V.N., Mikheeva E.V. 2018. The Role of Resource and Climatic Factors in the Sustainable Development of the Baikal Region. In: Sustainable Development in East Asia: Current Ecological-Geographical and Socio-Economic Problems. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 30th Anniversary of Higher Geographical Education and the 60th Anniversary of Fundamental Geographical Science in Buryatia, Ulan-Ude, 17–19 May 2018. Ulan-Ude, Publ. Buryat State University: 108–110 (in Russian).
- Lazovik H.S., Topaz A.A. 2021. Assessment of Soil Erosion Hazard and Its Mapping Using GIS Technologies. Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology, 2: 18–31 (in Russian). <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-18-31>
- Malochkin V.Yu. 2019. Development of the Technique of Carrying Out Inventory of Lands of Agricultural Purpose by Means of GIS. International Agricultural Journal, 2: 17–21 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-12020>



- Novikov A.V., Khabarova I.A., Khabarov D.A., Skripko E.S. 2022. Offers to Prevent Degradation of Agricultural Land. *Vector of Geosciences*, 5(4): 13–17 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2619-0761-2022-4-13-17>
- Osipov A.G., Dmitriev V.V., Kovyazin V.F. 2021. Methods of Assessing and Mapping the Natural and Agricultural Potential of Landscapes. *Geodesy and Cartography*, 82(9): 11–20 (in Russian). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2021-975-9-11-20>.
- Pavlova A.I. 2013. Otsenka erozionnoy opasnosti zemel s ispolzovaniyem GIS-tekhnologiy [Erosion Hazard Assessment of Lands Using GIS Technologies]. *Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii*, 18: 107–110.
- Stolbov I.A., Bryzhko V.G., Bryzhko I.V. 2022. Geoinformation Support for Erosion Hazard Assessment of Rural Territories. *InterCarto. InterGIS*, 28(2): 885–900 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-885-900>.
- Ukrainskiy P.A., Buryak Zh.A., Terekhin E.A. 2022. Mapping the Structure of Spatial Point Patterns on a Regional Scale. *Geodesy and Cartography*, 83(11): 50–63 (in Russian). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2022-989-11-50-63>.
- Ushachev I.G., Maslova V.V. 2022. Scientific Approaches to Improving State Regulation in the Agro-Industrial Complex at the Present Stage. *AIC: economics, management*, 4: 3–10 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/224-3>.
- Khlystun V.N., Alakoz V.V. 2022. Land Administration and Land Use Planning Infrastructure. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 10: 629–636 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-04-2210-01>.
- Khlystun V.N. 2018. Structural Changes in the Land Fund of Russia. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 4(159): 11–18 (in Russian).
- Tsyppkin Yu.A., Papaskiri T.V., Orlov S.V., Khabarova I.A., Vedmanova O.O. 2022. Prospects for Improving Geostrategic Asset Management of the Country on the Basis of the Unified Spatial Data System. *Land Management, Monitoring and Cadastre*, 12: 757–765 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-04-2212-01>.
- Bryzhko V.G., Bryzhko I.V. 2020. State and Directions of Development of Land Cadastral Practice. *Espacios*, 41(45): 90–97. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n45p08>.

*Поступила в редакцию 21.01.2025;
поступила после рецензирования 01.03.2025;
принята к публикации 09.03.2025*

*Received January 21, 2025;
Revised March 01, 2025;
Accepted March 09, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Брыжко Илья Викторович, кандидат экономических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Столбов Илья Андреевич, магистрант кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

Брыжко Виктор Геннадьевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой землеустройства, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya V. Bryzhko, PhD in Economics, Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University, Perm, Russia

Ilya A. Stolbov, Master's student, Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University, Perm, Russia

Viktor G. Bryzhko, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Land Management, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia



УДК 631.6

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-53-68

Теория и опыт агрофитомелиорации земель: аналитический обзор

Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111
Ivoninforest@yandex.ru

Аннотация. Представлен новый тип мелиорации – агрофитомелиорация земель, объектом которой являются земли сельскохозяйственных угодий, а предметом – искусственно созданная система агрофитомелиоративных насаждений, предназначенная для улучшения свойств земель. Основным методом исследования является системный подход с использованием схематической визуализации. Элементами агрофитомелиоративной системы насаждений могут быть представители различных форм растительности (кустарники, кустовидные деревья и полукустарники, многолетние, двулетние и однолетние травы). Конкретная система может быть представлена одной или несколькими формами растительности в зависимости от востребованности полезных функций агрофитомелиоративных насаждений: устойчивость к эрозионным и дефляционным процессам, закрепление подвижных песков, восстановление плодородия почв, повышение урожайности сельскохозяйственных культур и видового разнообразия растений. Кроме того, различные формы растительности используются в кулинарных, медицинских, технических и других целях; для создания агростепей на опушках лесополос и т. д. Агрофитомелиоративные системы насаждений особенно востребованы на истощенных, нарушенных пахотных землях, где наблюдаются потери гумуса, ухудшаются свойства почв, активизируются эрозия и/или дефляция; на опустыненных или деградированных пастбищах, где исчезают ценные виды кормовых растений и возникают неполноценные растительные сообщества; на малоценных или вырожденных естественных и старосеяных травостоях; в садах, требующих междурядного залужения.

Ключевые слова: агрофитомелиорация земель, сельскохозяйственные угодья, агрофитомелиоративные насаждения, формы растительности, улучшение свойств земель

Для цитирования: Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. 2025. Теория и опыт агрофитомелиорации земель: аналитический обзор. Региональные геосистемы, 49(1): 53–68. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-53-68

Theory and Experience of Land Agrophytomelioration: Analytical Review

Vladimir M. Ivonin, Inna V. Voskoboynikova

Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov –
branch of the Don State Agrarian University,
111 Pushkinskaya St, Novochoerkassk 346428, Russia
Ivoninforest@yandex.ru

Abstract. A new type of melioration is presented – agrophytomelioration of lands, the object of which is agricultural lands, and the subject is an artificially created system of agrophytomeliorative plantings intended to improve the properties of lands. The main research method is a systemic approach using

© Ивонин В.М., Воскобойникова И.В., 2025



schematic visualization. Elements of the agrophytomeliorative planting system may represent various vegetation forms (bushes, shrub-like trees and subshrubs; perennial, biennial and annual grasses). A specific system can be represented by one or several forms of vegetation, depending on the required beneficial functions of agrophytomeliorative plantings: resistance to erosion and deflation processes; fixation of shifting sands; restoration of soil fertility; increase in crop yields and plant species diversity. In addition, various forms of vegetation are used for culinary, medical, technical and other purposes; for the creation of agro-steppes on the edges of forest belts, etc. Agrophytomeliorative planting systems are especially demanded on depleted, disturbed arable lands where humus loss is observed, soil properties deteriorate, erosion and/or deflation become more active; on desertified or degraded pastures, with the disappearance of valuable forage plant species and the emergence of inferior plant communities; on low-value or degenerated natural and old-sown grass stands; in gardens requiring inter-row grassing.

Keywords: agrophytomelioration of lands, agricultural lands, agrophytomeliorative plantings, vegetation forms, improvement of land properties

For citation: Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V. 2025. Theory and Experience of Land Agrophytomelioration: Analytical Review. Regional geosystems, 49 (1): 53–68 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-53-68

Введение

Федеральным законом от 13 июня 2023 г. № 244-ФЗ [«О внесении изменений ..., 2024] введено понятие «агрофитомелиорация земель», как новый тип мелиорации земель – проведение комплекса мелиоративных мероприятий для улучшения свойств земель (в том числе воспроизводства плодородия земель) использованием полезных свойств агрофитомелиоративных насаждений, под которыми понимают кустарники и травянистую растительность, искусственно созданные на землях сельскохозяйственного назначения или на землях, предназначенных для осуществления производства сельскохозяйственной продукции.

Среди сельскохозяйственных угодий в наибольшей степени подвергается деградации пашня, которая может выводиться из оборота (пашня залежная). Исследования показали, что оценка качества почв на залежной пашне (заросшей древесной и травянистой растительностью) может быть выше, чем на обрабатываемой пашне [Верховец и др., 2021].

Показатели почвозащитной эффективности сельскохозяйственных культур и паров могут быть различными. Если на парах этот показатель принять за единицу, то на пропашных культурах он составляет 0,80, на участках с горохом – 0,40, под овсом – 0,30, под пшеницей или рожью – 0,20, под однолетними травами – 0,10, под многолетними травами – 0,05, под агростепью – 0,001 [Долганова, 2016].

Выявлено, что под сомкнутым травостоем за счёт конденсации транспирационного и адвективного паров воды в почве образуется влага, сравниваемая с осадками [Раков, Сирота, 2015].

Поэтому почвозащитные севообороты насыщают многолетними травами, озимыми и яровыми культурами сплошного сева, исключая чистые пары и пропашные.

При прогнозе эрозии почв, разрабатывают оптимальную структуру почвозащитного севооборота и порядок чередования культур как с позиции экономики, так и с учетом защитной способности сельскохозяйственной культуры [Подлесных, Соловьева, 2020].

На склонах целесообразно полосное размещение культур, когда полосы первоначально засевают многолетними травами, после развития которых оставшиеся (невспаханые) полосы между ними засаживают однолетними культурами. Через 3 года эти полосы меняют местами.

В районах проявления эрозии почв применяют почвозащитные севообороты с полосным размещением культур, в которых полосы однолетних растений чередуют с полосами эрозионно устойчивых культур и многолетних трав.

Полосное земледелие обеспечивает существенные преимущества путём чередования полос с пропашными культурами и полос “no-till”, что сводит к минимуму эрозию почвы и сохраняет влагу [Morrison, 2002].

В России рекомендуют в полях севооборота поперёк склона чередовать полосы, в которых сочетаются культуры с высокой способностью противостоять водной и ветровой эрозии (многолетние травы, озимые зерновые культуры) и средней (яровые зерновые культуры, однолетние травы), а также с незначительной способностью (поля чистого пара, пропашные) [Турусов и др., 2017].

В Белоруссии в севооборотах для повышения плодородия почв применяют промежуточные культуры: озимая рожь на зелёную массу, в поукосных посевах которой возделывают однолетние бобовые культуры; подсевной однолетний райграс под горохово-овсяную смесь и люпин; пожнивные крестоцветные культуры (рапс озимый, редька масличная, горчица белая) [Никончик, 2012].

В засушливых регионах на парах высевают полосные кулисы шириной 0,20–0,24 м из высокостебельных растений (подсолнечник, кукуруза, горчица) поперёк эрозионно опасных ветров. Так, на чернозёмах Северного Казахстана однострочные и двухстрочные кулисы из кукурузы в паровом поле способствовали предупреждению ветровой эрозии и повышению плодородия почвы [Хусаинов, Рафальский, 2009].

В Волгоградской области для увеличения снегозапасов на склоновых полях, снижения промерзания почв, уменьшения стока талых вод и смыва почвы сочетают стокорегулирующие лесные полосы и кулисы из высокостебельных сельскохозяйственных растений (высота до 0,50 м), расположенных тремя рядами через 20 м на межполосных пространствах [Барабанов, Кулик, 2019].

В Ростовской области кулисный пар способствует получению зерна озимой пшеницы высокого качества. При заготовке кормов в районах с развитым животноводством необходимо высевать люцерну изменчивую в кулисно-мульчирующем пару совместно с озимым ячменём или озимой тритикале [Зеленский и др., 2006].

В степях Южного Урала возделывают бобово-злаковые смеси многолетних трав в полях лугопастбищного кормового севооборота. Это позволяет существенно повысить выход кормов и их качество, с оптимальным регулированием баланса азота, фосфора и калия [Каипов, Сафин, 2019].

При повышении производительности пастбищ Поволжья перспективны кустарники и полукустарники из семейства маревых и многолетние травы семейства бобовых [Тютюма и др., 2016].

Для восстановления деградированных полупустынных пастбищ на светло-каштановых почвах с солонцами используют кормовые кустарники (терескен, джужгун) и полукустарник изень (прутняк).

Для зоны «чёрных» земель и Кизлярских пастбищ Республики Дагестан необходим регламентированный выпас скота, освоение почвозащитных севооборотов и систем обработки почвы, существенное расширение объёмов фитомелиорации, создание оазисного земледелия посредством использования ресурсов пресных подземных вод [Курбанов, 2021].

Разработаны мероприятия, прекращающие процессы опустынивания и повышающие продуктивность Кизлярских пастбищ, в том числе – создание кустарниково-пастбищных угодий (джужгун, терескен, прутняк, житняк, донник, пырей, камфоросма) на слабо закреплённых песках и супесях с очагами дефляции, а также – закрепление очагов дефляции и подвижных песков посевом кияка и посадкой терескена, джужгуна и прутняка [Усманов и др., 2010].



В целом опустынивание пастбищ (Калмыкия и Дагестан, Астраханская и Волгоградская области и др.) предотвращают формированием агрофитоценозов из кустарников (саксаул белый и чёрный, черкес, кандым, и другие), полукустарников (терескен, камфоросма, солянка, или чогон и др.), многолетних травянистых растений (полынь, астрагал, люцерна, эспарцет и др.) [Назаров и др., 2021].

На опустыненных пастбищах создают мелиоративно-кормовые насаждения, используя высокие или средние по высоте кустарники (жимолость татарская, ирга круглолистная, клён татарский, скумпия кожевенная и др.); на почвах, податливых дефляции, применяют псаммо- и галофитные кустарники и полукустарники (джузгун безлистный, саксаул чёрный, тамарикс ветвистый, терескен серый и др.). На деградированных пастбищах мелиоративно-кормовые насаждения размещают рядами или кулисами, на 10–20 % площади. Оставшуюся часть занимает кормовая травянистая или полукустарничковая растительность. При тяжёлых условиях среды можно создавать мелиоративно-кормовые насаждения редкостойно-куртинного типа, при размещении отдельных рядов, куртин, групп и кустов в благоприятных местоположениях (10–15 % площади) [Методические рекомендации ..., 2021].

Видовое разнообразие растений при агрофитомелиорации земель обогащено местными видами, приспособленными к региональным особенностям среды. Так, на чернозёмах южных Башкирского Зауралья в качестве фитомелиорантов, эффективно улучшающих характеристики почв, выступают как виды природных сообществ (ковыль Лессинга, пырей ползучий, житняк гребневидный, овсяница ложноовечья), так и сеяные многолетние травы (кострец безостый, козлятник восточный, люцерна синегибридная, эспарцет сибирский, донник жёлтый) [Хасанова, Суюндуков, 2009].

В Приморье наиболее благоприятные условия среды на вариантах с посевами фитомелиорантов складывались в посевах с люцерной и клевером, в пахотных горизонтах которых установлено наибольшее возрастание содержания и запасов гумуса [Пуртова и др., 2015].

На пастбищах Узбекистана применяют посевы полосами засухоустойчивых многолетних кормовых культур: полукустарники – солянка малоллистная и солянка волнистолистная, терескен серый; многолетние травянистые растения – житняк гребневидный, эспарцет хорасанский [Farmanov at al., 2020].

Проанализировано состояние пастбищной растительности горной и предгорной зон Дехканабада (преимущественно травы, полукустарники, кустарники), показаны пути сохранения их биоразнообразия, представлены методы улучшения деградированных пастбищ путём посева многолетних засухоустойчивых кормовых растений [Norkulov at al., 2022].

Предложено восстанавливать пастбища с низкой биологической продуктивностью в засушливой степи Северного Казахстана с помощью злаково-бобовых смесей, образованных пыреем хохлатым, люцерной, костром безостым [Nugmanov at al., 2022].

В условиях Северо-Западного Прикаспия для восстановления деградированных пастбищных угодий предложено создание насаждений с участием: житняка сибирского и житняка пустынного, пырея сизого и пырея удлиненного.

Основными причинами деградации пастбищ Монголии являются: отсутствие сезонного оборота пастбищ, сконцентрированность скота и скотоводов у бригадных центров и водных объектов, отсутствие перемещения отар к отдалённым пастбищам [Уртнасан и др., 2013].

В Астраханской области агрофитомелиорация (куртины вяза приземистого и полосы терескена серого) деградирующих аридных пастбищ способствует их восстановлению, повышению биоразнообразия и сбора зелёной массы [Власенко, Сидоров, 2016].

Одной из нерешённых проблем технологического этапа проведения масштабной агрофитомелиорации в аридных условиях является недостаточная сеть питомников и лесопитомников для производства и обеспечения семенным и посадочным материалом фитомелиорантов [Шевченко и др., 2024].

В степной и лесостепной зонах естественные суходольные сенокосы в основном размещаются по склонам речных долин и балок, где затруднительно проводить мероприятия по улучшению и уходу за фитоценозами. Это приводит к изреживанию и ухудшению состава травостоя и развитию на склонах эрозионных процессов. Основным типом мелиорации таких земель является агролесомелиорация.

Агрофитомелиорацию земель суходольных сенсосов можно осуществлять в виде снегозадержания, проводимого при оставлении в зиму кулис – полос нескошенной растительности шириной до 1 м, через 10–20 м.

Для борьбы с эрозией почв на балочных склонах создают террасы, которые засевают многолетними травами. Практикуют также полосную высадку кустарников на террасах [Рамазонов, 2021].

Задержание междурядий яблоневого сада многолетними травами (бобово-злаковая растительность) улучшает структурное состояние почв. Агрофитомелиорацию современных садов можно осуществлять через дерново-перегнойную систему содержания почвы в междурядах – их задержание многолетними травами, которые периодически скашивают. При такой системе устойчивый фитоценоз овсяницы луговой с люцерной изменчивой может существовать длительное время. Наименее устойчивы посевы злаковых трав с клевером красным [Гурин, Ревин, 2021].

Различные виды вишни произрастают на территории России. Для агрофитомелиорации используют вишню войлочную, вишню обыкновенную и, особенно, вишню степную.

Рекомендуется в междурядах вишнёвых садов содержать почву под задержанием (многолетние злаковые травы при их скашивании 4–6 раз за сезон) [Упадышева, 2016].

Таким образом, агрофитомелиоративные мероприятия проводят для улучшения земель сельскохозяйственных угодий (пашен, сенокосов и пастбищ, многолетних насаждений) и восстановления их деградирующих площадей. Эффективность таких мероприятий зависит от множества факторов (условия среды, состав насаждений и др.), затрудняющих выбор агрофитомелиоративных насаждений. Поэтому визуальные представления некоторых положений агрофитомелиорации земель помогут представить основные положения теории этого нового типа мелиорации.

Объекты и методы исследования

Предметом дисциплины «Агрофитомелиорация земель» может служить такая особая сфера познания в области мелиорации, как земли. Объектом этой дисциплины является область объективной реальности, определённая для познания специфическим для данной дисциплины научным аппаратом [Ивонин, 2021]. Поэтому основным методом исследований служит системный подход с использованием диаграммной визуализации основных положений агрофитомелиорации земель. Этот метод был опробован нами при визуальном представлении систем лесомелиорации с помощью набора стандартных графических элементов [Ивонин, 2020; 2024].

Результаты и их обсуждение

На основе данных литературных источников и результатов собственных исследований уточнили объект дисциплины «Агрофитомелиорация земель» – земли сельскохозяйственных угодий.

Структуру предмета (рис. 1) представляют составляющие элементы: пашня (залежная и обрабатываемая), пастбища и сенокосы, многолетние насаждения.

Пашня залежная бывает молодой, средневозрастной и долголетней. Молодые залежи, расположенные на плодородных и удобных для обработки почвах, после определённых сроков задержания, застарения бурьяном и кустарником, возвращаются в пашню об-

рабатываемую, обычно не требуя коренного улучшения с помощью проведения агрофитомелиоративных мероприятий.

Средневозрастные залежи с деградированными почвами, ранее бывшие под обрабатываемой пашней и впоследствии заросшие древесной порослью, отводят для создания пастбищ и сенокосов. Это сопровождается обязательным применением агрофитомелиоративных мероприятий. Долголетние залежи, обычно покрытые мелколесьем, предназначены для культуртехнических мелиораций.

Поэтому обращают внимание на занятые (в том числе, сидеральные) пары, а также применение агрофитомелиоративных мероприятий на полях севооборотов с однолетними культурами сплошного сева и пропашными.

Полевые, кормовые и почвозащитные севообороты также подвержены агрофитомелиорации.



Рис. 1. Структура предмета агрофитомелиорации земель
Fig. 1. Structure of the subject of land agrophytomelioration

В районах распространения водной эрозии или дефляции используют буферные полосы с учётом чередования культур и направления горизонталей местности или направления ветров.

Опустыненные пастбища на песчаных землях улучшают кустарниковыми посадками шелюги (жёлтая, красная, каспийская) узкими или широкими полосами, между которыми размещают ряды тополей и других пород.

Предотвращение деградации пастбищ возможно при формировании мелиоративно-кормовых или редкостойно-кустарниковых насаждений, с размещением кормовых кустарников кулисами или куртинами.

Агрофитомелиорация суходольных сенокосов возможна видами с широкими экологическими возможностями.

Деградированные суходольные сенокосы мелиорируют бобовыми травами на террасах с участием рябины, черёмухи, лещины.

В садах применяют сплошное или черезрядное залужение междурядий с широким набором трав.

Сидераты выращивают в междурядьях плодовых садов и виноградников для возрастания урожайности, с получением высоких приростов однолетней древесины плодовых деревьев или виноградной лозы.

Закрайки садозащитных лесных полос занимают агростепью (созданной по методу Д.С. Дзыбова): заготовка агростепной смеси семян, подготовка почвы, посев и уход за посевами по известным технологиям, а также – периодическое подкашивание травостоя с оставлением скошенной массы на месте в виде мульчи.

В целом агрофитомелиоративные насаждения широко применяют на истощённых, нарушенных и эродированных землях сельскохозяйственных угодий. Особенно ярко эффект этих насаждений проявляется на пашне, где происходят потери гумуса, активизация эрозии и дефляции, а также – на пастбищах (при исчезновении ценных, в кормовом отношении, видов растений и возникновении неполноценных растительных сообществ).

Искусственно созданная на землях сельскохозяйственных угодий система агрофитомелиоративных насаждений может быть представлена различными формами растительности (кустарники, кустовидные деревья, полукустарники, многолетники, двулетники и однолетники) для предотвращения деградации земель и защиты их от негативного воздействия природного и антропогенного характера (рис. 2).



Рис. 2. Система агрофитомелиоративных насаждений
Fig. 2. The system of agrophytomeliorative plantings

Типичными представителями кустарников-фитомелиорантов являются: джужгун безлистный, жимолость татарская и др., кустовидных деревьев – калина, рябина обыкновенная и др., полукустарников – малина обыкновенная, терескен и др., многолетних трав – ежа сборная, люцерна жёлтая и др., двулетних трав – клевер луговой, колокольчик раскидистый и др., однолетних трав – горох полевой, коострец безостый и др.

Разнообразие растений для агрофитомелиорации земель сельскохозяйственных угодий иллюстрирует Перечень 99 видов, определённый Приказом МСХ РФ от 08.02.2024 № 59 [Об утверждении Перечня ..., 2024], который может дополняться местными видами, имеющими агрофитомелиоративное значение.

Конкретную систему агрофитомелиоративных насаждений могут составлять представители одной, нескольких (или всех) форм растительности, в зависимости от востребованности полезных функций (рис. 3).

Как следует из данных рис. 3, на сельскохозяйственных угодьях агрофитомелиоративные улучшения свойств земель происходят благодаря: повышению устойчивости к эрозионным и дефляционным процессам, закреплению разбитых песков, воспроизводству плодородия земель, повышению урожайности сельскохозяйственных культур, полезным функциям, проявляемым в кулинарии, медицине, быту и др., обогащению видового разнообразия растений.



Рис. 3. Макет полезных функций агрофитомелиоративных насаждений
Fig. 3. The model of useful functions of agrophytomeliorative plantings

Эрозионные и дефляционные процессы главным образом определяются скоростью поверхностного стока или скоростью ветра в приземном слое воздуха, а также – степенью противоэрозионной (противодефляционной) устойчивости почв.

Устойчивость почв против эрозии и дефляции обеспечивает развитый растительный покров (корни скрепляют почвенные частицы, надземный полог и подстилка или лу-

говой войлок сохраняют почвенную структуру от разрушения). Всё это препятствует смыву и размыву или выдуванию почвы.

На полях почвозащитных севооборотов практикуют посевы многолетних трав и культур сплошного сева. Здесь могут высевать кулисы, каждая из которых состоит из 1–3 рядов высокостебельных растений (подсолнечник, кукуруза и др.), которые ориентируют поперёк склонов или направления вредоносных ветров.

На пахотных склонах крутизной более 3 градусов вводят полосное размещение культур в комплексе с лесными полосами. Границы полос (лесных и сельскохозяйственных) постоянной ширины размещают в направлении горизонталей местности с введением, при необходимости, корректирующих дугообразных клиньев. На сельскохозяйственных полосах чередуют культуры с разной почвозащитной способностью, сроками сева и уборки, что способствует не только сокращению эрозии и дефляции почв, но и созданию благоприятного микроклимата, уменьшению испарения почвенной влаги, ослаблению негативных проявлений суховея, накоплению и равномерному распределению снега по территории.

Снегозадержанию и снегораспределению способствуют: на пашне – повышение шероховатости поверхности при создании высокостебельных или стерневых кулис при высоком срезе зерновых во время уборки, на сенокосах – оставление узких полос нескошенной растительности, на пастбищах – накопление снега в высоком растительном покрове или многолетних насаждениях.

В садах и виноградниках, расположенных на склонах, содержание междурядий (черезрядное задернение) культивированием однолетних или многолетних трав способствует инфильтрации поверхностного стока, снижая интенсивность процессов водной эрозии.

В степях и полупустынях европейской территории России песчаные земли представляют заросшие бугристые пески. Однако на пашне, вблизи животноводческих ферм, в местах водопоев могут возникать очаги разбитых песков в виде бугров (округлых эоловых отложений высотой от 3 до 7 м и более) или барханов (отложения высотой до 16 м), формирующих барханные поля. Разбитые пески с глубоким залеганием грунтовых вод обычно закрепляют кустарниковыми посадками шелюги.

Восстановление аридных пастбищ возможно при создании насаждений джужгуна безлистного, саксаула белого саксаула чёрного, прутняка простёртого.

Воспроизводство плодородия земель при фитомелиорации определяется тем, что многолетние растения семейства бобовых и злаковых, после отчуждения основной биомассы оставляют корневые и поукосные остатки, которые при разложении участвуют в повышении содержания в почве свежего гумусоподобного вещества, а также основных биофильных элементов – азота, фосфора, калия и кальция. При этом оказывается положительное влияние на изменение реакции почвенного раствора.

Кроме этого, бобовые многолетние травы способствуют формированию водопрочных структурных агрегатов, и улучшению пищевого режима почвы.

Повышение продуктивности земель сельскохозяйственных угодий после проведения агрофитомелиоративных мероприятий проявляется в повышении урожайности сельскохозяйственных и плодовых культур благодаря улучшению водно-физических свойств и пищевого режима почв.

Полезные функции некоторых агрофитомелиорантов проявляются в медицине, кулинарии, быту и др.

Так, аир болотный обладает антисептическим, болеутоляющим, вяжущим, мочегонным, бактерицидным, желчегонным, жаропонижающим, кровоостанавливающим и другими свойствами. Плоды и кору черёмухи и калины применяют в медицине; плоды рябины обыкновенной используют как в медицинской практике, так и при производстве пищевых добавок и продуктов питания; корневища черноголовника многообразного используют для производства закрепляющих лечебных препаратов. Сорго зерновое исполь-



зуют для производства строительных материалов, пищевых продуктов, биотоплива, алкогольных напитков. Топинамбур выращивают как техническое, продовольственное и кормовое растение. Чечевица – азотфиксирующая, кормовая и продовольственная зернобобовая культура. Зерно чумизы используют в продовольственных целях и в животноводстве как корм для скота, а кукурузу сахарную – на продовольственные, технические, кормовые и медицинские цели.

Такие фитомелиоранты, как овес зимующий и овес яровой, подсолнечник однолетний, просо посевное, пшеница мягкая озимая и яровая, рожь озимая и яровая, тритикале озимая и яровая, ячмень яровой, выращиваемые как фитомелиоранты, имеют продовольственное и фуражное значение. Кроме этого, алыча крупноплодная, вишня обыкновенная и вишня степная выращиваются не только для фитомелиорации земель, но и для получения ягод, а фундук – для получения орехов. Напиток из листьев кипрея узколистного обладает замечательным вкусом и полезными свойствами.

Пашня, ежегодно обрабатываемая, используется под сельскохозяйственные культуры, многолетние травы и пары обычно в полевых и кормовых севооборотах. Плодородие почв в полевых севооборотах снижается (с проявлением эрозии или дефляции) на чистых парах, под однолетними культурами сплошного сева и пропашными.

Поэтому в агрофитомелиорации земель придают значение: почвозащитным севооборотам с занятыми парами, чередованию покрытых растительностью и открытых пространств, размещению незащищённых участков (чёрные пары, пропашные) между полосами многолетних трав или культур сплошного сева, возделыванию промежуточных культур, кулисам из высокостебельных растений.

Кулисный пар отличается от чистого полосами или кулисами высокостебельных растений шириной 0,20–0,24 м, высеваемых поперёк основного направления ветров для сокращения дефляции почв, задержания и равномерно распределения снега, увеличения запасов влаги в почве.

Сидеральный пар (вид занятого пара, засеваемого бобовыми культурами – донник белый, люпин белый) повышает плодородие почв и увеличивает урожайность последующей культуры. При достаточном увлажнении используют занятые сидеральные пары с участием крестоцветных культур: рапс озимый, горчица белая, редька масличная и др.

Кормовые севообороты предназначены для производства зелёной массы, силоса, сена. Они подразделяются на кормовые прифермские и кормовые сенокосно-пастбищные (лугопастбищные). Первые размещают на плодородных окультуренных почвах, включая агрофитомелиоративные насаждения многолетних трав (посевы бобовых – люцерна жёлтая, клевер луговой и др., злаковых – овсяница луговая, тимофеевка луговая, костреч безостый, пырей бескорневищный и др.), а также озимой ржи, кормовых корнеплодов, культур для силоса.

Лугопастбищные сенокосы размещают в основном на малопродуктивных кормовых угодьях, и поэтому они нуждаются в агрофитомелиорации (первые годы многолетние травы используют на травяную муку, сено, сенаж и лишь после 4–5 годов – это поле используют как выпас, через 7–10 лет выпас распаивают под полосный посев однолетних трав – суданская трава, люпин белый, сорго зерновое, викоовсяная смесь и др.).

Почвозащитные севообороты защищают почву от эрозии на склонах круче 5° и от дефляции при скоростях ветра у обрабатываемой поверхности свыше 4 м/с.

Эти севообороты насыщают многолетними травами и однолетними культурами сплошного сева, исключая чистые пары и пропашные. Защитную роль севооборотов увеличивают чередованием полос культур и паров, имеющих различную почвозащитную способность: высокую (многолетние травы и озимые зерновые); среднюю (однолетние травы и яровые зерновые) и слабую (чистые пары, пропашные, технические и овощные культуры). Ширина полос определяется характеристиками почв, длиной, крутизной и

формой склона, свойствами культур, возделываемых на межбуферных участках (защитные полосы называют буферными).

Буферные полосы в районах преимущественного распространения водной эрозии размещают в направлении горизонталей местности или поперёк склонов. Их ширина от 20 до 100 м определяется формой, крутизной и экспозицией склонов, с учётом рекомендаций по чередованию культур на полосах. В районах распространения дефляции полосы шириной от 50 (лёгкие почвы) до 150 м (тяжёлые), размещают перпендикулярно преимущественному направлению ветров, чередуя многолетние травы с яровыми зерновыми или кулисным паром с использованием кукурузы сахарной, подсолнечника однолетнего или других высокостебельных растений.

При этом на склоновых землях в парах возможно применение буферных полос из пшеницы мягкой озимой, вики мохнатой озимой, ржи озимой и др.

При уплотнении и зарастании песков обычно формируются примитивные ареносоли или погребённые почвы. Под песчаными почвами на значительной глубине атмосферные осадки могут образовывать линзы пресной воды.

Для закрепления песков фитомелиоративные насаждения применяют дифференцированно: создают кустарниковые посадки шелюги (жёлтая, красная, каспийская) узкими или широкими полосами, между которыми сажают ряды тополя и других пород. В полупустыне пески закрепляют посадками тамарисков и лоха, в пустынях – джужгуна, черкеза, песчаной акации [Ивонин, 2018].

Опустынивание пастбищ вызвано как природными (климатические особенности), так и антропогенными (чрезмерный выпас скота, деградация растительности, дефляция почв) факторами. Предотвращение опустынивания возможно при формировании мелиоративно-кормовых и редкостойно-кустарниковых насаждений, размещением кормовых кустарников кулисами шириной до 100 м (междукулисные пространства той же ширины) или куртинами, занимающими до 15 % площади пастбищ.

В аридной зоне России под деградацией пастбищ обычно понимают постепенную деградацию травостоя, снижение кормовой продуктивности, появление оголённых участков, ухудшение структуры и свойств почвы, нарастание эрозии и дефляции в результате чрезмерных пастбищных нагрузок, отсутствия пастбищеоборотов и ротационных выпасов.

Суходольные сенокосы расположены на приводораздельных и долинных склонах, в балках (логах), которые увлажняются атмосферными осадками. Чистые сенокосы (отсутствуют кустарники, камни и другое) характерны доминированием видов, имеющих широкую экологическую амплитуду.

Например, на остепнённых суходольных лугах в травостое преобладают злаки (ежа сборная, овсяница луговая, мятлик узколистный, а также может присутствовать полевица тонкая и душистый колосок обыкновенный). Разнотравье представляют манжетка обыкновенная, таволга обыкновенная, земляника зелёная, подмаренник настоящий; бобовые – клевер горный.

На балочных и долинных склонах с деградированными суходольными сенокосами устраивают напашные или ступенчатые террасы по горизонталям местности. Эти террасы засевают бобово-злаковыми травосмесями с размещением на каждой третьей-четвёртой террасе двухрядных древесных кулис с участием рябины обыкновенной, черёмухи обыкновенной, лещины обыкновенной и др.

В садах России для сплошного и чересрядного залужения междурядий могут использовать следующий набор трав: злаковые – райграс пастбищный, мятлик луговой, овсяница красная, ежа сборная, житняк гребневидный, житняк сибирский и житняк узкоколось, тимофеевка луговая, озимая рожь; крестоцветные – озимый рапс и яровой рапс, горчица белая и горчица сарептская; бобовые – люцерна жёлтая, горох полевой и горох посевной, чина луговая, вика мышиная, вика мохнатая озимая и вика посевная яровая.



Дерново-перегнойная и паросидеральная системы содержания междурядий садов и виноградников улучшают водно-физические свойства и пищевой режим почв.

Садозащитные лесные полосы (2–3 ряда) размещают по границам сада и 1–2-рядные лесные полосы – вдоль кварталов, дорог и каналов. С внешней стороны опушечных рядов этих лесных полос размещены закрайки шириной от 1,5 до 2,5 м. На закрайках подавление вторичной сорной растительности целесообразно методом агростепей.

Заключение

Агрофитомелиорация земель – это новая дисциплина, объектом которой являются земли сельскохозяйственных угодий (пашни, залежи, пастбища и сенокосы, многолетние насаждения), а предметом – искусственно созданная на землях сельскохозяйственных угодий система агрофитомелиоративных насаждений, предназначенная для улучшения свойств земель. Элементами этой системы могут быть представители различных форм растительности (кустарники, кустовидные деревья и полукустарники, многолетние, двулетние и однолетние травы).

Конкретную систему агрофитомелиоративных насаждений может представлять одна или несколько форм растительности в зависимости от востребованности полезных функций: устойчивость к эрозионным и дефляционным процессам (почвозащитные севообороты, полосное размещение культур, кулисы из высокостебельных растений и др.), закрепление подвижных песков (кустарниковые посадки шелюги, мелиоративно-кормовые и редкостойно-кустарниковые насаждения и др.), воспроизводство плодородия земель (возделывание бобово-злаковых травосмесей и сидератов), повышение урожайности сельскохозяйственных культур (использование мелиоративных способностей различных форм растительности и др.), видовое разнообразие растений (Перечень видов, определённый Приказом МСХ РФ от 08.02.2024 № 59, обогащённый местными видами), улучшение суходольных сенокосов (на склонах с деградированными суходольными сенокосами устраивают агрофитомелиоративные насаждения).

Кроме этого, агрофитомелиоративные виды используют в кулинарных, медицинских, технических и других целях; для создания агростепей на закрайках лесных полос и др.

Особенно востребованы системы агрофитомелиоративных насаждений на истощённых, нарушенных и эродированных землях сельскохозяйственных угодий: пашне, где фиксируются потери гумуса и активирована эрозия или дефляция; лугах и пастбищах, при исчезновении ценных, в кормовом отношении, видов растений и возникновении неполноценных растительных сообществ; на малоценных по составу или выродившихся естественных и старосеяных травостоях; в садах, где необходимо залужение междурядий.

Список источников

- Ивонин В.М. 2018. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов: учебник. Новочеркасск, Лик, 206 с.
- Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. 2021. Под ред. А.И. Беляева, К.Н. Кулика, А.С. Манаенкова. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН, 68 с.
- О внесении изменений в Федеральный закон "О мелиорации земель" и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 13 июня 2023 г. № 244-ФЗ. Электронный ресурс. URL: <https://rg.ru/documents/2023/06/20/fz244-site-dok.html?ysclid=m2youykky6x903842388> (дата обращения: 1.11.2024).
- Об утверждении Перечня видов агрофитомелиоративных насаждений: Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 08.02.2024 № 59. Электронный ресурс. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402270006?ysclid=m3myvbufc683967061> (дата обращения: 21.11.2024).

Список литературы

- Барабанов А.Т., Кулик А.В. 2019. Эффективность применения кулис из сельскохозяйственных растений в системе стокорегулирующих лесополос. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 1(53): 41–47. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-4>.
- Верховец И.А., Тихойкина И.М., Тучкова Л.Е., Чувашева Е.С., Фандеева Ю.Н. 2021. Сравнительный анализ пашни залежной и обрабатываемой по уровню плодородия. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 9: 20–25.
- Власенко М.В., Сидоров Ю.Н. 2016. Влияние куртинных и мелиоративно-кормовых насаждений на продуктивность аридных пастбищ и методы повышения эффективности их использования. Вестник мясного скотоводства, 1(93): 120–126.
- Гурин А.Г., Ревин Н.Ю. 2021. Изменение ботанического состава бобово-злаковых травостоев в междурядьях яблоневого сада при дерново-перегнойной системе содержания. Зернобобовые и крупяные культуры, 1(37): 120–124. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-120-124>
- Долганова М.В. 2016. Повышение эрозионной устойчивости почв агроландшафтов Брянской области фитомелиоративными мероприятиями. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 115: 173–182.
- Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Авдеенко А.П. 2006. Совместные посевы озимой пшеницы с люцерной – будущее растениеводства. Фундаментальные исследования, 6: 53–56.
- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(39): 68–82. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ивонин В.М. 2021. Мелиорация земель как научная дисциплина. Мелиорация и гидротехника, 11(3): 140–162. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162>
- Ивонин В.М. 2024. Регенеративная агролесомелиорация. Региональные геосистемы, 48(1): 30–44. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44>
- Каипов Я.З., Сафин Х.М. 2019. Бобово-злаковые многолетние травосмеси в биологизации земледелия в степи Южного Урала. Известия Уфимского научного центра РАН, 3: 19–23. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2019-0-3-19-23>
- Курбанов С.А. 2021. Сохранение и повышение плодородия почв – основа увеличения эффективности земледелия Дагестана. Земледелие, 4: 16–20. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10404>
- Назаров Х.Т., Рустамов У.А., Каршибоева Ш.Г. 2021. Способы предотвращения опустынивания пастбищ и обеспечения экологической устойчивости. Экономика и социум, 6–2(85): 108–114.
- Никончик П.И. 2012. Севооборот и воспроизводство плодородия почвы. Результаты 30-летнего стационарного опыта. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 3: 88–98.
- Подлесных И.В., Соловьева Ю.А. 2020. Новый подход в методологии формирования структуры севооборотов с учетом противозерозионной роли сельскохозяйственных культур. Достижения науки и техники АПК, 34(11): 21–25. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>.
- Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Киселева И.В., Емельянов А.Н. 2015. Влияние фитомелиорации на показатели плодородия агрогенных почв приморья. Современные проблемы науки и образования, 5: 639.
- Раков А.Ю., Сирота М.А. 2015. Фитомелиорация – основа охраны почв, повышения эффективности и биологизации сельского хозяйства. Вестник АПК Ставрополя, S2: 147–153.
- Рамазанов Б.Р. 2021. Процессы эрозии, опустынивание в природе и их основные характеристики. Academic research in educational sciences, 2(5): 386–396.
- Ревин Н.Ю., Гурин А.Г. 2021. Изменение структурно агрегатного состояния почвы в междурядьях яблоневого сада при дерново-перегнойной системе содержания. Вестник Аграрной Науки, 1(88): 63–67. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.1.63>
- Турусов В.И., Гармашов В.М., Богатых О.А., Дронова Н.В., Михина Т.И. 2017. Севообороты для эрозионно опасных агроландшафтов Центрального Черноземья. Плодородие, 2(95): 45–48.



- Тютюма Н.В., Булахтина Г.К., Кудряшова Н.И. 2016. Интродуцируемые дикорастущие кормовые растения в обогащении пастбищных экосистем Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 3(43): 60–65.
- Упадышева Г.Ю. 2016. Совершенствование технологии выращивания вишни. Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, 17: 52–54.
- Уртнасан М., Любарский Е.Л., Шийрэв-адъяа С. 2013. Изменения растительности деградированных пастбищ (на примере сомона Алтанбулаг Центрального аймака Монголии). Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География, 4: 123–127.
- Усманов Р.З., Баламирзоев М.А., Котенко М.Е., Бабаева М.А., Осипова С.В. 2010. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы. Юг России: экология, развитие, 5(3): 117–122.
- Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т. 2009. Многолетние травы и плодородие южных черноземов Башкирского Зауралья. Известия Самарского научного центра РАН, 11(1–4): 556–561.
- Хусаинов А.Т., Рафальский П.Е. 2009. Влияние кулис из кукурузы на микроклимат в паровом поле на черноземных почвах Северного Казахстана. Аграрный вестник Урала, 11(65): 77–79.
- Шевченко В.А., Дедова Э.Б., Дедова А.А., Широкова В.А., Шабанов Р.М. 2024. Агрофитомелиорация в борьбе с опустыниванием и деградацией земель аридных территорий. Плодородие, 3: 95–99. <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-95-99>.
- Farmanov T., Mukhtorov A., Mukimov T. 2020. Improvement of Degraded Pastures in the Foothills and Sandy Desert Zone of Uzbekistan by Implementing Best Practices. International Journal of Scientific and Technological Research, 10(6): 143–149. <https://doi.org/10.7176/JSTR/6-10-12>.
- Morrison J.E. 2002. Strip Tillage for “No-Till” Row Crop Production. Applied Engineering in Agriculture, 18(3): 277–284. <https://doi.org/10.13031/2013.8593>.
- Norkulov M.N., Talipov X.M., Ruzmetov, R.A. Muradov M.I., Mukimov T.X., Parpiyev G.T. 2022. Restoration of Degraded Pasture Ecosystems of Dehkanabad Forestry. International journal of multidisciplinary research and analysis, 05(07): 1711–1715. <https://doi.org/10.47191/ijmra/v5-i7-14>.
- Nugmanov A.B., Mamikhin S.V., Valiev Kh.Kh., Bugubaeva A.U., Tokusheva A.S., Tulkubaeva S.A., Bulaev A.G. 2022. Poly-Species Phytocenoses for Ecosystem Restoration of Degraded Soil Covers. Online Journal of Biological Sciences, 22(3): 268–278. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2022.268.278>.

References

- Barabanov A.T., Kulik A.V. 2019. Efficiency of Application of Backstage from Agricultural Plants in the System of the Stocked Regulator of Forest Belts. Izvestiâ Nižnevolžskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Scientific and practical peer-reviewed journal, 1(53): 41–47 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-4>.
- Verkhovets I.A., Tikhoykina I.M., Tuchkova L.E., Chuvashева E.S., Fandeeva Yu.N. 2021. Comparative Analysis of Fallow and Cultivated Arable Land by Fertility Level. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy, 9: 20–25 (in Russian).
- Vlasenko M.V., Sidorov Yu.N. 2016. Influence of Block and Pasture Safeguarding Foresting on Productivity of Arid Pastures and of Efficiency Improvement Methods of Their Use. Herald of Beef Cattle Breeding, 1(93): 120–126 (in Russian).
- Gurin A.G., Revin N.Yu. 2021. Changes in the Botanical Composition of Legume-Grass Stands in the Aisles of an Apple Orchard with a Sod-Humus System of Maintenance. Legumes and Groat Crops, 1(37): 120–124 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-1-120-124>
- Dolganova M.V. 2016. The Increase in the Erosion Resistance of Soils in Agricultural Landscapes of the Bryansk Region Using Phytomeliorative Activities. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University, 115: 173–182 (in Russian).
- Zelenskiy N.A., Zelenskaya G.M., Avdeenko A.P. 2006. Joint Crops of the Winter Wheat with Lucerne – the Future of Plant Growing. Fundamental research, 6: 53–56 (in Russian).



- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*, 3(39): 68–82 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-3-68-82>
- Ivonin V.M. 2021. Land Reclamation as a Branch of Science. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 3(11): 140–162 (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162>
- Ivonin V.M. 2024. Regenerative Agroforest Reclaim. *Regional Geosystems*, 48(1): 30–44 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44>
- Kaipov Ya.Z., Safin H.M. 2019. Legume and Cereal Perennial Grass Mixtures in the Agricultural Biologization within the Steppe Zone of the South Urals. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*, 3: 19–23 (in Russian). <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2019-0-3-19-23>
- Kurbanov S.A. 2021. Preservation and Improvement of Soil Fertility is the Basis for Improving the Farming Efficiency in Dagestan. *Zemledelie*, 4: 16–20 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10404>
- Nazarov H.T., Rustamov U.A., Karshiboeva Sh.G. 2021. Ways to Prevent Pollution in Pastures and Ensure Ecological Sustainability. *Economy and Society*, 6–2(85): 108–114 (in Russian).
- Nikonchik P.I. 2012. Crop Rotation and Soil Fertility Improvement. Results of 30-Year Long-Term Experiment. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 3: 88–98 (in Russian).
- Podlesnykh I.V., Soloveva Yu.A. 2020. A New Approach in the Methodology for the Formation of Crop Rotation Structure Taking Into Account the Anti-Erosion Role of Crops. *Achievements of Science and Technology of AICis*, 34(11): 21–25 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11103>
- Purtova L.N., Kostenkov N.M., Kiseleva I.V., Emelyanov A.N. 2015. The Influence of Phytomelioration on Fertility Indicators of Agrogeogenic Soils of Primorye. *Modern problems of science and education*, 5: 639 (in Russian).
- Rakov A.Yu., Sirota M.A. 2015. Fitomelioratsiya – osnova okhrany pochv. povysheniya effektivnosti i biologizatsii selskogo khozyaystva [Phytomelioration – the Basis for Soil Protection, Increasing Efficiency and Biologization of Agriculture]. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*, S2: 147–153 (in Russian).
- Ramazonov B.R. 2021. Erosion Processes, Desertification in Nature and Their Main Characteristics. *Academic research in educational sciences*, 2(5): 386–396 (in Russian).
- Revin N.Yu., Gurin A.G. 2021. Change in the Structural Aggregate State of the Soil in the Space Rowings of the Apple Garden Under the Sod Humus Content System *Bulletin of agrarian science*, 1(88): 63–67 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.1.63>
- Turusov V.I., Garmashov V.M., Bogatykh O.A., Dronova N.V., Mikhina T.I. 2017. Crop Rotations for Erosion-Threatening Agrolandscapes of the Central Chernozem Region. *Plodorodie*, 2(95): 45–48 (in Russian).
- Tyutyuma N.V., Bulakhtina G.K., Kudryashova N.I. 2016. Introdutsiruyemyye dikorastushchiye kormovyye rasteniya v obogashchenii pastbishchnykh ekosistem Povolzhia [Introduced Wild Forage Plants in Enrichment of Pasture Ecosystems of the Volga Region]. *News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, 3(43): 60–65 (in Russian).
- Upadysheva G.Yu. 2016. On Improvement of Cherry Cultivation Technology. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 17: 52–54 (in Russian).
- Urtnasan M., Lyubarsky E.L., Shiyrev-adyaa S. 2013. Changes in Vegetation of Degraded Pasture. *Bulletin of the Buryat State University. Biology. Geography*, 4: 123–127 (in Russian).
- Usmanov R.Z., Balamirzoev M.A., Kotenko M.E., Babaeva M.A., Osipova S.V. 2010. The Problems of the Fight with Degradation and Desertification Kizlyar Pasture in Connection with Aridization of the Climate and Anthropogenic Effect Influence on Natural Ecologic Systems. *South of Russia: ecology, development*, 3: 117–122 (in Russian).
- Khasanova R.F., Sujundukov Y.T. 2009. Long-Term Grasses and Fertility of Southern Chernozems of Bashkir Zauralye. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 11(1–4): 556–561 (in Russian).
- Husainov A.T., Rafal'skiy P.E. 2009. Influence of Couliresses from Corn on the Microclimate in the Steam Field on Chernozem Soils Northern Kazakhstan. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 11(65): 77–79 (in Russian).



- Shevchenko V.A., Dedova E.B., Dedova A.A., Shirokova V.A., Shabanov R.M. 2024. Agrophytomelioration in the Combat of Desertification and Land Degradation of Arid Areas. *Plodorodie*, 3: 95–99 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-95-99>
- Farmanov T., Mukhtorov A., Mukimov T. 2020. Improvement of Degraded Pastures in the Foothills and Sandy Desert Zone of Uzbekistan by Implementing Best Practices. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 10(6): 143–149. <https://doi.org/10.7176/JSTR/6-10-12>.
- Morrison J.E. 2002. Strip Tillage for “No–Till” Row Crop Production. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(3): 277–284. <https://doi.org/10.13031/2013.8593>.
- Norkulov M.N., Talipov X.M., Ruzmetov, R.A. Muradov M.I., Mukimov T.X., Parpiyev G.T. 2022. Restoration of Degraded Pasture Ecosystems of Dehkanabad Forestry. *International journal of multidisciplinary research and analysis*, 05(07): 1711–1715. <https://doi.org/10.47191/ijmra/v5-i7-14>.
- Nugmanov A.B., Mamikhin S.V., Valiev Kh.Kh., Bugubaeva A.U., Tokusheva A.S., Tulkubaeva S.A., Bulaev A.G. 2022. Poly-Species Phytocenoses for Ecosystem Restoration of Degraded Soil Covers. *Online Journal of Biological Sciences*, 22(3): 268–278. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2022.268.278>.

*Поступила в редакцию 25.11.2024;
поступила после рецензирования 27.12.2024;
принята к публикации 04.02.2025*

*Received November 25, 2024;
Revised December 27, 2024;
Accepted February 04, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ивонин Владимир Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

Воскобойникова Инна Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и лесопаркового хозяйства, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir M. Ivonin, Doctor of Agricultural Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of Forestry and Forest Melioration, Novochoerkassk Engineering and Melioration Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russia

Inna V. Voskoboinikova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Cultures and Forest Park Management, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russia



УДК 504.45 (470.325)

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-69-79

Хозяйственное использование родников Чувашской Республики

Никонорова И.В., Ильин В.Н., Викторов В.В., Никитин А.А., Ильина А.А.

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
Россия, 428003, г. Чебоксары, пр. Московский, 15
niko-inna@yandex.ru, suvar2009@yandex.ru, veniaminviktorov@gmail.com,
andrej6078@gmail.com, nastya67.q@mail.ru

Аннотация. Объектом исследования являются родники Чувашской Республики. Родники региона имеют большое хозяйственное значение. Они используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, для рекреации и охраны уникальных ландшафтов. Интенсивное развитие и отсутствие мер по благоустройству привели к тому, что качество воды в источниках снижается. Ландшафты прилегающих территорий угнетены. Изучение состояния источников проводилось в ходе экспедиционных выездов. В ходе посещений описывались: экологическое состояние источников, отбирались пробы воды для физико-химического анализа. Также описывались тип и интенсивность хозяйственного использования источников для разработки комплекса мер по оптимизации их экологического состояния. Подавляющее большинство изученных родников выделяются качественной водой. Химический состав родниковой воды отличается в зависимости от геологического строения территории: наблюдается увеличение жесткости воды и общей минерализации при движении с севера на юг. Большинство источников Чувашской Республики относятся к малобебитным, пресным, со средней жесткостью воды.

Ключевые слова: химический анализ родниковой воды, тип хозяйственного использования, интенсивность использование родников, реестр родников, каптажные устройства

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского Научного Фонда (проект № 24-27-20133) и Чувашской Республики, <https://rscf.ru/project/24-27-20133/>

Для цитирования: Никонорова И.В., Ильин В.Н., Викторов В.В., Никитин А.А., Ильина А.А. 2025. Хозяйственное использование родников Чувашской Республики. Региональные геосистемы, 49(1): 69–79. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-69-79

Economic Use of Springs in the Chuvash Republic

**Inna V. Nikonorova, Vladimir N. Ilyin, Veniamin V. Viktorov,
Andrey A. Nikitin, Anastasiya A. Ilyina**

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov,
15 Moskovsky Av., Cheboksary 428003, Russia
niko-inna@yandex.ru, suvar2009@yandex.ru, veniaminviktorov@gmail.com,
andrej6078@gmail.com, nastya67.q@mail.ru

Abstract. The object of the study is the springs of the Chuvash Republic. The springs of the region are of great economic importance. They are used for household and drinking water supply, for recreation and protection of unique landscapes. Intensive development and lack of improvement measures have led to a deterioration of the spring water quality. The landscapes of the surrounding territories are oppressed. During field trips, the authors studied the ecological state of the springs and took water samples for physico-chemical analysis. The recreational significance of the sources for developing a set of measures to optimize their use in the economy was also described. The vast majority of springs stand out with high-



quality water. The chemical composition of spring water differs, depending on the geological structure of the territory: there is an increase in water hardness and total mineralization as it moves from north to south. Most springs in the Chuvash Republic are low-flow freshwater with medium water hardness.

Keywords: chemical analysis of spring water, type of economic use, intensity of spring use, spring register, capturing devices

Acknowledgements: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 24-27-20133) and the Chuvash Republic, <https://rscf.ru/project/24-27-20133/>

For citation: Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Viktorov V.V., Nikitin A.A., Ilyina A.A. 2025. Economic Use of Springs in the Chuvash Republic. *Regional geosystems*, 49(1): 69–79 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-69-79

Введение

Чувашская Республика относится к Волго-Камскому артезианскому бассейну, расположенному на Восточно-Европейской равнине. Волго-Камский бассейн выделяется высокой обводненностью водоносных горизонтов. В свою очередь, густое эрозионное расчленение равнины привело к образованию большого количества областей разгрузок водоносных горизонтов – родников. Интенсивное хозяйственное освоение территории Чувашской Республики привело к тому, что родники активно использовались в хозяйственно-питьевых целях. Густая сеть сельских населенных пунктов создавалась у источников питьевой воды, которыми служили в первую очередь родники. Именно поэтому только количество благоустроенных, используемых родников в Чувашской Республике достигает 1500 единиц [Nikonorova et al., 2024]. Таким образом, плотность используемых родников составляет 0,1 единицы на 1 кв. км. Большинство родников активно использовались до внедрения систем центрального водоснабжения. На современном этапе благоустроенные родники выполняют роль альтернативного водоснабжения [Лапина и др., 2014]. Их применяют при поломках водопроводов, при перебоях с электричеством, в засушливые сезоны года. Также в последние десятилетия возросла эколого-культурная роль родников. В Чувашской Республике есть родники – святые источники, особо охраняемые природные территории. Часть родников используется в просветительских целях в качестве станций экологических троп.

Вместе с этим некоторая часть родников находится в критическом экологическом состоянии. Появлению некондиционных родников способствовал комплекс факторов: моральный износ каптажных устройств, интенсивное использование родников, использование не по целевому назначению, хозяйственное освоение близлежащих территорий [Новых, Орехова, 2018; Zhang et al., 2024]. Поэтому вопрос определения экологического состояния родников стоит очень остро.

Объекты и методы исследования

Целью данного исследования является комплексное изучение экологического состояния и интенсивности хозяйственного использования родников Чувашской Республики. Были изучены следующие показатели, описывающие родники: тип хозяйственного освоения, интенсивность хозяйственного использования, экологическое состояние родников, степень благоустроенности родников, физические параметры родников, качество воды в родниках, рекреационный потенциал.

По типу хозяйственного применения родники используются в следующих целях:

- 1) хозяйственно-питьевое водоснабжение;
- 2) святые источники;
- 3) памятники природы;

- 4) эколого-просветительское;
- 5) рекреационное;
- 6) историческое и культурное [Сивохип, 2005; Орехова, Новых, 2017; Новых и др., 2022].

Наиболее распространенными являются родники питьевого и хозяйственного водоснабжения [Боева и др., 2022]. На территории святых источников проводятся религиозные обряды, осуществляются омовения. Эколого-просветительская роль родников заключается в проведении на их территории экскурсий и открытых уроков экологической направленности для школьников и студентов. Памятниками природы являются родники особого природоохранного статуса, выделяющиеся уникальными физико-химическими характеристиками. Они охраняются государством. Рекреационную роль выполняют родники, приуроченные к крупным населенным пунктам, автодорогам. Эти родники снабжены беседками, скамейками, столами, детскими площадками, мангалами. Историческое и культурное значение имеют родники, связанные с выдающимися историческими событиями, фактами. Зачастую на прилегающей к ним территории проводят экскурсии для туристов, взрослого населения [Kurzweil et al., 2021; Hoque et al., 2024].

По интенсивности использования родники делятся на:

- 1) регулярно используемые;
- 2) используемые периодически;
- 3) используемые сезонно;
- 4) используемые редко;
- 5) заброшенные [Stevens et al., 2022; Mohammadi et al., 2024].

Регулярно используемые родники приурочены к сельской местности без водопровода. Периодически используемые – это родники, значение которых увеличивается при поломке водопровода, отсутствии электроснабжения, в засушливые годы и сезоны. Часть родников используется только сезонно – во время крещения, закаливания или пастухами в теплый сезон. К используемым редко относятся родники, качество воды в которых вследствие антропогенного влияния временно ухудшилось. В основном – это родники, расположенные рядом с активной застройкой, животноводческими комплексами, у которых нарушены каптажные устройства. Зброшенными являются родники с полностью устаревшими элементами благоустройства, или расположенные вдали от жилых построек [Плевако и др., 2014; Новых, Раевская, 2022].

Экологическое состояние родников включает оценку качества воды и сохранность ландшафтов прилегающей к родникам территории. По экологической сохранности выделяются родники:

- 1) ненарушенные;
- 2) нарушенные [Ильина и др., 2020; Campbell et al., 2024].

Ненарушенные родники характеризуются высоким качеством воды и сохранностью естественного состояния прилегающих ландшафтов. Нарушенные родники выделяются превышением одного или нескольких показателей химического состава от допустимых нормативами значений, ухудшением экологического состояния прилегающей к родникам территории [Fernández-Ortega et al., 2024; Filipović et al., 2024].

В качестве основных физических показателей родниковой воды описывались температура воды и дебит родника. Кроме этого, отдельно определялись местоположение, тип родника (восходящий или нисходящий) [Bozau et al., 2024; Yan et al., 2024].

Среди химических показателей были описаны: содержание хлоридов, нитритов, нитратов, натрия, аммония, железа, сульфатов, водородный показатель, общая жесткость.

Результаты и их обсуждение

В ходе полевых экспедиционных исследований и сбора анкетных данных среди местного населения был собран фактический материал по 55 родникам Чувашской Респуб-

лики. Паспортизация родников включала сбор физических параметров, химический анализ родниковой воды, описание экологического состояния прилегающей территории. Анализ показал, что 51 родник (92 %) является нисходящим. Остальные родники относятся в восходящим. Остальные физические показатели зависят от уровня благоустройства родников.

Температура родниковой воды колеблется от 4 до 12 °С. Средняя температура воды по родникам оставила 7–8 °С. Наличие каптажных устройств, длинных желобов и труб ведет к незначительному повышению температуры воды.

По величине расхода родники делятся на высокодебитные, среднедебитные и малодебитные. 51 родник из 55 относится к малодебитным (92 %). Лишь 4 родника из исследованных относятся к среднедебитным. Высокодебитных родников обнаружено не было. Средний дебит родников Чувашии составляет 0,2–0,4 л/с.

На территории региона преобладают родники, используемые для питьевого водоснабжения. Все изученные родники благоустроивались и осваивались в первую очередь для последующего использования в питьевых целях. Часть исследованных родников имеет особый природоохранный или культурный статус.

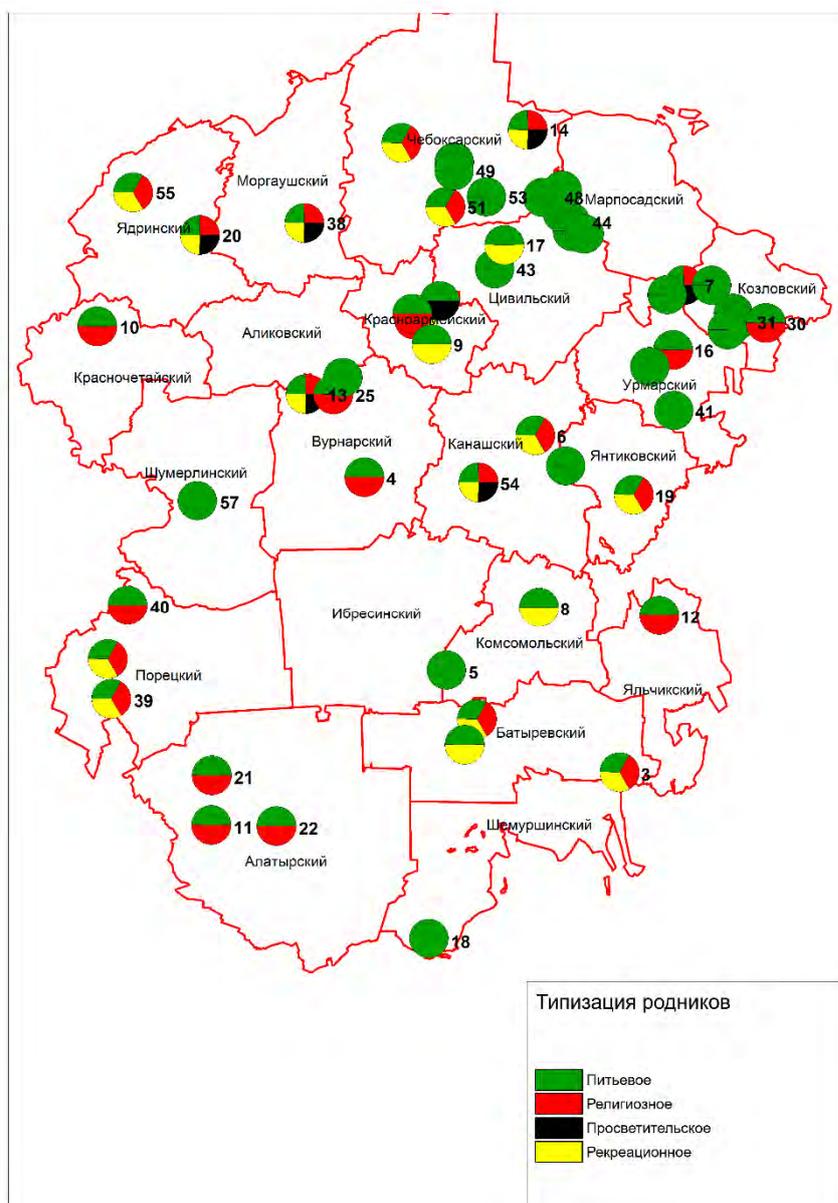


Рис. 1. Использование родников Чувашской Республики
 Fig. 1. Using the springs of the Chuvash Republic

Около 100 родников по Чувашской Республике освящены и относятся к святым источникам (к примеру, № 3, 4, 6 и т. д.). Такие родники относительно равномерно распределены по территории региона, имеют наилучшие показатели благоустроенности и экологического состояния. Они используются местными жителями для религиозных обрядов, омовений.

Отдельно выделяются родники, относящиеся к памятникам природы (к примеру, № 7 – Байгуловский родник). Они имеют природоохранный статус вследствие уникальных гидрологических или химических показателей. Природоохранный статус запрещает любую хозяйственную деятельность, которая может привести к ухудшению экологической обстановки на прилегающей к родникам территории. В Чувашской Республике выделяются 19 подобных родников.

Часть родников используется учителями, воспитателями и экологами для эколого-просветительских целей (к примеру, № 35 – д. Задние Карыки Красноармейского МО). Они являются станциями экологических троп.

Наличие таких элементов благоустройства, как дорожки, скамейки, навесы и мангалы привлекают к родникам местное население и туристов. Часть родников (к примеру, № 8 – д. Малые Кошелеи Комсомольского МО) целенаправленно благоустраивалась для рекреационных целей. Именно такие родники испытывают максимальную антропогенную нагрузку.

Лишь около 75 % родников используются в регионе регулярно – ежедневно. Около 20 % родников используются периодически – в случае нехватки водопроводной воды и отсутствия электричества, в религиозных обрядах. В ходе полевых выездов были определены родники, которые используются сезонно – в летнее время пастухами или для водопоя скота. Это родники №№ 45–46 д. Тожможары Цивильского МО, родники Шемуршинского МО. Несколько родников являются полностью заброшенными. Родник с. Тогаево Мариинско-Посадского МО имеет разрушенную каптажную систему. Родник д. Карабаши Мариинско-Посадского МО используется для водопоя скота. Доля полностью заброшенных родников составляет примерно 4 % от общего числа.

Химический анализ родниковой воды проводился с использованием Ранцевой левой лаборатории исследования водоемов «НКВ-Рм». Всего анализировалось 10 химических показателей. Водородный показатель рН во всех полученных образцах не превышает допустимые значения (от 6,9 до 7,5). Общая минерализация родниковой воды по Чувашской Республике варьирует от 0,07 г/л до 0,6 г/л при допустимом пороге 1,5 г/л. Вода ультрапресная и пресная. При движении с севера на юго-восток наблюдается постепенное увеличение общей жесткости воды (рис. 2). Повышение значений общей минерализации и жесткости связано с последовательной сменой водоносных горизонтов, из которых осуществляется разгрузка в виде нисходящих и восходящих родников. Средние показатели жесткости воды по региону составляют 5–7 мг-экв/л. На крайнем юго-востоке величина жесткости возрастает до 11 мг-экв/л (при допустимых 10 мг-экв/л). В исследованных пробах не было выявлено превышения показателей ионов натрия, нитратов и нитритов. Превышение показателей аммония, железа, сульфатов и хлоридов наблюдаются точно. Из некондиционных родников преобладают те, в которых наблюдается превышение показателей аммония. Это родники, расположенные близко к животноводческим комплексам, хозяйственным постройкам. Их доля не превышает 6 % от общего количества исследованных родников. Также выделяются отдельные родники, в которых наблюдаются превышения сульфатов и хлоридов (родник д. Ивановково Ядринского МО), ионов железа (родник д. Акшики Мариинско-Посадского МО), общей жесткости (родник д. Бичурга-Баишево Шемуршинского МО). Исследования подтвердили, что качество воды в подавляющем большинстве родников соответствует необходимым требованиям.

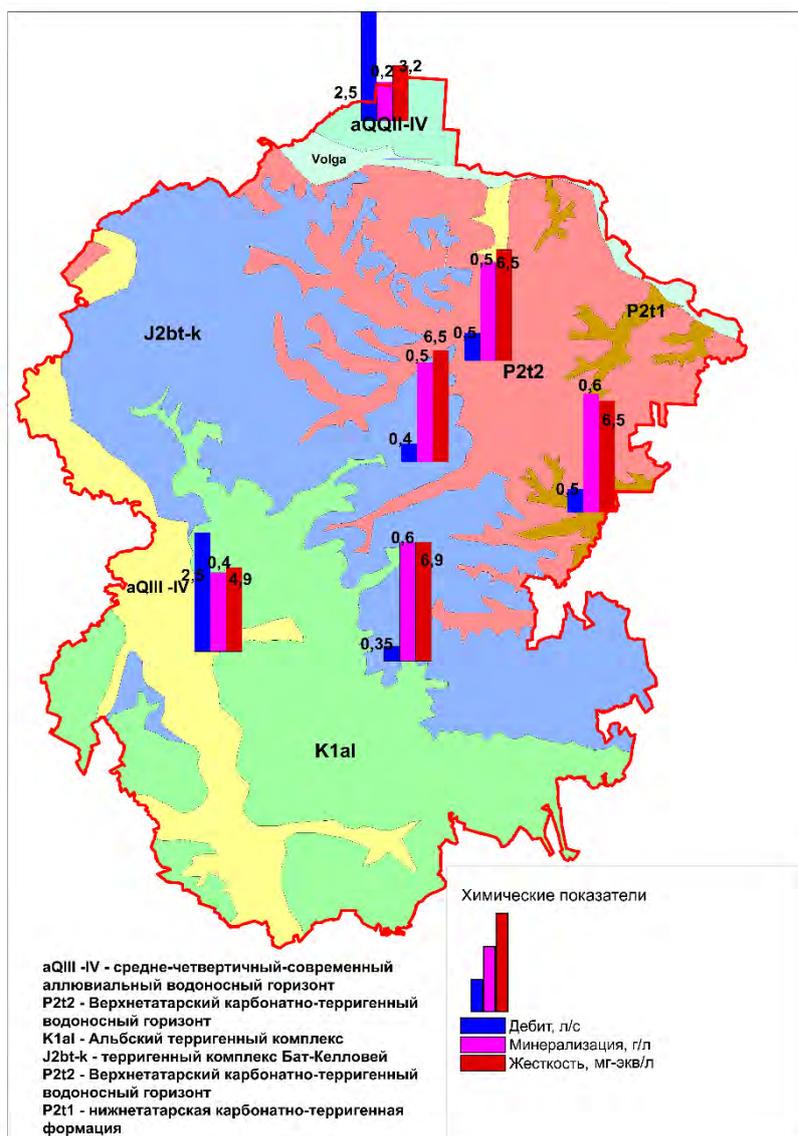


Рис. 2. Районирование Чувашской Республики по основным параметрам родников
 Fig. 2. Zoning of the Chuvash Republic according to the main parameters of springs

78 % исследованных родников находятся в удовлетворительном состоянии. Они относятся к ненарушенным. К частично или полностью нарушенным можно отнести около 13 родников. В большинстве случаев, это заброшенные родники. Отсутствие надзора приводит к тому, что каптажные устройства не защищены забором. Частой проблемой является износ водосборных емкостей, труб.

Данные полевых исследований и анализ гидрогеологической карты Чувашской Республики позволили провести районирование родников по трем показателям: дебиту, минеральному составу, жесткости воды (см. рис. 2).

Также можно отметить, что количество родников (благоустроенных и неблагоустроенных) уменьшается при движении с севера на юг. Уменьшение общего количества родников к югу объясняется уменьшением эрозионного расчленения территории. Уменьшение количества благоустроенных родников связано с уменьшением плотности сельских населенных пунктов в направлении с севера на юг.

В городских поселениях доля нарушенных источников выше [Anjum et al., 2024; Mohammadi et al., 2024]. Интенсивное городское строительство приводит к деградации источников. Например, свайное строительство в Чебоксарах привело к снижению расхода

воды в роднике на «Площади речников» в 7 раз и к полному исчезновению родника при строительстве торгового комплекса «Каскад» за Центральным домом творчества и молодежи Чебоксар. Засорение прилегающих территорий снижает качество воды (источник в Безнадежном овраге, Новосельские источники в Чебоксарах).

Деградация источников в сельской местности происходит из-за скотоводства, эрозии почвы и смывания удобрений с полей. Выделенные процессы могут привести к повышению уровня содержания аммония и нитратов.

Заключение

Приуроченность к Волжско-Камскому артезианскому бассейну и высокая эрозийная расчлененность Чувашской Республики привели к образованию многочисленных источников. Густая сеть сельских населенных пунктов способствовала активному благоустройству и использованию источников для питья и других целей. Большинство источников Чувашской Республики относятся к малодебитным (средний дебит – 0,2–0,4 л/с), пресным (средние показатели сухого остатка – 0,2–0,6 г/л). Общая жесткость родниковой воды колеблется от 3,2 до 11 мг-экв/л. Изначально источники использовались только для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В последнее время возрастает религиозная, экологическая, образовательная и рекреационная роль источников. 49 % из исследованных 55 родников используются в религиозных целях, 31 % – в рекреационных целях, 10 % – в просветительских целях. К примеру, общее количество святых источников на территории региона за последние 20 лет увеличилось почти в 3 раза (с 35 до 94 родников). Образовательными учреждениями дошкольного и школьного образования в последние 10 лет активно ведется работа по разработке экологических троп к родникам: Красноармейский, Вурнарский, Ядринский, Чебоксарский, Канашский и Козловский муниципальные округа. Увеличение благоустроенных мест отдыха рядом с родниками подтверждает заинтересованность населения региона в использовании их в рекреационных целях. Прилегающие к родникам территории стали площадкой для проведения культурно-массовых мероприятий: экологический фестиваль «Черные ключи» Янтиковского МО, патриотический форум «Камаево поле» Ибресинского МО. Однако массовые мероприятия усиливают антропогенную нагрузку на родники: происходит вытаптывание прилегающих территорий, замусоривание, износ каптажных и защитных сооружений. Это приводит к увеличению числа некачественных, нарушенных источников. Они отличаются как отсутствием защитной ограды для ограничения доступа к каптажным устройствам, так и разрушением самих каптажных устройств. В целях оптимизации хозяйственного использования источников и улучшения экологического состояния рекомендуется создание единого реестра родников, включающего сводную информацию о физических параметрах, химическом составе и экологическом состоянии территорий, прилегающих к источникам. Это облегчит принятие решений по благоустройству источников и улучшит надзор за их экологическим состоянием.

Список литературы

- Боева А.С., Прожорина Т.И., Клепиков О.В., Щербинина С.В. 2022. Геоэкологическая оценка состояния родников на территории Воронежской области. Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология, 1: 103–112. <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9091>.
- Ильина В.Н., Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. 2020. К инвентаризации и характеристике родников Камышлинского района Самарской области. Международный научно-исследовательский журнал, 3–1 (93): 116–119. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.018>
- Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряхова В.В. 2014. Родники долины верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь, ООО «Купол», 256 с.



- Новых Л.Л., Орехова Г.А. 2018. Геоэкологические особенности формирования родников в верховьях бассейнов рек Северский Донец и Ворскла. В кн.: Эколого-географические исследования в речных бассейнах. Материалы 5 международной научно-практической конференции. Воронеж, 5–7 октября 2018. Воронеж, НАУКА-ЮНИПРЕСС: 220–224.
- Новых Л.Л., Раевская М.В., Орехова Г.А. 2022. Некоторые особенности использования родников (на примере Белгородской области). Региональные геосистемы, 46(4): 624–634. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-624-634>.
- Новых Л.Л., Раевская М.В. 2022. Основные подходы, некоторые особенности использования и изучения родников в мировой практике. В кн.: Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения. Материалы I Международной научно-практической конференции. Астрахань, 19–21 мая 2022. Астрахань, Астраханский государственный университет: 18–23.
- Орехова Г.А., Новых Л.Л. 2017. Природное разнообразие родников верховий бассейнов рек Северский Донец и Ворскла. Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Естественные Науки, 18(267): 131–139.
- Плевако Л.С., Леонова А.Е., Зверева А.Ю., Анищенко Л.Н. 2014. Экологическое состояние родников (на примере Брянской области). Вестник Брянского государственного университета, 4: 155–160.
- Сивохиб Ж.Т. 2005. Родниковое районирование и использование его результатов при оценке рекреационного потенциала территории (на примере Оренбургской области). Поволжский экологический журнал, 2: 158–166.
- Anjum M., Siddique N., Younis H., Faiz Y., Shafique M.A., Mahnoor, Abbas A., Younas M. 2024. Chemometric Evaluation, Source Apportionment, and Health Risk Analysis of Natural Spring Water in Murree, Outer Himalayas. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 10: 100195. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100195>
- Bozau E., Schäfer T., Licha T. 2024. Spring Water Monitoring in the Upper Harz Mountains: Precipitation, Runoff and Specific Electrical Conductivity. *Science of the Total Environment*, 939: 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173565>
- Campbell A.G., Cartwright I., Cendón D.I., Currell M.J. 2024. Multiple Isotope Tracers Reveal the Sources of Water Sustaining Ecologically and Culturally Significant Springs, and Their Vulnerability to Mining Development. *Journal of Hydrology*, 645: 132078. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132078>
- Fernández-Ortega J., Ulloa-Cedamanos F., Barberá J.A., Batiot-Guilhe Ch., Jourde H., Andreo B. 2024. A Common Framework for the Development of Spring Water Contamination Early Warning System in Western Mediterranean Karst Areas: Spanish and French Sites. *Science of the Total Environment*, 956: 177294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177294>
- Filipović M., Terzić J., Reberski J.L., Vlahović I. 2024. Dataset on Hydrogeochemical Characteristics of Spring and Surface Waters in the Complex Karst Catchment Area of Southern Dalmatia (Croatia) and Western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Data in Brief*, 57: 111173. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111173>
- Hoque M.A., Amponsah K.B., Blum A., Walton N., Dennis P., Butler A.P., Hugman S., Bamberger A., Fowler M. 2024. The Origin and Water Quality of Spring Systems in Monchique, Portugal: A Focus on Long-Term Sustainability and Elevated Sodium Levels. *Journal of Hydrology*, 637: 131363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131363>
- Kurzweil J.R., Abdi R., Stevens L., Hogue T.S. 2021. Utilization of Ecological Indicators to Quantify Distribution and Conservation Status of Mt. Tamalpais Springs, Marin County, California. *Ecological Indicators*, 125: 107544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107544>
- Mohammadi Z., Claes H., Cappuyns V., Nematollahi M.J., Helser, J., Amjadian K., Swennen R. 2021. High Geogenic Arsenic Concentrations in Travertines and Their Spring Waters: Assessment of the Leachability and Estimation of Ecological and Health Risks. *Journal of Hazardous Materials*, 409: 124429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124429>

- Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Ilyina A.A., Nikitin A.A. 2024 Increasing the Ecological and Recreational Importance of the Springs of the Chuvash Republic. *BIO Web of Conferences*, 16: 03013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411600001>
- Stevens L.E., Aly A.A., Arpin S.M., Apostolova I., Ashley G.M., Barba P.Q., Barquín J., Beauger A., Benaabidate L., Bhat S.U., Bouchaou L., Cantonati M., Carroll T.M., Death R., Dwire K.A., Felipe M.F., Fensham R.J., Fryar A.E., Garsaball R.P., Gjoni V., Glazier D.S., Goldscheider N., Gurrieri J.T., Guðmundsdóttir R., Guzman A.R., Hájek M., Hassel K., Heartsill-Scalley T., Herce J.S., Hinterlang D., Holway J.H., Ilmonen J., Jenness J., Kapfer J., Karaouzas I., Knight R.L., Kreiling A.-K., Lameli Ch.H., Ledbetter J.D., Levine N., Lyons M.D., Mace R.E., Mentzafou A., Marle P., Moosdorf N., Norton M.K., Pentecost A., Pérez G.G., Perla B., Saber A.A., Sada D., Segadelli S., Skaalsveen K., Springer A.E., Swanson S.K., Schwartz B.F., Sprouse P., Tekere M., Tobin B.W., Tshibalo E.A., Voltaire O. 2022. The Ecological Integrity of Spring Ecosystems: A Global Review. *The Encyclopedia of Conservation*, Elsevier: 436–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00111-2>
- Yan Ch., Gu Y., Li P., Zhai F., Liu C., He Sh., Li J., Wu W. 2024. Bi-Layered Spring-Neap Variability of Water Masses in Estuaries and the Impact of Human Activities. *Water Research*, 266: 122413. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122413>
- Zhang N., Zhang Y., Jiao F., Liu Ch., Shi J., Gao W. 2024. Effects of Spring Water Sounds on Psychophysiological Responses in College Students: An EEG Study. *Applied Acoustics*, 228: 110318. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.110318>

References

- Boeva A.S., Prozhorina T.I., Klepikov O.V., Shcherbinina S.V. 2022. Geoecological Assessment of the Springs Condition in the Voronezh Region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1: 103–112 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9091>
- Ilyina V.N., Kazantsev I.V., Matveeva T.B. 2020. About Inventory Procedures and Features of Springs in Kamyshlinsky District of Samara Region. *International Research Journal*, 3–1 (93): 116–119 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.018>
- Lapina E.E., Ahmeteva N.P., Kudryahova V.V. 2014. *Rodniki doliny verhnej Volgi i ee pritokov: usloviya formirovaniya, rezhim, ohrana* [Springs of the Upper Volga Valley and Its Tributaries: Conditions of Formation, Regime, Protection]. Tver, Publ. OOO «Kupol», 256 p.
- Novykh L.L., Orekhova G.A. 2018. Geological Features of the Formation of Springs in the Upper Basins of the Rivers Seversky Donets and Vorskla. In.: *Ecological and geographic researches of river basins. Materials of 5 international scientific conference. Voronezh, 5–7 October 2018. Voronezh*, Publ. NAUKA-YUNIPRESS: 220–224 (in Russian).
- Novykh L.L., Raevskaya M.V., Orekhova G.A. 2022. Some Types of Spring Use (Belgorod Region). *Regional Geosystems*, 46(4): 624–634 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-624-634>
- Novykh L.L., Raevskaya M.V. 2022. Key Approaches to the Spring Investigation in the World and Main Types of Spring Usage. In: *Environmental Management: from the Past to Nowadays. Kurazhkovsky Readings. Materials of I international scientific conference. Astrakhan, 19–21 May 2022. Astrakhan*, Publ. Astrakhanskiy gosudarstvennyy universitet: 18–23 (in Russian).
- Orekhova G.A., Novykh L.L. 2017. Natural Diversity of the Springs in the Upper Basins of the Seversky Donets and Vorskla Rivers. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*, 18(40): 131–139 (in Russian).
- Plevako L.S., Leonova A.E., Zvereva A.Yu., Anishchenko L.N. 2014. The Ecological Condition of the Springs (Bryansk Region). *The Bryansk State University Herald*, 4: 155–160 (in Russian).
- Sivokhip Zh.T. 2005. Spring Division Into Districts and Its Usage at Estimating the Recreational Potential of a Territory (with the Orenburg Region as an Example). *Volga Ecological Journal*, 2: 158–166 (in Russian).



- Anjum M., Siddique N., Younis H., Faiz Y., Shafique M.A., Mahnoor, Abbas A., Younas M. 2024. Chemometric Evaluation, Source Apportionment, and Health Risk Analysis of Natural Spring Water in Murree, Outer Himalayas. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 10: 100195. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100195>
- Bozau E., Schäfer T., Licha T. 2024. Spring Water Monitoring in the Upper Harz Mountains: Precipitation, Runoff and Specific Electrical Conductivity. *Science of the Total Environment*, 939: 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173565>
- Campbell A.G., Cartwright I., Cendón D.I., Currell M.J. 2024. Multiple Isotope Tracers Reveal the Sources of Water Sustaining Ecologically and Culturally Significant Springs, and Their Vulnerability to Mining Development. *Journal of Hydrology*, 645: 132078. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132078>
- Fernández-Ortega J., Ulloa-Cedamano F., Barberá J.A., Batiot-Guilhe Ch., Jourde H., Andreo B. 2024. A Common Framework for the Development of Spring Water Contamination Early Warning System in Western Mediterranean Karst Areas: Spanish and French Sites. *Science of the Total Environment*, 956: 177294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177294>
- Filipović M., Terzić J., Reberski J.L., Vlahović I. 2024. Dataset on Hydrogeochemical Characteristics of Spring and Surface Waters in the Complex Karst Catchment Area of Southern Dalmatia (Croatia) and Western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina). *Data in Brief*, 57: 111173. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111173>
- Hoque M.A., Amponsah K.B., Blum A., Walton N., Dennis P., Butler A.P., Hugman S., Bamberger A., Fowler M. 2024. The Origin and Water Quality of Spring Systems in Monchique, Portugal: A Focus on Long-Term Sustainability and Elevated Sodium Levels. *Journal of Hydrology*, 637: 131363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131363>
- Kurzweil J.R., Abdi R., Stevens L., Hogue T.S. 2021. Utilization of Ecological Indicators to Quantify Distribution and Conservation Status of Mt. Tamalpais Springs, Marin County, California. *Ecological Indicators*, 125: 107544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107544>
- Mohammadi Z., Claes H., Cappuyns V., Nematollahi M.J., Helser, J., Amjadian K., Swennen R. 2021. High Geogenic Arsenic Concentrations in Travertines and Their Spring Waters: Assessment of the Leachability and Estimation of Ecological and Health Risks. *Journal of Hazardous Materials*, 409: 124429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124429>
- Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Ilyina A.A., Nikitin A.A. 2024 Increasing the Ecological and Recreational Importance of the Springs of the Chuvash Republic. *BIO Web of Conferences*, 16: 03013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411600001>
- Stevens L.E., Aly A.A., Arpin S.M., Apostolova I., Ashley G.M., Barba P.Q., Barquín J., Beauger A., Benaabidate L., Bhat S.U., Bouchaou L., Cantonati M., Carroll T.M., Death R., Dwire K.A., Felipe M.F., Fensham R.J., Fryar A.E., Garsaball R.P., Gjoni V., Glazier D.S., Goldscheider N., Gurrieri J.T., Guðmundsdóttir R., Guzman A.R., Hájek M., Hassel K., Heartsill-Scalley T., Hecce J.S., Hinterlang D., Holway J.H., Ilmonen J., Jenness J., Kapfer J., Karaouzas I., Knight R.L., Kreiling A.-K., Lameli Ch.H., Ledbetter J.D., Levine N., Lyons M.D., Mace R.E., Mentzafou A., Marle P., Moosdorf N., Norton M.K., Pentecost A., Pérez G.G., Perla B., Saber A.A., Sada D., Segadelli S., Skaalsveen K., Springer A.E., Swanson S.K., Schwartz B.F., Sprouse P., Tekere M., Tobin B.W., Tshibalo E.A., Voltaire O. 2022. The Ecological Integrity of Spring Ecosystems: A Global Review. *The Encyclopedia of Conservation*, Elsevier: 436–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00111-2>
- Yan Ch., Gu Y., Li P., Zhai F., Liu C., He Sh., Li J., Wu W. 2024. Bi-Layered Spring-Neap Variability of Water Masses in Estuaries and the Impact of Human Activities. *Water Research*, 266: 122413. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122413>
- Zhang N., Zhang Y., Jiao F., Liu Ch., Shi J., Gao W. 2024. Effects of Spring Water Sounds on Psychophysiological Responses in College Students: An EEG Study. *Applied Acoustics*, 228: 110318. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.110318>



*Поступила в редакцию 05.12.2024;
поступила после рецензирования 10.01.2025;
принята к публикации 11.02.2025*

*Received December 05, 2024;
Revised January 10, 2025;
Accepted February 11, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никонорова Инна Витальевна, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Ильин Владимир Николаевич, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Викторов Вениамин Вячеславович, студент, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Никитин Андрей Алексеевич, студент, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Ильина Анастасия Андреевна, аспирант, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Inna V. Nikonorova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Geography and Geomorphology, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Vladimir N. Ilyin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Geomorphology, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Veniamin V. Viktorov, student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Andrey A. Nikitin, student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Anastasiya A. Ilyina, postgraduate student, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia



УДК 911.9 +574.5

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-80-92

Оценка общего гидроэкологического состояния малых рек Белгородской области

¹Киселев В.В., ²Корнилова Е.А.

¹Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
vladislav_kiselev_93@mail.ru, kornilova@bsuedu.ru

Аннотация. В данной статье приведён обзор гидроэкологической ситуации малых рек Белгородской области в различных антропофункциональных зонах (по данным Росгидромета). Рассмотрен комплекс гидрохимических загрязнителей на каждом из исследуемых створов малых рек и выявлено влияние основных источников антропогенной нагрузки. По данным комплексного комбинированного показателя степени загрязнённости поверхностных вод (УКИЗВ) показан положительный тренд загрязнённости исследуемых рек, что говорит об общем ухудшении качества поверхностных вод региона. Установлено, что в различных функциональных зонах нагрузка по рассматриваемым гидрохимическим показателям дифференцируется в зависимости от преобладающего источника антропогенного воздействия на малые реки. Наибольшие уровни загрязнения характерны для створов, находящихся в зоне влияния высокоурбанизированных ландшафтов с преобладанием городских и селитебно-промышленных стоков (реки Болховец, Осколец, Ворскла, Белгородское водохранилище), где рост показателей достигает 25–30 % за исследуемый период. По остальным створам наблюдаются дифференцированная динамика загрязняющих веществ (в пределах 10–15 %) и пиковый характер их проявления, что вероятно связано с производственными циклами в области агропромышленного комплекса региона, а также возможными залповыми сбросами.

Ключевые слова: гидрохимическое загрязнение, селитебно-промышленные стоки, малые реки, сельскохозяйственное воздействие, антропогенная нагрузка, водная среда

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2025-0006.

Для цитирования: Киселев В.В., Корнилова Е.А. 2025. Оценка общего гидроэкологического состояния малых рек Белгородской области. Региональные геосистемы, 49(1): 80–92. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-80-92

Assessment of the General Hydroecological Condition of Small Rivers in the Belgorod Region

¹Vladislav V. Kiselev, ²Eugenia A. Kornilova

¹Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St, Belgorod 308023, Russia

²Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

vladislav_kiselev_93@mail.ru, kornilova@bsuedu.ru

Abstract. This article provides an overview of the hydroecological situation of small rivers in the Belgorod region in various anthropofunctional zones (according to the Federal Hydrometeorological Service). The authors study a combination of hydrochemical pollutants at each of the studied gauging points on small rivers. The influence of the main sources of anthropogenic load is shown. An integrated combined indicator

© Киселев В.В., Корнилова Е.А., 2025

of surface water contamination degree (CIWPI) reveals a positive trend in the pollution of the studied rivers, which indicates a general deterioration in the quality of the region's surface waters. It has been established that in different functional zones, the load on the hydrochemical indicators under consideration is differentiated depending on the predominant source of anthropogenic impact on small rivers. The highest levels of pollution are typical for sites located in the zone of influence of highly urbanized landscapes with a predominance of urban and residential-industrial runoff (the Bolkhovets, the Oskolets, the Vorskla rivers, and Belgorod reservoir), where the growth rate reaches 25–30 % over the study period. For the remaining reservoirs, there is a differentiated dynamics of pollutants (within 10–15 %) and the peak nature of their manifestation, which is probably related to production cycles in the agro-industrial complex of the region, as well as possible salvo discharges.

Keywords: hydrochemical pollution, residential and industrial effluents, small rivers, agricultural impact, anthropogenic load, water environment

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2025-0006

For citation: Kiselev V.V., Kornilova E.A. 2025. Assessment of the General Hydroecological Condition of Small Rivers in the Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 49(1): 80–92 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-80-92

Введение

Белгородская область является густонаселённым регионом. При этом, высокая плотность населения (около 55 человек на км²) сочетается здесь с активной хозяйственной деятельностью. Особенно стоит отметить развитие в регионе предприятий горнодобывающей промышленности, а также, что является отличительной чертой последних лет, животноводческой отрасли интенсивного агропромышленного комплекса.

По многим отраслям производства Белгородская область занимает в России лидирующие позиции, стабильно обеспечивая внутрисоссийский рынок собственной продукцией, а также экспортируя её за рубеж. При этом в результате этих процессов возникают различные издержки, в том числе экологического характера, так как под сопутствующий производству антропогенный пресс попадают все компоненты природной среды. В особенности негативному влиянию подвержены малые реки региона. Ввиду малой водной обеспеченности эта проблема является одной из основных в регионе и требует особого внимания и детального изучения [Lisetskii et al., 2014; Дегтярь, 2005; Дмитриева, 2010; Ермолаев и др., 2023].

В последние годы публикуется значительное количество работ, в которых поднимается проблематика загрязнения водной среды России и Белгородской области в целом [Коронкевич и др., 2018; Ясинский, Сидорова, 2018; Buryak et al., 2022, Корнилова и др., 2023], и малых рек в частности [Кумани, Бабкина, 2005; Природные ресурсы ..., 2005; Георгиади и др., 2014; Лисецкий и др., 2015]. В основном учёными уделяется внимание экологическому мониторингу рек в зоне влияния горнодобывающей промышленности [Колмыков, 2008; Чепелев и др., 2014]. Также рассматривается влияние сельскохозяйственной отрасли на экологическое состояние поверхностных вод [Корнилов и др., 2023; Киселев и др., 2024], в особенности в части интенсивного животноводства [Киселев, Корнилов, 2019; Буряк, 2023].

В данной работе мы бы хотели уделить внимание общему гидрохимическому обзору малых рек региона в различных антропофункциональных зонах с соответствующей им антропогенной нагрузкой на водную среду. Это позволит дать общее представление о гидроэкологическом и гидрохимическом состоянии поверхностных вод Белгородской области для последующего экологического мониторинга водной среды.



Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются малые реки Белгородской области в пределах различных функциональных зон с расположенными на них створами Росгидромета (рис. 1 и табл. 1): р. Ворскла, р. Болховец, р. Оскол, р. Тихая Сосна, р. Осколец, р. Северский Донец (в том числе Белгородское водохранилище), р. Короча, р. Нежеголь. Период исследования составил 15 лет (с 2008 по 2023 г.) [Ежегодники качества..., 2024].

Таблица 1
Table 1

Характеристика качества воды в исследуемых створах в 2023 году
 (реки Ворскла, Нежеголь и Оскол в створе с. Пятницкое – 2022 год)
 Characteristics of water quality in the studied gauging sites in 2023
 (the Vorskla, the Nezhegol and the Oskol rivers in in the Pyatnitskoe gauging section – 2022)

№ на карте	Река	Створ Росгидромета	Основной источник антропогенной нагрузки	Класс качества воды	Основные загрязнители
1	Северский Донец	Белгородское водохранилище	Селитебно-промышленный комплекс	Грязная – 4а	NO_2^- , Cu, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , БПК ₅ , Mn^+ , Fe, NO_3^-
2	Северский Донец	с. Беломестное	Сельские агроландшафты, свинокомплексы	Загрязненная – 3а	NO_2^- , Cu, SO_4^{2-} , БПК ₅
3	Ворскла	с. Козинка	Селитебно-промышленный кластер, сельскохозяйственные угодья	Грязная – 4а	Fe, NO_2^- , Cu, PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , БПК ₅ , NH_4^+ , Mg
4	Болховец	г. Белгород	Неканализованный частный сектор, поверхностный сток урбанизированных территорий	Грязная – 4а	NO_2^- , Cu, SO_4^{2-} , БПК ₅ , Mn, NH_4^+ , Fe
5	Оскол	с. Ивановка	Селитебно-горнопромышленный фон (25 км ниже г. Ст. Оскол), сельские агроландшафты	Грязная – 4а	NO_2^- , Cu, PO_4^{3-} , БПК ₅ , Mn, Fe, NH_4^+
6	Осколец	с. Николаевка (9,0 км ниже г. Губкин)	Селитебно-промышленный сток	Очень загрязненная – 3б	NO_2^- , Cu, БПК ₅ , Mn, Fe, SO_4^{2-}
7	Короча	1,5 км выше г. Короча	Интенсивный агропромышленный комплекс	Загрязненная – 3а	NO_2^- , Cu, БПК ₅ , NH_4^+
8	Нежеголь	16 км выше г. Шебекино	Интенсивный агропромышленный комплекс	Загрязненная – 3а	Cu, БПК ₅ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_2^-
9	Оскол	с. Пятницкое	Дальний селитебно-горнопромышленный фон, селитебный неканализованный сток	Очень загрязненная – 3б	NO_2^- , Cu, SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Mn, БПК ₅ , NH_4^+
10	Тихая Сосна	с. Ильинка	Селитебный неканализованный сток	Загрязненная – 3а	PO_4^{3-} , Cu, NO_2^- , Fe, SO_4^{2-} , БПК ₅

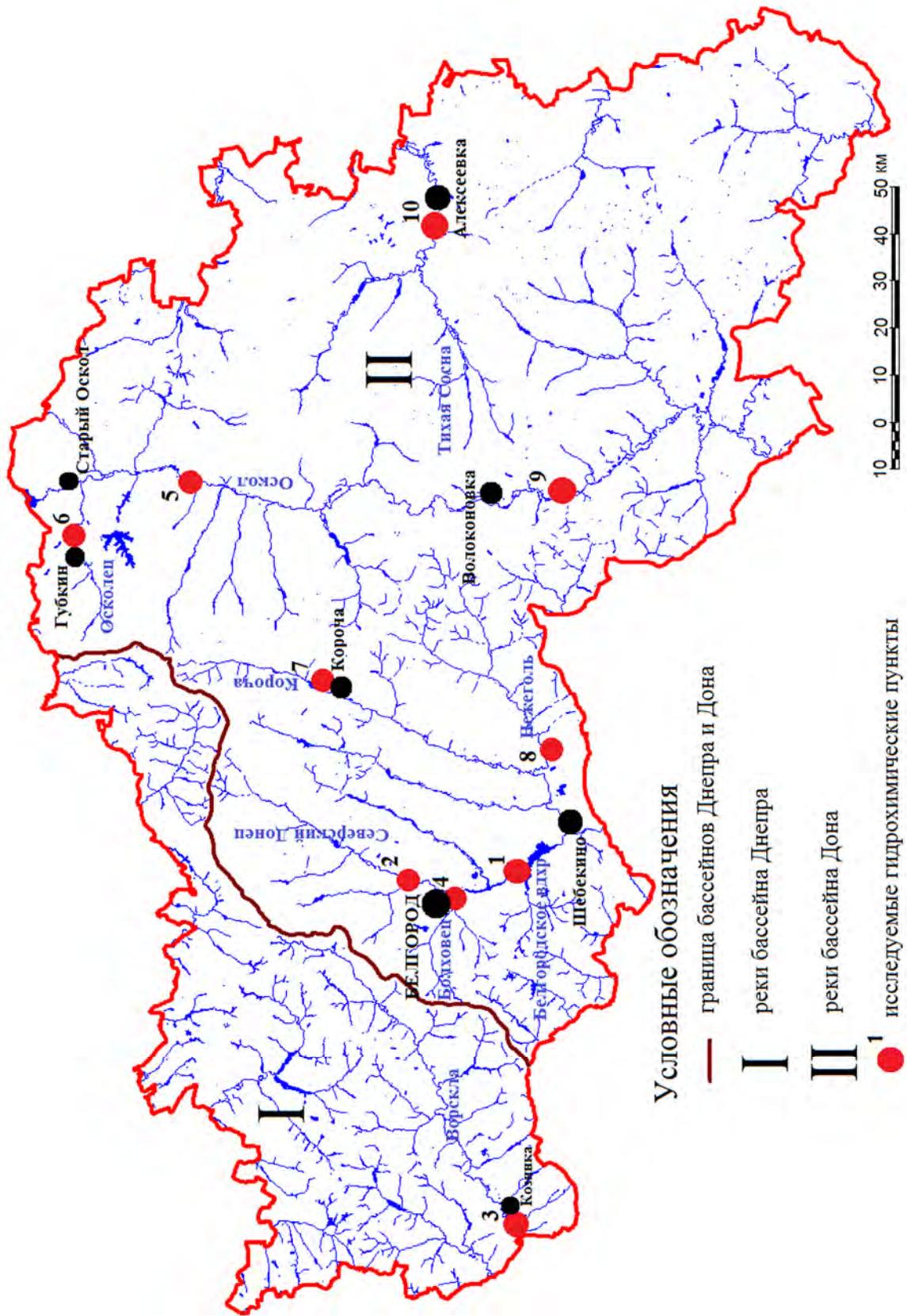


Рис. 1. Размещение анализируемых створов (посты Росгидромета) [Географический атлас..., 2017]
Fig. 1. Location of the analyzed gauging sections (Roshydromet posts) [Geographical Atlas..., 2017]



Как видно из таблицы исследуемые створы Росгидромета можно условно разделить по степени антропогенного воздействия на малые реки:

- 1) Пункты с высокоурбанизированным ландшафтом, которые включают внутригородские территории со значительным влиянием городских и селитебно-промышленных стоков (№ 1, 3, 4, 6);
- 2) Пункты в районах с интенсивным воздействием агропромышленного комплекса и высокой сельскохозяйственной нагрузкой (№ 5, 7, 8).
- 3) Умеренные районы с селитебной нагрузкой неканализованного частного сектора (№ 2, 9, 10).

Результаты и их обсуждение

Основной этап исследования включил изучение гидрохимического состояния исследуемых участков, находящихся под антропогенным воздействием различных функциональных зон.

На первоначальном этапе была проанализирована удельная величина комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Результат представлен в виде табл. 2. Из данных табл. 2 видно, что динамика УКИЗВ показывает умеренный положительный тренд загрязнённости (рост в пределах 10–15 %) на всех исследуемых реках.

Таблица 2
Table 2

Показатели УКИЗВ на исследуемых створах рек
Indicators of the specific value of combined water pollution index (SCWPI)
at the studied gauging sections

№ п/п	Год	р. Оскол		р. Тихая Сосна	р. Ворскла*	р. Короча	р. Северский Донец	р. Нежеголь*	Белгородское водохранилище	р. Осколец	р. Болховец
		с. Ивановка	с. Пятницкое*								
1	2008	3,52	3,27	3,32	3,75	3,30	3,13	2,94	3,88	3,73	4,52
2	2009	4,58	2,29	3,29	3,24	2,58	2,76	2,49	3,52	4,02	4,18
3	2010	4,44	2,69	2,27	2,99	2,62	2,62	2,65	3,74	4,36	3,82
4	2011	4,19	3,48	2,18	3,15	3,44	3,11	2,84	4,89	4,57	4,57
5	2012	4,40	3,32	2,72	2,80	2,30	2,88	2,66	4,33	4,43	4,67
6	2013	4,45	2,81	2,31	2,72	2,50	2,10	2,20	3,72	4,70	4,35
7	2014	4,07	3,09	2,19	2,71	3,07	2,51	2,11	3,38	4,84	3,90
8	2015	4,19	2,96	1,70	2,42	2,79	2,31	1,99	3,73	4,70	4,30
9	2016	4,22	2,98	3,10	3,06	2,88	2,02	2,99	3,86	4,86	4,43
10	2017	4,37	3,93	2,38	2,01	2,29	2,45	2,14	3,83	4,54	3,59
11	2018	4,17	3,15	2,67	3,00	4,00	2,78	3,21	4,78	4,03	4,28
12	2019	4,56	3,65	3,48	3,19	3,18	2,98	3,17	4,03	4,06	4,31
13	2020	4,51	3,10	3,12	3,85	3,29	2,68	2,91	4,51	3,84	4,39
14	2021	4,99	3,48	2,56	3,55	3,98	3,09	3,15	4,46	4,77	4,30
15	2022	5,13	3,51	2,25	4,38	2,76	2,58	2,26	4,84	4,52	4,41
16	2023	4,51	–	2,74	–	3,32	2,39	–	4,73	3,96	3,96

* отбор проб в 2023 году Росгидрометом не проводился

При этом на р. Ворскле (рис. 2), р. Оскол (рис. 3) и Белгородском водохранилище (рис. 4) тренд роста УКИЗВ более значителен (25–30 %). Географически эти створы находятся под негативным влиянием сточных вод крупных селитебно-промышленных комплексов городов и пгт (г. Белгород, г. Старый Оскол, г. Грайворон, п. Борисовка), а также организованного сброса сточных вод Яковлевского промузла, Томаровского мясокомбината и т. п. источников для створа на р. Ворскле. Помимо того стабильно «грязная» вода на протяжении многих лет фиксируется на р.р. Болховец и Осколец, но при этом положительный тренд загрязнения в исследуемый период не такой высокий.

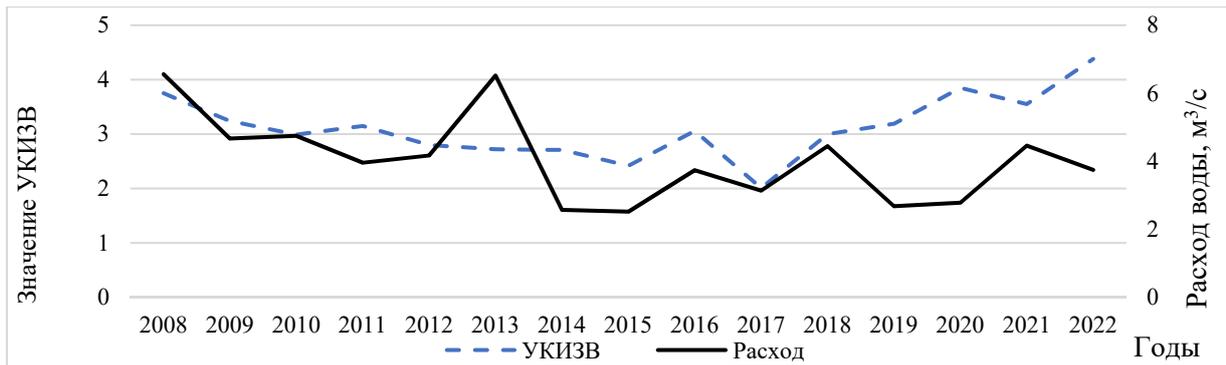


Рис. 2. Динамика удельного комплексного индекса загрязненности воды на реке Ворскле
Fig. 2. Dynamics of the specific combined water pollution index on the Vorskla River

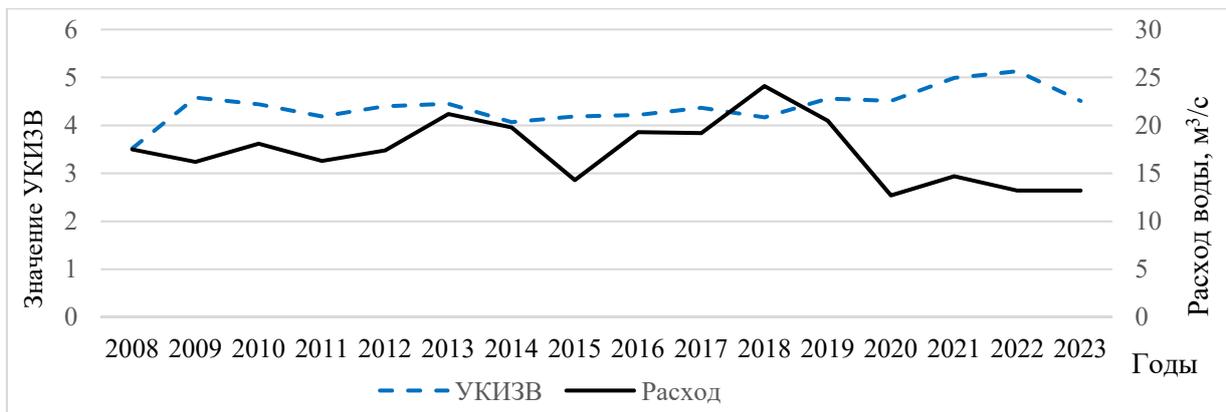


Рис. 3. Динамика удельного комплексного индекса загрязненности воды на реке Оскол
Fig. 3. Dynamics of the specific combined index of water pollution on the Oskol River

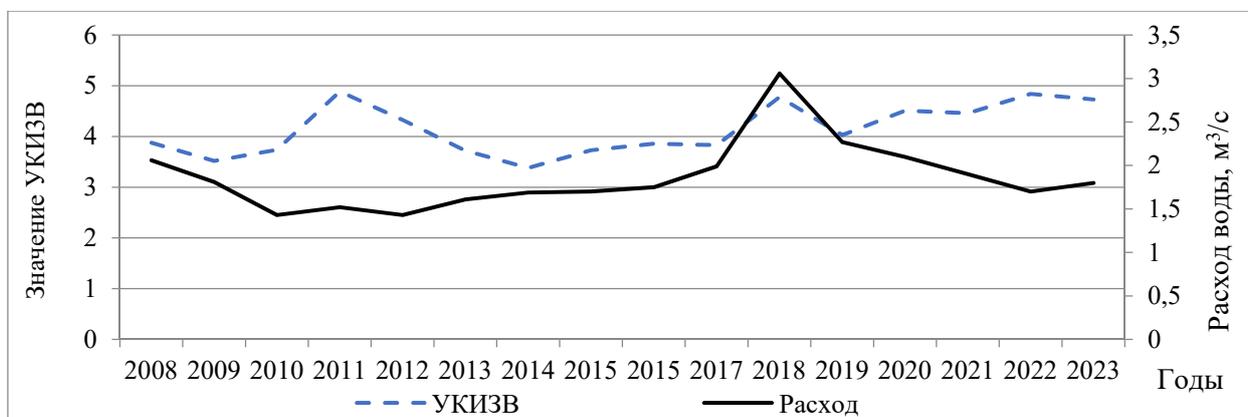


Рис. 4. Динамика удельного комплексного индекса загрязненности воды в створе Белгородского водохранилища

Fig. 4. Dynamics of the specific combined index of water pollution in the Belgorod water reservoir

Отдельно стоит отметить гидрохимический створ в с. Ивановке на реке Оскол (см. рис. 3), который расположен в сельской местности, но при этом имеет значительные показатели роста загрязнённости в рассматриваемый период. Это может объясняться комплексным характером влияния на него антропогенной нагрузки: помимо сельскохозяйственного воздействия, опосредованное влияние на него оказывают сточные воды селитебно-промышленных территорий Старооскольско-Губкинского горнопромышленного узла, включая сточные воды Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК), и ассимиляционные процессы реки не успевают привести в норму её гидрохимическое состояние.

Исследование по отдельным индикаторам гидрохимического загрязнения рассматриваемых створов позволило выявить следующие закономерности.



1) Результатом влияния животноводческой отрасли на исследуемые малые реки является выраженный характер нитратного (рис. 5) и нитритного (рис. 6) загрязнения в период интенсификации животноводческой отрасли региона (2010–2015 годы), что наиболее характерно для рек Короча и Нежеголь, вокруг которых сформировались очаговые ареалы типовых животноводческих площадок, а также реки Северский Донец (пункт исследования в с. Беломестное), на которую опосредованно влияют животноводческие комплексы Прохоровского района, сконцентрированные на значительном расстоянии в верховье реки. В дальнейшем ситуация по нитратному и нитритному загрязнению здесь улучшилась, что может быть связано с усовершенствованием системы обращения с отходами при производстве.

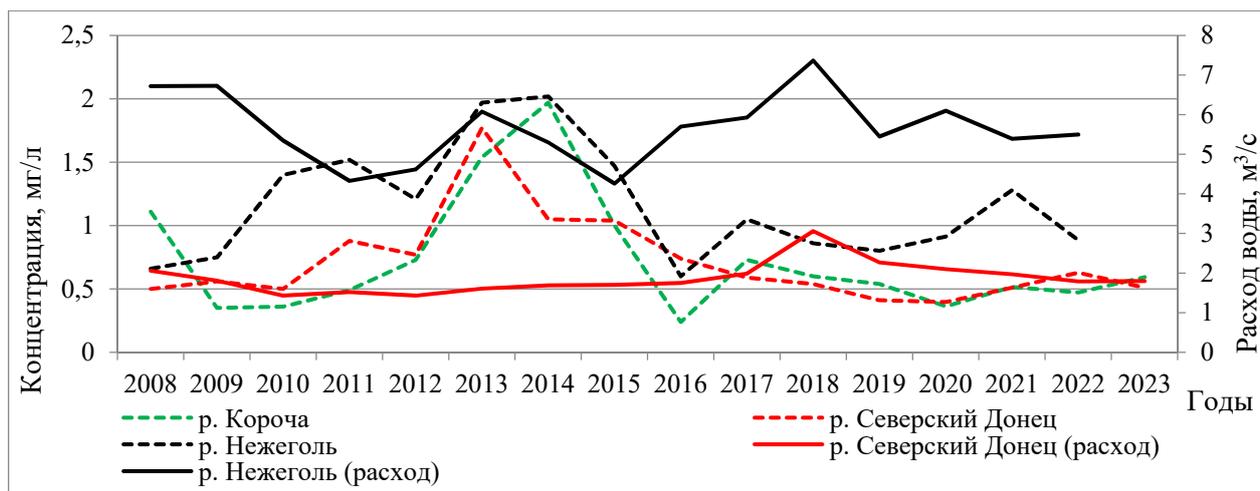


Рис. 5. Содержание нитратов (NO₃⁻) в исследуемых реках
 Fig. 5. Nitrate content (NO₃⁻) in the studied rivers

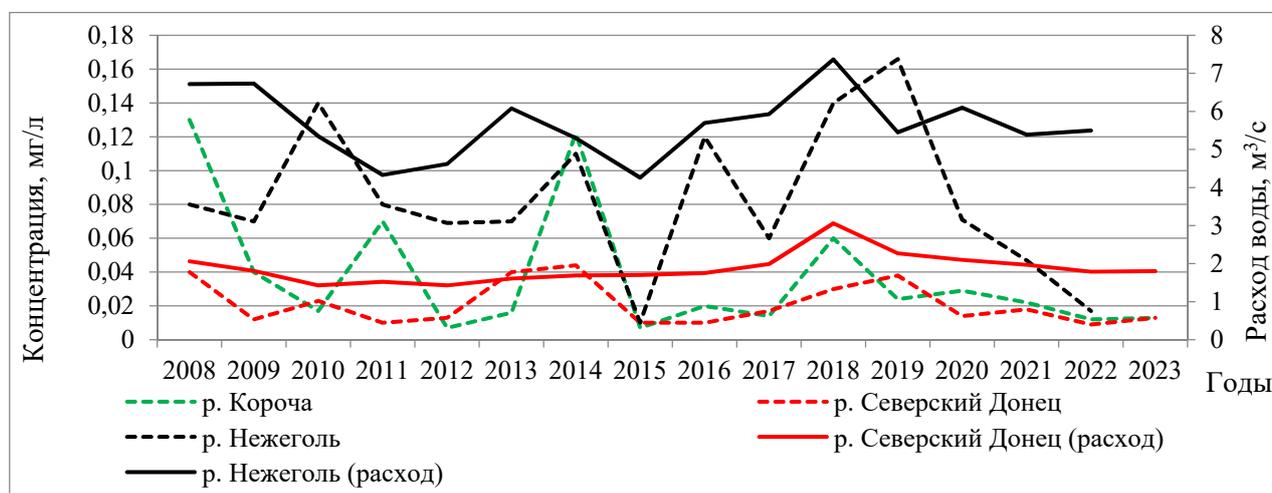


Рис. 6. Содержание нитритов (NO₂⁻) в исследуемых реках
 Fig. 6. Nitrite content (NO₂⁻) in the studied rivers

2) На участках исследуемых рек с преимущественно селитебным неканализованным воздействием (р. Оскол, р. Ворскла, р. Тихая Сосна) основными индикаторами гидрохимического загрязнения выступают, как правило, соли аммония, кроме р. Тихая Сосна (рис. 7) и в особенности фосфаты (рис. 8). Стоит отметить, что пункт отбора проб на р. Ворскле в с. Козинке может рассматриваться в данном случае как «сельский», при том что ранее был отнесён к высокоурбанизированным ландшафтам с селитебно-промышленными стоками, которые попадают в реку Ворсклу на протяжении всего её течения.

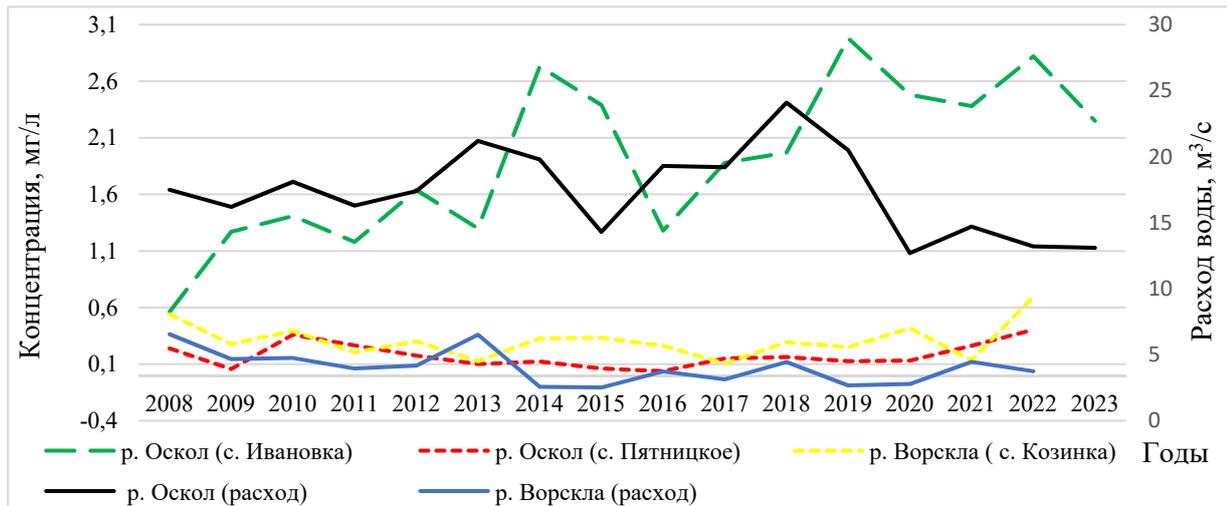


Рис. 7. Содержание солей аммония (NH_4^+) в исследуемых реках
Fig. 7. Content of ammonium salts (NH_4^+) in the studied rivers

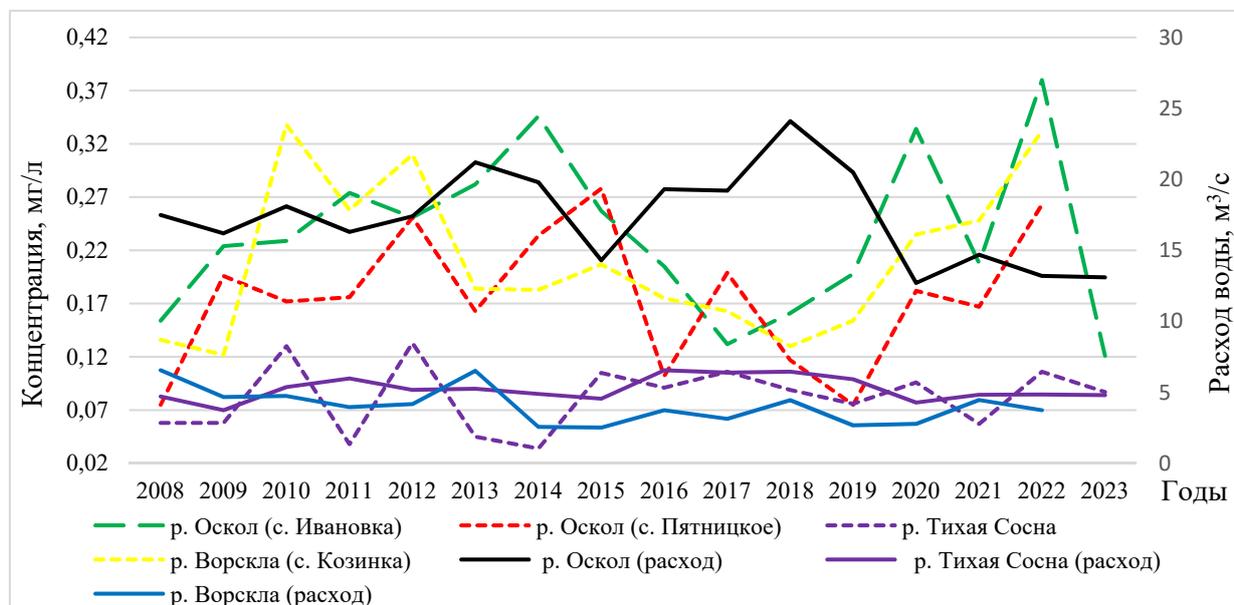


Рис. 8. Содержание фосфатов (PO_4^{3-}) в исследуемых реках
Fig. 8. Phosphate (PO_4^{3-}) in the studied rivers

3) Ярко выраженным индикатором селитебно-промышленной нагрузки Белгородской агломерации на водную среду выступают нитриты, что отражается на гидрохимическом состоянии реки Болховец и в особенности на качестве воды Белгородского водохранилища (рис. 9).

При этом стоит отметить, что по многолетним мониторинговым данным Росгидромета нитритный азот является критическим показателем загрязненности реки Северский Донец в створе Белгородского водохранилища на протяжении долгого времени. Его среднегодовая концентрация колеблется с 5 до 7 ПДК. Это обусловлено, в основном, сбросами сточных вод в водные объекты с очистных сооружений предприятий городских служб: ГУП «Белоблводоканал» г. Белгород. Также здесь наблюдаются превышения ПДК по азоту аммонийному, марганцу, БПК₅ и нефтепродуктам, но они носят менее систематический характер.

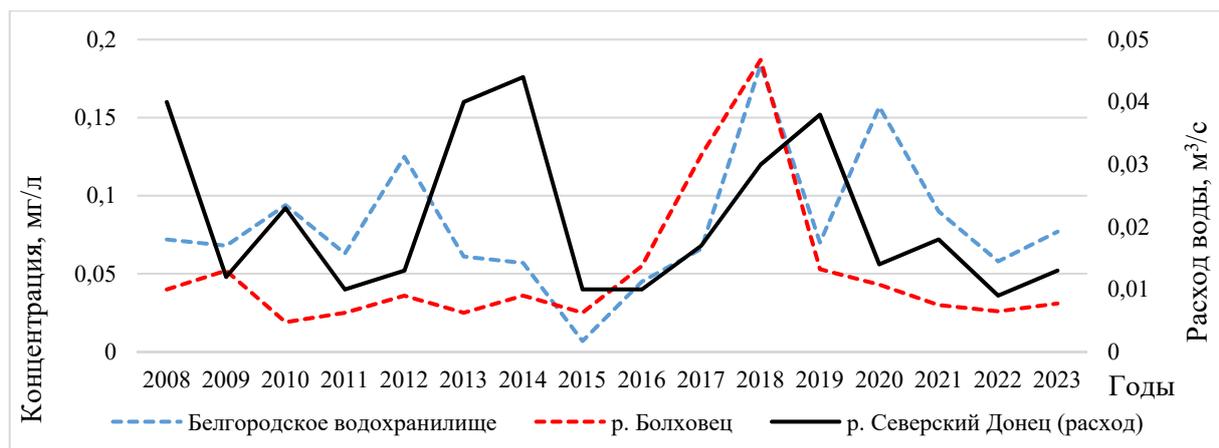


Рис. 9. Содержание нитритов (NO_2^-) в исследуемых реках
 Fig. 9. The content of nitrites (NO_2^-) in the studied rivers

Влияние на водную среду предприятий горнодобывающей промышленности региона в совокупности с селитебной городской нагрузкой рассмотрено на примере реки Осколец, где на протяжении длительного периода стабильное превышение ПДК наблюдается по сульфатам, меди, железу, БПК₅ и марганцу. При этом положительный тренд загрязнения за исследуемый период сохраняется по железу, цинку, азоту нитратному и БПК₅, что не совсем характерно для рек Белгородской области, так как, несмотря на стабильное превышение ПДК по БПК₅ в регионе, тренд загрязнения (насыщения воды) по этому показателю на малых реках региона, как правило, является отрицательным. Основными индикаторами влияния горнодобывающей промышленности на реке Осколец являются нитратный азот, железо и сульфаты (рис. 10).

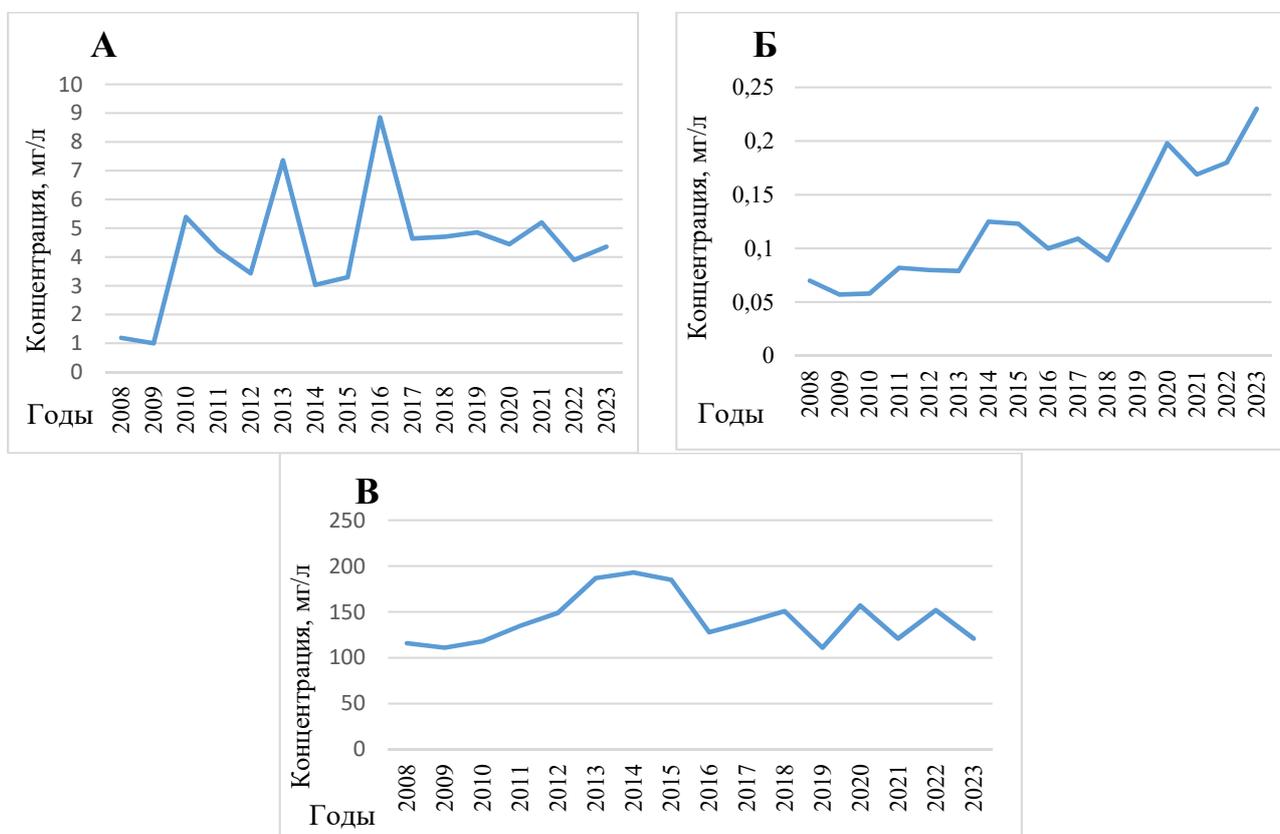


Рис. 10. Содержание загрязняющих веществ в реке Осколец:
 А – нитраты, Б – железо, В – сульфаты

Fig. 10. The content of pollutants in the Oskolets River: A – Nitrates, Б – Iron, В – Sulfates

Заключение

В целом, по данным Росгидромета, качество поверхностных вод в малых реках Белгородской области имеет неудовлетворительное состояние. В большинстве случаев в исследуемых створах вода характеризуется как «загрязнённая» или «грязная». При этом сохраняется общий положительный тренд по ухудшению гидрохимических характеристик исследуемых малых рек за рассматриваемый период, что подтверждает рост комплексного комбинированного показателя степени загрязнённости поверхностных вод (УКИЗВ).

В различных антропофункциональных зонах нагрузка по рассматриваемым гидрохимическим показателям дифференцируется в зависимости от источника антропогенного воздействия на малые реки. Наибольшие показатели гидрохимического загрязнения характерны для створов, находящихся в зоне влияния высокоурбанизированных ландшафтов с преобладанием городских и селитебно-промышленных территорий, где рост показателей за последние 15 лет достигает 25–30 %.

Результатом влияния животноводческой отрасли на исследуемые малые реки является пиковый характер проявления нитратного и нитритного загрязнения, что, вероятно, связано с производственными циклами в области агропромышленного комплекса региона, а также возможными залповыми сбросами. В дальнейшем ситуация по нитратному и нитритному загрязнению стабилизируется, что может быть связано с усовершенствованием системы обращения с отходами при производстве.

Проведённый анализ общего гидрохимического состояния малых рек Белгородской области подтверждает ухудшение качества поверхностных вод региона и имеет практическое значение для развития системы регионального мониторинга водных объектов и обоснования мероприятий по охране водных ресурсов Белгородской области.

Список источников

- Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. 2017. Отв. ред. А.Г. Корнилов. Белгород, БелГУ, 200 с.
- Ежегодники качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий по территории деятельности ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» за 2008–2023 г. 2024. Курск, Министерство природных ресурсов Российской Федерации Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).
- Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области. 2005. Отв. ред. Ф.Н. Лисецкий. Белгород, Издательство БелГУ, 179 с.

Список литературы

- Буряк Ж.А. 2023. Анализ угрозы загрязнения рек Белгородской области от свиноводческих комплексов с использованием цифровой модели рельефа. В кн.: Актуальные проблемы математики и естественных наук. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения к.п.н., доцента В.Л. Рабиновича, Петропавловск-Баку-Сургут, 23 мая 2023. Петропавловск-Баку-Сургут, Некоммерческое акционерное общество «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»: 92–97.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милокова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Вишневская И.А., Бородин О.О. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Москва, Макс-Пресс, 214 с.
- Дмитриева В.А. 2010. Структура использования водных ресурсов в Воронежской области. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 28–40.
- Дегтярь А.В. 2005. Гидролого-экологический анализ деградационных процессов в речных бассейнах малых рек юго-запада Центрально-Черноземного региона. Дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 247 с.
- Ермолаев О.П., Мухарамова С.С., Мальцев К.А., Иванов М.А., Гафуров А.М., Савельев А.А., Шынбергенов Е.А., Ермолаева П.О., Бодрова А.О., Янцитов Р.О. 2023. География и геоэкология



- России в мозаике речных бассейнов. География и природные ресурсы, 44(3): 25–33. <https://doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Киселев В.В., Корнилов А.Г. 2019. Геоэкологические аспекты развития современного интенсивного свиноводства на территории Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 98–108. <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-98-108>.
- Корнилов А.Г., Киселев В.В., Курепина В.А., Лопина Е.М., Боровлев А.Э. 2023. Биогенное загрязнение водных объектов в сельскохозяйственных районах Белгородской области. Региональные геосистемы, 47(1): 76–87. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-76-87>
- Киселев Вл.В., Корнилов А.Г., Киселев Вик. В., Корнилов А.А. 2024. Оценка гидрохимического состояния малых рек Белгородской области в пределах сельских территорий. Региональные геосистемы, 48(3): 368–381. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-368-381>.
- Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. 2023. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений. Региональные геосистемы, 47(4): 550–568. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568>.
- Колмыков С.Н. 2008. Гидрохимический анализ состояния рек, подверженных влиянию горнодобывающей промышленности на территории Белгородской области. Дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 210 с.
- Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Ясинский С.В. 2018. О гидрологических изменениях. Вопросы географии, 145: 15–34.
- Кумани М.В., Бабкина О.П. 2005. Изучение трансформации гидрологического режима рек Курской области под влиянием сельскохозяйственного производства. В кн.: Геоэкологические исследования Курской области. Курск, Курский Государственный Университет: 101–111.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожняя А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.
- Чепелев О.А., Пичура В.И., Павлюк Я.В., Самофалова О.М., Терехин Э.А. 2014. Оценка влияния добычи железных руд на водность рек Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 17(188): 160–164.
- Ясинский С.В., Сидорова М.В. 2018. Динамика водоёмкости в России и её регионах. Вопросы географии, 145: 406–413.
- Buryak Z., Lisetskii F., Gusarov A., Narozhnyaya A., Kitov M. 2022. Basin-Scale Approach to Integration of Agro- and Hydroecological Monitoring for Sustainable Environmental Management: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. Sustainability, 14(2): 927. <https://doi.org/10.3390/su14020927>
- Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. 2014. Basin Organizations of Nature Use, Belgorod Region. Biogeosystem Technique, 2(2): 163–173. <https://doi.org/10.13187/bgt.2014.2.163>

References

- Buryak Zh.A. 2023. Analiz ugrozy zagryazneniya rek Belgorodskoy oblasti ot svinovodcheskikh kompleksov s ispolzovaniyem tsifrovoy modeli relyefa [Analysis of the Threat of Pollution of Rivers in the Belgorod Region from Pig-Breeding Complexes Using a Digital Elevation Model]. In: Aktualnyye problemy matematiki i estestvennykh nauk [Actual Problems of Mathematics and Natural Sciences]. Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Ph.D., associate professor V.L. Rabinovich, Petropavlovsk-Baku-Surgut, 23 May 2023. Petropavlovsk-Baku-Surgut, Publ. Nekommercheskoye aktsionernoye obshchestvo «Severo-Kazakhstanskiy universitet imeni Manasha Kozybayeva»: 92–97.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A., Vishnevskaya I.A., Borodin O.O. 2014. Sovremennyye i stsenarnyye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneyshikh rek Rossii [Modern and Scenario Changes in River Flow in the Basins of the Most Important Rivers in Russia]. Moscow, Publ. Max-Press, 214 p.
- Dmitrieva V.A. 2010. Water Resources Use Structure in Voronezh Oblast. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 28–40 (in Russian).
- Degtyar A.V. 2005. Gidrologo-ekologicheskii analiz degradatsionnykh protsessov v rechnykh basseynakh malykh rek yugo-zapada Tsentralno-Chernozemnogo regiona [Hydrological-Ecological Analysis of Degradation Processes in the River Basins of Small Rivers in the Southwest of the Central Black Earth Region]. Dis. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 247 p.



- Ermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Gafurov A.M., Saveliev A.A., Shynbergenov E.A., Ermolaeva P.O., Bodrova A.O., Yantsitov R.O. 2023. Geography and Geocology of Russia in the Mosaic of River Basins. *Geography and Natural Resources*, 44(3): 25–33 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Kiselev V.V., Kornilov A.G. 2019. Geocological Aspects of Development of Modern Intensive Pig Farming in the Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43(1): 98–108 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-98-108>
- Kornilov A.G., Kiselev V.V., Kurepina V.A., Lopina E.M., Borovlev A.E. 2023. Biogenic Pollution of Water Bodies in Agricultural Areas of the Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 47(1): 76–87 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-76-87>
- Kiselev V.V., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Kornilov A.A. 2024. Assessing the Hydrochemical State of Small Rivers within Rural Areas of Belgorod Region. *Regional Geosystems*, 48(3): 368–381 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-3-368-381>.
- Kornilova E.A., Lisetsky F.N., Rodionova M.E. 2023. Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes. *Regional Geosystems*, 47(4): 550–568. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568>.
- Kolmykov S.N. 2008. *Gidrokhimicheskiy analiz sostoyaniya rek. podverzhennykh vliyaniyu gornodobyvayushchey promyshlennosti na territorii Belgorodskoy oblasti* [Hydrochemical analysis of the state of rivers affected by the mining industry in the Belgorod region]. Dis. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 210 p.
- Koronkevich N.I., Georgiadi A.G., Yasinsky S.V. 2018. On Hydrological Changes. *Questions of geography*, 145: 15–34 (in Russian).
- Kumani M.V., Babkina O.P. 2005. *Izucheniye transformatsii gidrologicheskogo rezhima rek Kurskoy oblasti pod vliyaniem selskokhozyaystvennogo proizvodstva* [Studying the Transformation of the Hydrological Regime of Rivers Kursk Region Under the Influence of Agricultural Production]. In: *Geoekologicheskkiye issledovaniya Kurskoy oblasti* [Geocological Studies of the Kursk Region]. Kursk, Publ. Kursk State University: 101–111.
- Lisetskiy F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. *Reki i vodnyye obyekty Belogoria* [Rivers and Water Bodies of Belogorye]. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
- Chepelev O.A., Pichura V.I., Pavlyuk Y.V., Samofalova O.M., Terekhin E.A. 2014. Assessment of Mining Iron Ore on the Water Availability in Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 17(188): 160–164 (in Russian).
- Yasinsky S.V., Sidorova M.V. 2018. Dynamics of Water Intensity of the Economy in Russia and Its Regions. *Problems of geography*, 145: 406–413 (in Russian).
- Buryak Z., Lisetskii F., Gusarov A., Narozhnyaya A., Kitov M. 2022. Basin-Scale Approach to Integration of Agro- and Hydroecological Monitoring for Sustainable Environmental Management: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia. *Sustainability*, 14(2): 927. <https://doi.org/10.3390/su14020927>
- Lisetskii F.N., Buryak J.A., Zemlyakova A.V., Pichura V.I. 2014. Basin Organizations of Nature Use, Belgorod Region. *Biogeosystem Technique*, 2(2): 163–173. <https://doi.org/10.13187/bgt.2014.2.163>

*Поступила в редакцию 09.02.2025;
поступила после рецензирования 25.02.2025;
принята к публикации 02.03.2025*

*Received February 09, 2025;
Revised February 25, 2025;
Accepted March 02, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Киселев Владислав Викторович, кандидат географических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladislav V. Kiselev, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia



Корнилова Евгения Андреевна, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya A. Kornilova, Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 528.44: 528.8: 551.21
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-93-111

Мониторинг геопространства вулканопасных территорий

¹ Мелкий В.А., ^{2,3} Долгополов Д.В., ¹ Верхотуров А.А.

¹Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН,
Россия, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б

²Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»),
Россия, 117186, Москва, Севастопольский просп., 47а

³Сахалинский государственный университет,
Россия, 693008, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290
vamelkiy@mail.ru, d-daniil@yandex.ru, ussr-91@mail.ru

Аннотация. Разнообразная информация о динамике вулканических процессов, получаемая при помощи различных средств наземного и аэрокосмического мониторинга, нуждается в своевременной и качественной обработке. Такую возможность обеспечивают геоинформационные технологии, позволяющие проводить сбор и анализ пространственно-ориентированных данных. В статье рассматриваются теоретические основы отрасли науки, определяющей принципы обеспечения моделирования геопространства вулканопасных территорий, которые позволяют формировать единый комплекс взаимообусловленных данных из различных источников. Одной из важных задач безопасной жизнедеятельности на вулканопасных территориях является мониторинг действующих вулканов и своевременное оповещение населения в условиях чрезвычайных ситуаций. В результате исследований выявлено, что в целях информационного обеспечения мероприятий по контролю за действующими вулканами, своевременного предупреждения и ликвидации последствий извержений должно быть сформировано геопространство вулканопасных территорий с использованием данных современных средств дистанционного зондирования, геоинформационных технологий, а также методов геопространственного и математического моделирования. В целях оперативного анализа и прогнозирования динамики вулканических процессов, влияющих на климат и изменяющих содержание парниковых газов в атмосфере и состояние экосистем в целом, требуется непрерывное обновление картографической документации кадастра вулканопасных территорий с точной геодезической привязкой.

Ключевые слова: кадастровые съемки, геопространство вулканопасных территорий, вулканическая деятельность, аэрокосмическая съемка, карты зонирования территорий, геоинформационные технологии

Благодарности: исследование выполнено при поддержке проекта «Приоритеты 2030 ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»».

Для цитирования: Мелкий В.А., Долгополов Д.В., Верхотуров А.А. 2025. Мониторинг геопространства вулканопасных территорий. Региональные геосистемы, 49(1): 93–111. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-93-111

Monitoring the Geospace of Volcano Hazard Areas

¹ Vyacheslav A. Melkiy, ^{2,3} Daniil V. Dolgoplov, ¹ Alexey A. Verkhoturov

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
1B Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia

² Limited Liability Company the Pipeline Transport Institute (PTI, LLC),
47a Sevastopolskiy Ave., Moscow 117186, Russia

³ Sakhalin State University,
290 Lenin St, Yuzhno-Sakhalinsk 693008, Russia
vamelkiy@mail.ru, d-daniil@yandex.ru, ussr-91@mail.ru

Abstract. Various data on the dynamics of the state of volcanoes obtained using diverse monitoring tools, both ground-based and aerospace-based ones, needs timely and high-quality processing. Such an



opportunity is provided by geoinformation technologies that allow collecting and analyzing spatially oriented data. The article examines the theoretical foundations of the branch of science that defines the principles of modeling the geospace of volcano hazard areas, which make it possible to form a single set of interdependent data from various sources. Monitoring of active volcanoes and timely notification of the population in emergency situations is one of the important tasks of safe life in volcano-prone areas. The research revealed the need to form a geospace of volcano hazard areas using data from modern remote sensing tools, geoinformation technologies, as well as geospatial and mathematical modeling methods. This will allow information support for measures to control active volcanoes, timely prevention, and elimination of the eruption consequences. Continuous updating of the cartographic documentation of volcano hazard areas cadastre with accurate geodetic reference is required in order to promptly analyze and predict the dynamics of volcanic processes affecting the climate and changing the content of greenhouse gases in the atmosphere and the state of ecosystems as a whole.

Keywords: remote cadastral surveys, geospace of volcano hazard areas, volcanic activity, aerospace survey, zoning maps of territories, geoinformation technologies

Acknowledgements: The research was supported by the project "Priorities 2030" of Sakhalin State University.

For citation: Melkiy V.A., Dolgoplov D.V., Verkhoturov A.A. 2025. Monitoring the Geospace of Volcano Hazard Areas. Regional Geosystems, 49(1): 93–111 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-93-111

Введение

В целях обеспечения безопасной жизнедеятельности на территориях, подверженных воздействиям вулканической деятельности, необходимо вести мониторинг и осуществлять своевременный анализ пространственно-ориентированной информации о динамике состояния вулканов. Для чего необходимо создать геоинформационное пространство, сформированное на базе единой информационной модели, основанное на общих принципах и единых требованиях. Геоинформационное обеспечение для соответствия этим требованиям должно:

- быть основой для проверки и совместного комплексного использования данных: космического мониторинга, экологических наблюдений, аэрокосмической съемки (АКС);
- обеспечивать возможность анализа динамики состояния вулканов и прогноза их извержений.

Методологическая основа направления науки, обеспечивающей анализ пространственно-ориентированной информации о динамике состояния вулканов, базируется на теоретических основах геоинформационного пространства и его мониторинга, разработанных в трудах В.П. Савиных, В.Г. Бондура, А. Т. Зверева, А. П. Карпика, Д. В. Лисицкого, В.А. Малинникова, В.А. Мелкого, В.С. Хорошилова, Д.В. Долгополова, А.В. Дубровского и других специалистов в области наук о землеустройстве, кадастре, мониторинге земель различного назначения, аэрокосмических исследований, геодезии, картографии и геоинформатики [Бондур, 1995; Мелкий, 1999; Карпик, 2004, 2013; Бондур и др., 2005; Зверев, Малинников, 2011; Зверев и др., 2011; Долгополов, 2020, 2021; Антонов и др., 2021; Дубровский, 2022; Khoroshilov et al., 2022; Карпик и др., 2023; Хорошилов и др., 2023].

Ведущую роль в обеспечении геопространственными данными играет система космического мониторинга. Концептуальные принципы формирования такой системы сформулированы в трудах В.Г. Бондура [1995], которые развивались им в совместных исследованиях с В.П. Савиным и К.Я. Кондратьевым [2005], в направлении совершенствования инструментария для математического моделирования и анализа динамики процессов в окружающей среде, в том числе для предсказания природных катастроф. А.Т. Зверев и В.А. Малинников [2011] указали на необходимость мониторинговых наблюдений за актив-

ными динамическими процессами, протекающими на исследуемых территориях, и разработали пути решения многих задач определения состояния сложных геодинамических систем с помощью аэрокосмических технологий. А.П. Карпиком [2004, 2013] совместно с Д.В. Лисицким [2023] разработана концепция структурирования необходимого обеспечения данными геопространственных моделей. Теоретические основы преобразования геоинформации в геознания на основе когнитивных способностей человека получила развитие в работах С.С. Янкелевич и Е.С. Антонова [Антонов и др., 2021]. Теоретические основы формирования системы мониторинга вулканопасных территорий заложены в работах В.А. Мелкого [1999]. Дальнейшее развитие научных основ оперативной обработки геопространственных данных послужит обеспечению безопасности жизнедеятельности и функционирования сложных техногенных систем на территориях, подверженных воздействию активных геодинамических процессов, климатических изменений, повышению концентрации парниковых газов. Основные принципы рационального природопользования, моделирования опасных геологических процессов, организации безопасной эксплуатации трубопроводных систем представлены в работах В.С. Хорошилова [Khoroshilov et al., 2022, Хорошилов и др., 2023], Д.В. Долгополова [2020, 2021] и А.В. Дубровского [2022].

Объекты и методы исследования

С древних времен одной из важнейших потребностей людей, которые живут и ведут хозяйственную деятельность на территориях, подверженных воздействию вулканов, является необходимость наблюдать за их состоянием. Каждый вулкан обладает «набором» специфических опасных воздействий на земли, которые зависят в первую очередь от химического состава магматического расплава, поступающего к поверхности. Обусловлено это прежде всего геодинамической позицией блоков земной коры, к которым приурочены вулканические аппараты.

Методология формирования геопространственных моделей вулканов основывается на логическом выборе научных гипотез, системном подходе и разработке технологических схем для анализа данных о характере протекающих процессов. Геопространственная система для обеспечения анализа состояния вулкана должна формироваться с учетом комплексности исследований параметров, характеризующих процессы, которые могут протекать во время извержений (рис. 1). Определение наблюдаемых параметров производится при помощи широкого спектра разнообразных инструментов и приборов для контактных измерений и дистанционного зондирования.

Пространственный анализ осуществляется с помощью программного обеспечения ГИС, которое реализует ряд функций преобразования векторных и растровых моделей территории. Такого рода программы позволяют анализировать пространственное положение объектов, взаимоотношение их частей, зоны распространения продуктов извержений вокруг объектов, выполнять операции вычислительной геометрии и обработку цифровых моделей рельефа и др. [Карпик, 2004]. Кроме того, в ГИС предусмотрено использование программных модулей-приложений, функционирующих на основе алгоритмов детерминистских и стохастических моделей, а также могут устанавливаться специализированные приложения для анализа и прогнозирования ситуаций.

На первом этапе обработки в результате анализа пространственно-привязанной информации формируется модель разномасштабных форм рельефа на склонах вулканической постройки, затем к характерным точкам привязываются данные, поступающие в процессе мониторинга и полученные в результате обработки и анализа. Модель территории дополняется новыми предметами – зонами риска, характеристиками объектов, расположенных на землях возможного воздействия продуктов извержений. Пространственный анализ позволяет осуществлять программное обеспечение, которое выполняет математические преобразования в картографических проекциях и количественную оценку изменений [Лисицкий и др., 2024].

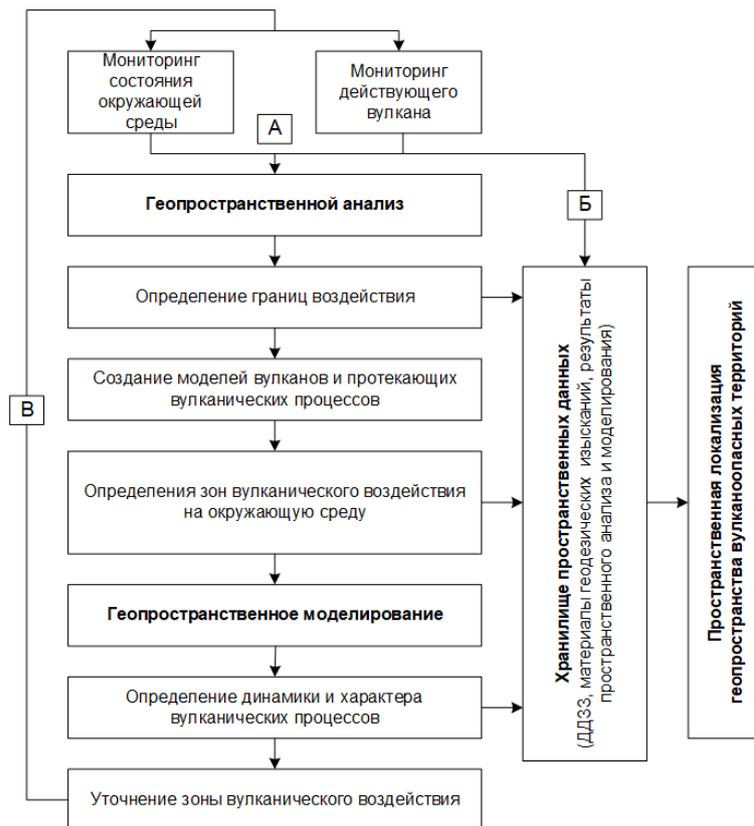


Рис. 1. Схема определения геопространства вулcanoопасных территорий [по Карпик, 2004 с изменениями]: А – мониторинг состояния вулcanoопасных территорий; Б – передача данных мониторинга в хранилище пространственных данных; В – цикл периодических наблюдений за состоянием вулcanoопасных территорий
 Fig. 1. The scheme for determining the geospace of volcano hazard areas [by Karpik, 2004 revised]: А – monitoring the state of volcano hazard areas; В – transmission of monitoring data to the spatial data repository; С – cycle of periodic observations of the state of volcano hazard areas

Самыми популярными программами считаются *ArcGIS* и *QGIS*. Картографические задачи решают с помощью *Mapinfo*, *DataGraf*, *NextGIS*.

Изучение характерных особенностей проявлений вулканических процессов выполняется с использованием первичных и вторичных данных. Среди них можно особо отметить топографические листы карт Курильских островов, Камчатского полуострова масштабов 1: 50 000 – 1: 200 000, крупномасштабные карты островов Гавайи и Исландия, пространственно-привязанные данные, полученные при съемках со спутников (*Канопус*, *Арктика-М № 1*, *NOAA-18/19*, *GOES-R*, *Terra*, *Aqua*, *Landsat-1-9*, *Sentinel*, *FY-3D*, *JPSS-1*, *Suomi NPP*, *Himawari-9*, и др.) в цифровом виде с различным пространственным разрешением, которые широко представлены в специализированных базах данных [Геопортал..., 2024; Global Volcanism Program, 2024; ТЕРРА ТЕХ, 2024]. Изображения анализируются на предмет поиска проявлений вулканических процессов (таких как тон, текстура, форма, узор, ассоциации и т. д.). Обработка, анализ и интеграция пространственных данных для достижения целей исследования выполняются при помощи программного обеспечения *ArcGIS* и подобного.

В настоящее время разработано довольно много методик, которые обеспечивают работу с данными космических съемок при помощи мультиспектральных, инфракрасных, радиолокационных и иных сканирующих устройств [Aveni, Blackett, 2022; Campus et al., 2022; Martí et al., 2022]. При необходимости получения данных с более высоким пространственным разрешением используются данные аэрофотосъемок с различных лета-

тельных аппаратов, в том числе беспилотных, а также воздушного лазерного сканирования [Chen et al., 2021; Liu et al., 2022]. Завершение работы по созданию тематических карт и трехмерных моделей осуществляется в специализированных картографических программах. Проверка точности моделирования выполняется периодически в процессе полевых исследований на соответствующих вулканах.

Результаты и их обсуждение

Извержения вулканов оказывают существенное влияние на природную и антропогенную среду и могут повлечь за собой огромные материальные потери и существенные экологические последствия. Все это дает полное право наряду с термином «геопространство» [Карпик, 2013] выделить отдельно понятие – «Геопространство вулканопасных территорий». Геопространство вулканопасных территорий – это пространство, ограниченное факторами воздействия вулканических процессов в определенный период на окружающую среду.

Формирование геоинформационного пространства любой наземной системы представляет собой создание цифрового двойника, который соответствует идеологии моделирования в рамках проектов «Цифровой Земли». Наиболее информативным проектом для аналитических исследований в этом направлении является геоинформационная платформа корпорации «Роскосмос» [ТЕРРА ТЕХ, 2024]. Для анализа состояния природной среды и производственно-территориальных комплексов различного пространственного охвата, компонентных изменений в экосистемах, разнообразных процессов в литосфере, гидросфере и атмосфере, трансформаций в результате антропогенного воздействия необходимо применять методы исследований, которые базируются на знаниях различных отраслей науки.

Для формирования единого геоинформационного пространства используют современные геоинформационные системы, которые обеспечивают возможность комплексного анализа геопространственной информации и возможность совместной работы с данными распределенным в группах исследователей вулканических процессов и экосистемных изменений в результате их воздействия на атмосферу и гидросферу.

Границы вулканопасных территорий в пространстве выделяются по ряду признаков, таких как:

- обособление вулканогенных ландшафтов по спектральным и текстурным признакам, свидетельствующим о значительных изменениях экосистем (повреждение или сведение растительности);
- наличие специфических форм рельефа на территориях, попадавших под определенное воздействие продуктов извержений или полностью сформированных такими отложениями;
- определение на склонах вулканических построек русел, по которым могут проходить лавовые, пирокластические потоки, сбегать палящие тучи или лахары.

Моделирование процессов вулканических извержений начинается с определения типа деятельности и эксплозивности, свойственной исследуемому вулкану. Характер деятельности предопределяется местоположением магматических очагов в земной коре, через которые проходит магматический расплав, – коровых и мантийных (К-тип и М-тип) [Сывороткин, 2017]. Изменение химического состава магмы в результате процессов смешения, дифференциации, ликвации и подобных приводит к созданию вулканических аппаратов, которым свойственна эффузивная, эксплозивная или экструзивная деятельность.

Эффузивная деятельность характерна для вулканов, у которых высокотемпературный магматический расплав изливается на поверхность из жерл или трещин. Продукты эффузивной деятельности чаще всего представлены базальтами. Самый крупный и активный представитель из эффузивных вулканов – Мауна-Лоа на о. Гавайи: его деятельности уделяется наибольшее внимание вулканологов. Извержение вулкана в ноябре – декабре 2022 года



наблюдалось с геостационарных спутников *GOES-R*. Увеличение тепловой активности в начале извержения, а затем снижение на другой день было определено по данным инфракрасного канала *SWIR* мультиспектрального инструмента *MSI*, а также отслеживалось с помощью тепловизора *ABI* [Genzano et al., 2023]. Площадное распространение лавовых потоков также хорошо отслеживается с помощью инструментов *OLI* (спутники *Landsat 8/9*), *MSI* (*Sentinel-2*), панхроматической и многозональной съемочных систем (космический аппарат Канопус-В-ИК). Детальные построения рельефа, точное картографирование разломов и измерения кинематики раскрытия трещин требуют применения аэросъемок с использованием вертолетов или беспилотных воздушных судов [Mannini et al., 2024].

Большинству островодужных вулканов свойственны эксплозивно-фреатические извержения. Интенсивность эксплозивной вулканической деятельности характеризуется индексом эксплозивности (*VEI*) [King, 2024]. Эксплозивные извержения с $VEI = 1-3$ достаточно хорошо изучены при наблюдениях на вулканах Италии, Камчатки и Курильских островов (извержения Этны, Эбеко, Алаида, Большое трещинное Толбачинское) [Belousov et al., 2021; Aveni, Blackett, 2022; Calvari, Nunnari, 2024]. На архивных космических снимках зафиксированы эксплозивные выбросы вулканов. Газово-тефровые колонны поднимаются на высоту до нескольких километров над уровнем моря. Основную опасность при эксплозивных извержениях представляют обломки тефры различной размерности. Крупный обломочный материал выпадает неподалеку от кратера, пепел переносится в атмосфере на сотни и тысячи километров от эруптивного центра [Мелкий и др., 2024].

Вулканическая деятельность интенсивностью $VEI \geq 4$ наблюдалась на вулканах Безымянный, Шивелуч [Гирина и др., 2023; Ridolfi et al., 2023], Сент-Хеленс [Fink, Anderson, 2023]. Все эти взрывные извержения можно отнести к экструзивным, потому что при них разрушалась вершинная часть вулканической постройки, которая представляла собой экструзивный купол. Пароксизмальное высокоэксплозивное извержение субплинианского типа, произошедшее на вулкане Шивелуч 10–13 апреля 2023 года, разрушило экструзивный купол. По спутниковым данным высота эруптивной колонны превысила 15 км н. у. м., пепловое облако распространилось на расстояние более 3500 км и выпало на Камчатке на площади 3280 тыс. км².

Самым интенсивным извержением, наблюдавшимся в исторический период, считается разрушение Кракатау в 1883 году. Высоту выброса эруптивной колонны оценивают в 80 км, на удалении 150 км от пепла стало темно днем. Взрыв интенсивностью $VEI = 6$ и сопровождающее его цунами унесли жизни более 30 000 человек, стерли с лица Земли 165 населенных пунктов, а 132 нанесли значительный урон. Звук взрыва слышали жители австралийского г. Перт, расположенного в 2100 км от Кракатау, приборы, находившиеся в 160 км, зафиксировали звук взрыва в 172 децибела. Ударная волна после взрыва обошла земной шар 4 раза [Цыганов, 2024].

В связи с необходимостью прогноза катастрофических событий на экструзивных вулканах возник большой интерес к моделированию кальдерообразующего извержения вулкана Окмок (о. Умнак, Аляска), которое произошло в 43 году до н. э. Пирокластические потоки покрыли на о. Умнак земли площадью около 1000 км². Выброс в стратосферу большого количества пепла, серы и ее соединений вызвал изменения климата и всеобщее похолодание [Рессиа et al., 2023]. Анализ петрологических, полевых тефрохронологических, палеоклиматических данных позволяет моделировать процессы их воздействия на окружающую среду [Burgisser et al., 2024].

Если с лавовыми и пирокластическими потоками бороться очень сложно и зачастую нет в том необходимости, то выбор способов защиты от пеплопадов и расчет усиления элементов конструкции крыш в зонах возможного разнопланового воздействия не составит большого труда. Следует заметить, что выпадение пеплов повышает плодородие почв. На вулканах Алаид и Эбеко пеплы обладают повышенной радиоактивностью и при-

вносят в почвы обломки с большими по сравнению с другими объектами Курильских островов и Камчатки содержанием U , Th . Л.В. Захарихина с коллегами [Захарихина и др., 2021] при исследовании пеплов определила наличие более высокого показателя потенциального плодородия курильских почв, чем на полуострове Камчатка.

Несмотря на то, что на склонах вулканических построек практически повсеместно присутствует опасность воздействия тех или иных процессов, угрожающих безопасности жизнедеятельности людей и строений, возможность получения относительно дешевой энергии на ГеоТЭС, высоких урожаев агрокультур на плодородных почвах во все времена побуждали желание использовать эти земли для хозяйственной деятельности. В этой связи возникает необходимость оценить все риски при использовании вулканопасных земель, вести мониторинг состояния вулканов и моделировать сценарии развития процессов, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду, гражданские и промышленные объекты.

Геоинформационные технологии для анализа динамики любого природного процесса должны обеспечивать его моделирование на основе накапливаемой и структурированной информации о параметрах, отражающих свойства компонентов системы [Khoroshilov et al., 2022]. Результаты наблюдений перемещения масс горных пород по склонам анализируются в сочетании с топографической информацией о рельефе местности и ландшафтными признаками, отражающими особенности движения потоков на склонах [Хорошилов и др., 2023]. Моделирование перемещений масс позволяет определить степень риска, основываясь на знаниях о геопространстве вулканов.

Использование геоинформационных технологий позволяет сформировать единое пространство для крупных природно-территориальных или природно-технических систем, которые позволят анализировать динамику их состояния по данным мониторинга изменяющихся параметров (рис. 2) [Долгополов и др., 2021]. Особенности разнопланового мониторинга вулканопасных территорий определяется потребность в создании единой информационной пространственной среды, ориентированной на задачи обеспечения безопасной жизнедеятельности в зонах с различной степенью возможного воздействия при извержениях, своевременного оповещения населения в условиях чрезвычайных ситуаций, а также для информационного обеспечения работы штабов и органов власти.

Входная информация, необходимая для решения геопространственных задач [Антонов и др., 2021], обеспечивающих моделирование вулканических и сопутствующих им процессов в окружающей среде, подгружается из хранилища пространственных данных в виде цифровых карт, 3D-моделей, составленных ранее. Для каждого из исследуемых вулканов (в зависимости от типа характерных для них извержений) производится выбор объектов наблюдения, а также определение параметров, характеризующих процессы, происходящие в момент измерения. Кроме того, предварительной обработке подвергаются оперативные данные АКС, телеметрических сведений о контактных измерениях наблюдаемых параметров газоанализаторами, наклономерами, видеокамерами, тепловизорами и др. приборами, автономными метеостанциями, полевыми и стационарными сейсмостанциями.

Современные возможности формирования геопространства вулканопасных территорий базируются на новых методах и средствах сбора, автоматизированной обработки данных. Методы аэрокосмического мониторинга за последние несколько лет вышли на качественно новый уровень в связи с применением новых систем и технологий космической съемки, лазерного сканирования, цифровой аэросъемки, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Мониторинг территорий с активной вулканической деятельностью, выявление и моделирование протекающих процессов должны быть построены с учетом знаний о характере протекающих процессов. Так как именно тип деятельности определяет скорость деформаций и возможный характер протекания опасных явлений. Моделирование геопространства вулканопасных территорий целесообразно выполнять с учетом требований компьютерного

восприятия и возможностью трехмерного представления данных в современных ГИС. Примером аналогичной системы может служить технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды (ТЦП МПТС) [Долгополов и др., 2022].

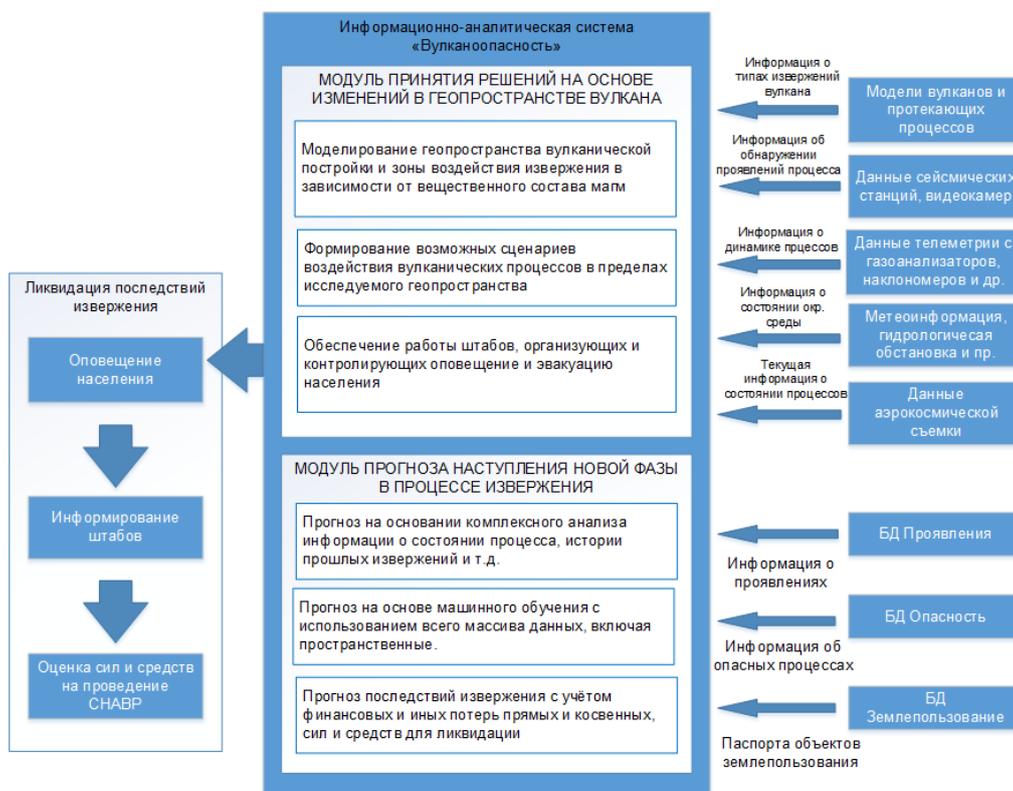


Рис. 2. Технологическая схема мониторинга вулканоопасных территорий (по Долгополову и др., 2021 с дополнениями)

Fig. 2. Technological scheme for monitoring volcano hazard areas (according to Dolgoplov et al., 2021 with additions)

Мониторинг вулканоопасных территорий выполняется для обеспечения моделей геопространства вулканов достоверной оперативной информацией о параметрах состояния системы, которая поступает регулярно в результате разновременных космических съемок, опубликованных данных об истории вулканической деятельности и процессов, представляющих опасность для людей и строений. Для апробирования предлагаемой схемы обработки информации составляются пространственные модели территории и карты зонирования земель с выделением подзон, соответствующих типу и интенсивности воздействия вулканоопасных явлений. Использование метода ретроспективного анализа на основе космических снимков среднего и высокого разрешения позволило оценить масштабы воздействия опасных явлений на вулкане Эбеко и составить карты зонирования территории по вулканоопасности. Проведенное исследование позволило определить научные принципы зонирования вулканоопасных территорий. В границах выделяемых подзон следует применять определенные обременения на использование земель, а также производить переоценку их кадастровой стоимости [Верхотуров, 2024]. Корректные данные для моделирования опасных процессов позволяют понять масштабы предстоящих катастрофических событий и максимально повысить безопасность жизнедеятельности людей и сооружений [Мазарович, Соколов, 2022].

Для любого вулканического аппарата характерны свойственные только ему физические процессы, которые только в общих чертах могут происходить на вулканах аналогичного типа. Следовательно, для моделирования процессов на определенном вулкане требуется тщательное исследование процессов и получение достоверных исходных данных. Моделирова-

ние распространения лахаров и путей движения пирокластических потоков производилось для вулкана Мигер (Британская Колумбия) с использованием цифровых моделей рельефа [Warwick et al., 2022], которые были построены по данным *LiDAR* и *SRTM* с разрешением 30 м [Гусев и др., 2022; Рязанов, Кулагина, 2022]. Большое количество моделей и карт вулканопасности представлено в базе данных на веб-сайте Международной ассоциации вулканологии и химии недр Земли (*IAVCEI*) [Ogburn et al., 2023]. Оценка динамики экологической обстановки и изменений экосистем как на суше, так и в окружающих морях и атмосфере после воздействия распространения продуктов извержений и дегазации Земли в зонах разломов может производиться с помощью анализа геопространства вулканов [Мелкий, Верхотуров, 2022; Chen et al., 2022; Гусев, 2023; Bisson et al., 2023; Tesfaye, 2024]. Большой интерес представляет анализ климатических изменений в условиях высокогорья на вулканах по сравнению с другими горными регионами [Бекмурзаева и др., 2022].

Вне всяких сомнений, наиболее информативным источником актуальной и объективной информации при мониторинге вулканопасных территорий служат материалы аэро- и космических съемок. Конечно, местоположение спутников на орбитах и технические возможности съемочной аппаратуры не всегда позволяют непрерывно отслеживать динамику всех процессов на активизирующемся вулкане, поэтому кроме космического мониторинга ведется сбор данных наземных наблюдений.

Первым признаком активизации вулкана и движения магмы в подводящем канале является увеличение количества и энергетики вулканотектонических землетрясений. Пожалуй, самым эффективным способом выявления первых признаков предстоящего извержения являются сейсмические наблюдения, которые ведутся при помощи датчиков автономных сейсмостанций, передающих данные по радиоканалам, а также приборов стационарных станций. Рой вулканотектонических землетрясений обычно распознается по меньшей силе и большей частоте дрожания, чем отличается от тектонических толчков, у которых напряжения, накопленные в течение продолжительного периода покоя, происходят в результате одного или нескольких сильных толчков и афтершоков. В качестве примера сейсмологических наблюдений за землетрясениями, предшествующими извержению вулкана, можно представить результаты пространственно-временного анализа данных о глубине гипоцентров выделения сейсмической энергии в периоды за несколько месяцев до извержения и во время активизации эруптивной деятельности, выполненного С.Л. Сеньюковым с коллегами (рис. 3).

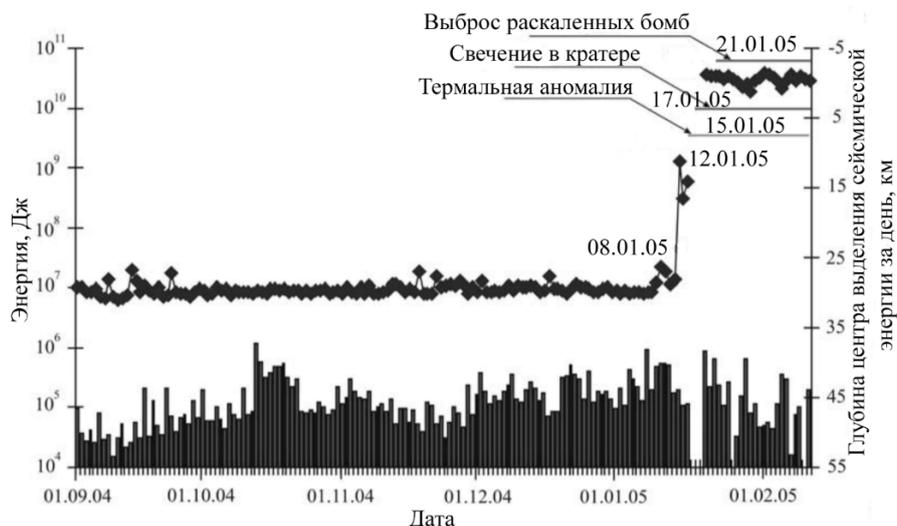


Рис. 3. Пространственно-временной анализ выделения энергии в гипоцентрах землетрясений вулкана Ключевской за период с 01 сентября 2004 г. по 27 февраля 2005 г. (по Сеньюкову и др, 2008)

Fig. 3. Spatial and temporal analysis of energy release in earthquake hypocenters of Klyuchevskaya volcano from September 01, 2004 to February 27, 2005 (by Senyukov et al., 2008)

Информация о динамике перемещения центров выделенной сейсмической энергии (ц. в. с. э.) регистрируется как рои землетрясений в течение каждых суток. В итоге было установлено, что глубина местоположения центров изменялась от 30 км до –5 км над уровнем моря. Выделенная сейсмическая энергия перед извержением 2005 года нарастала от 10^5 до 10^{11} Дж. Исследования С.Л. Сенюкова с коллегами показали, что перемещение ц. в. с. э. в верхнюю часть вулканической постройки Ключевского вулкана происходит за несколько дней до начала извержения, что позволяет считать этот процесс надежным предвестником для прогноза извержений [Сенюков и др., 2008].

Данные АКС и сейсмологических наблюдений дополняются информацией с видеокamer наблюдения, наклономеров, газоанализаторов и других приборов и датчиков, установленных непосредственно на наблюдаемом объекте или в пределах прямой видимости (рис. 4).

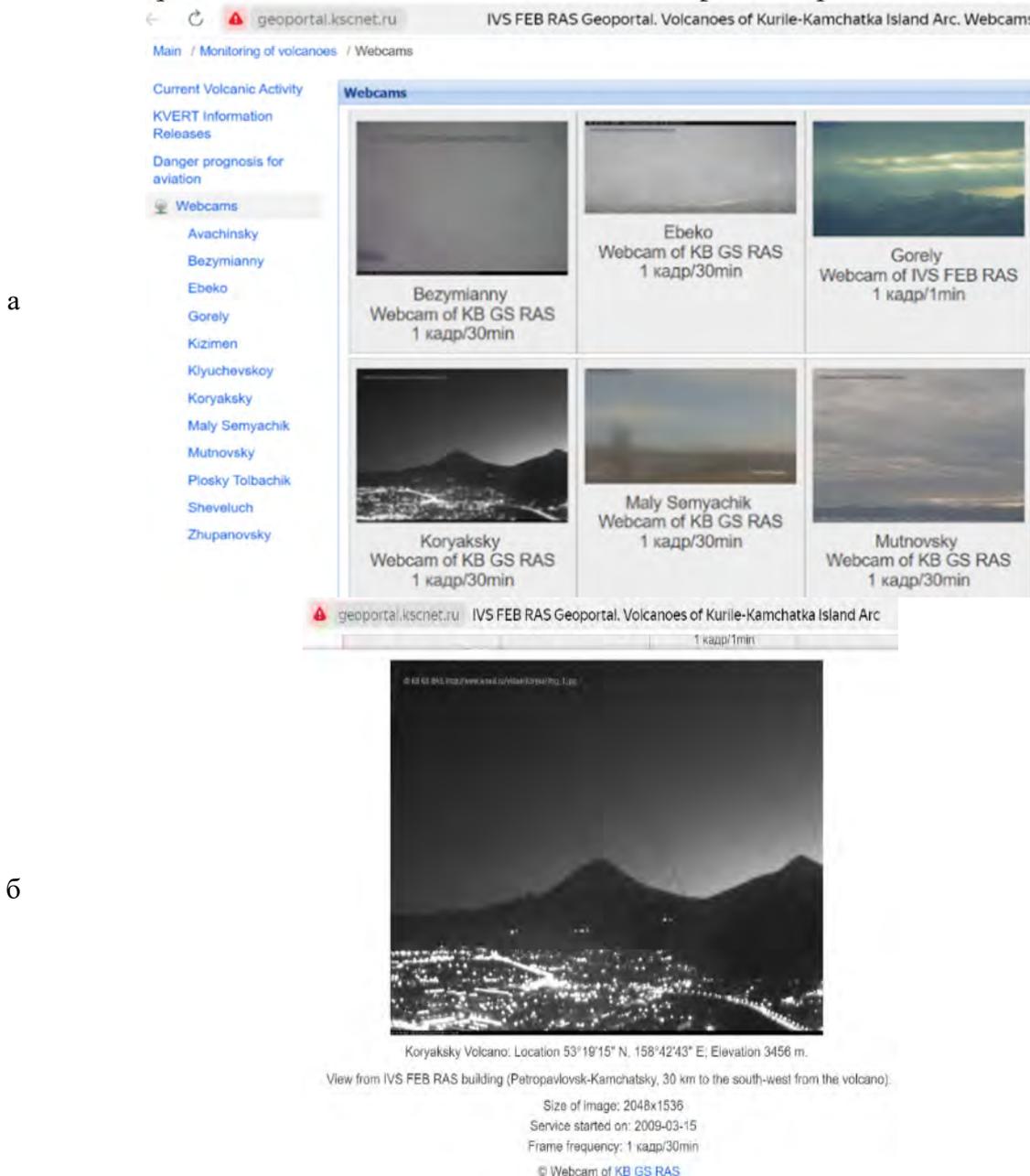


Рис. 4. Мониторинг общего состояния вулканов Камчатки видеокameraми: а – интерфейс геопортала Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; б – вид Корякского вулкана в декабре 2024 года [Геопортал..., 2024]

Fig. 4. Monitoring of the general condition of Kamchatka volcanoes with video cameras: a – interface of the geoportal of the Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; b – view of the Koryak volcano in December 2024 [Geoportal..., 2024]

Детальные съемки проводятся на вулканах, которые часто посещаются и представляют какую-либо серьезную опасность для хозяйственной деятельности (рис. 5).

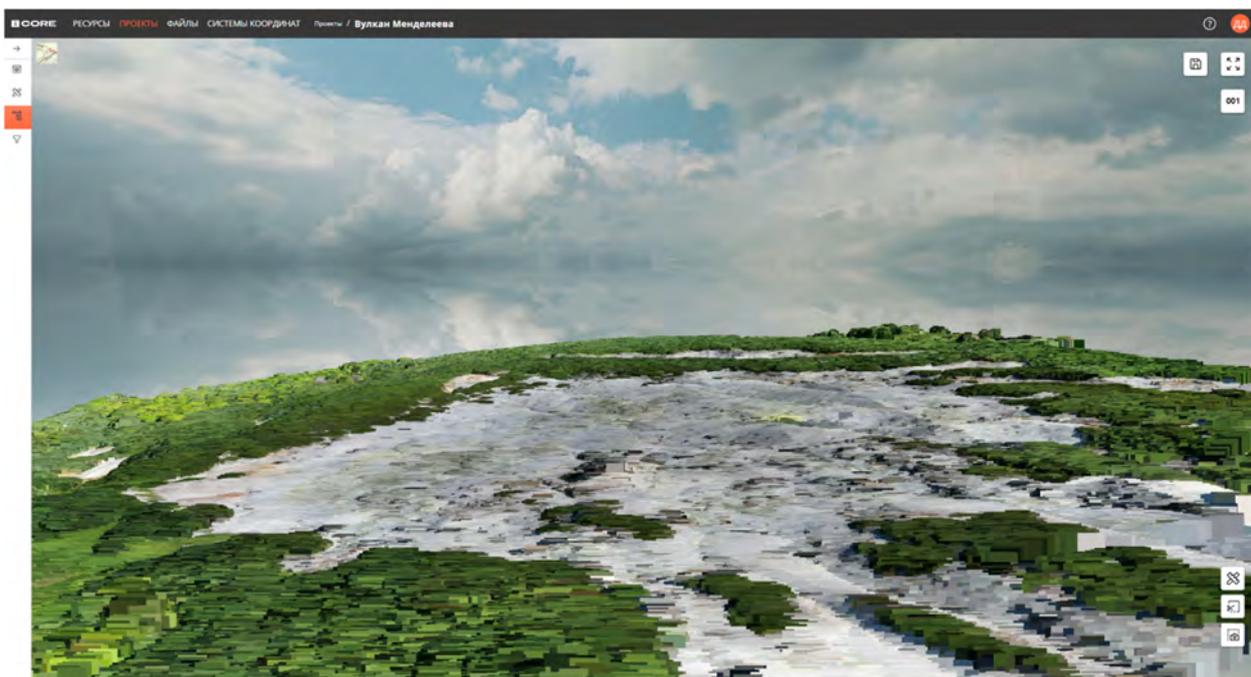


Рис. 5. Сольфатарное поле вулкана Менделеева на о. Кунашир: а) на фотографии (фото В.А. Мелкого); б) в виде трехмерной модели, полученной по материалам цифровой аэрофотосъемки (ЦАФС выполнена А.А. Верхотуровым), в веб-интерфейсе программного обеспечения ТЦП МПТС [Долгополов и др., 2022]
Fig. 5. The solphataric field of the Mendeleev volcano on Kunashir Island: a) in a photograph (photo by V. A. Melkiy); b) in the form of a three-dimensional model obtained from digital aerial photography (Digital aerial photography performed by A. A. Verkhoturov), in the web interface of the "Technological digital platform for monitoring the natural and technological environment" software [Dolgopолоv et al., 2022]



Заключение

В результате получены следующие основные результаты:

1. Сформулировано определение геопространства вулcanoопасных территорий.
2. Подтверждено, что данные ДЗЗ являются наиболее важным источником объективной и актуальной информации при мониторинге вулcanoопасных территорий, которые могут использоваться для:
 - формирования геопространственных моделей вулканов с использованием высокоточных цифровых моделей рельефа;
 - мониторинга термальных площадок дистанционными методами в инфракрасном диапазоне электромагнитных волн;
 - формирования базовой мультимасштабной пространственной основы;
 - обновления единой цифровой картографической основы;
 - зонирования территории по степени опасности;
 - решения задач оценки экологической обстановки и ее динамики в результате воздействия вулканических извержений;
 - регулярных наблюдений в радиоволновых диапазонах за разрушением экстрезивных куполов, особенно при наличии сплошной облачности.
3. Выявлены потребности в источниках данных, необходимых при построении систем мониторинга вулcanoопасных территорий.

В качестве примера модели вулкана и зонирования территории, попадающей под воздействие интенсивности вулканических процессов и пространственного распространения продуктов извержений, можно привести работу по выявлению характера деятельности эруптивного центра вулкана Эбеко. В результате исследования были выявлены зоны сильного, среднего и слабого воздействия, а позднее определены принципы и основные критерии зонирования вулcanoопасных территорий.

Список источников

- Геопортал Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2024. Электронный ресурс. URL: <http://geoportal.kscnet.ru/data.php> (дата обращения 01.12.2024)
- Долгополов Д.В., Камашев Р.А., Назаров Д.С., Удовиченко М.С. 2022. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662888 Российская Федерация. Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды: № 2022662580: заявл. 07.07.2022: опублик. 07.07.2022.
- ТЕРРА ТЕХ. Сайт АО организации Госкорпорации «Роскосмос». 2024. Электронный ресурс. URL: <https://terratech.ru/> (дата обращения 27.11.2024 г.).
- Цыганов М. Кракатау – бедствие, которое вспоминают до сих пор. РИА Новости. Электронный ресурс. URL: <https://ria.ru/20080827/150686556.html> (дата обращения: 27.11.2024).
- Global Volcanism Program. 2024. Volcanoes of the World (v. 5.2.4; 21 Oct 2024). Database. Electronic resource. Distributed by Smithsonian Institution, compiled by Venzke E. DOI: 10.5479/si.GVP.VOTW5-2024.5.2
- King H.M. Volcanic Explosivity. Geology.com. Geoscience News and Information; 2005–2024. Electronic resource. URL: <https://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/> (Date of circulation: 27.11.2024).

Список литературы

- Антонов Е.С., Лисицкий Д.В., Янкелевич С.С. 2021. Теоретико-методологическое представление прямого перехода от геоинформации к геознаниям. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 26(2): 82–90. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-82-90>
- Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В., Керимов И.А. 2022. Современные климатические тенденции горных ландшафтов Северного Кавказа на фоне глобального изменения климата. Известия

- Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 16(3): 56–62. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-3-56-62>
- Бондур В.Г. 1995. Принципы построения космической системы мониторинга Земли в экологических и природно-ресурсных целях. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2: 14–38.
- Бондур В.Г., Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. 2005. Проблемы мониторинга и предсказания природных катастроф. Исследование Земли из космоса, 1: 3–14.
- Верхотуров А.А. 2024. Обоснование зонирования вулканического воздействия на примере г. Северо-Курильск. В кн.: Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. Материалы Национальной научно-практической конференции, Новосибирск, 21–24 ноября 2024. Новосибирск, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 1: 100–106. <https://doi.org/10.33764/2687-041X-2024-1-100-106>
- Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Нуждаев А.А., Бриль А.А., Озеров А.Ю., Крамарева Л.С., Сорокин А.А. 2023. Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10–13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 20(2): 283–291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>.
- Гусев А.П. 2023. Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным Sentinel-5P TROPOMI). Региональные геосистемы, 47(4): 580–592. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-580-592>
- Гусев В.Л., Потапов С.Л., Синькова М.Г. 2022. Оценка точности цифровых моделей рельефа и цифровых моделей местности из открытых источников. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 66(1): 52–63. <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63>
- Долгополов Д.В. 2020. Использование данных дистанционного зондирования Земли при формировании геoinформационного пространства трубопроводного транспорта. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 25(3): 151–159. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159>.
- Долгополов Д.В. 2021. Геопространство трубопроводного транспорта. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 26(1): 76–85. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-1-76-85>
- Долгополов Д.В., Мелкий В.А., Верхотуров А.А. 2021. Геоинформационное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 332(12): 52–63. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028>.
- Дубровский А.В. 2022. Методические подходы к моделированию и прогнозированию рационального использования земельных ресурсов с применением геотехнологий. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 27(3): 145–156. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2022-27-3-145-156>.
- Захарихина Л.В., Рашидов В.А., Аникин Л.П. 2021. Геохимия и потенциальное плодородие вулканических пеплов извержений вулканов Алайд и Эбеко (Курильские острова). Вулканология и сейсмология, 5: 46–62. <https://doi.org/10.31857/S0203030621050072>
- Зверев А.Т., Малинников В.А. 2011. Космический геоэкологический мониторинг северных территорий России. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 6: 68–73.
- Зверев А.Т., Малинников В.А., Савиных В.П. 2011. Космический мониторинг динамики ледников Новой Земли и Земли Франца-Иосифа. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 5: 72–75.
- Карпик А.П. 2004. Методологические и технологические основы геoinформационного обеспечения территорий. Новосибирск, СГГА, 259 с.
- Карпик А.П. 2013. Основные принципы формирования геодезического информационного пространства. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, S4: 73–78.



- Карпик А.П., Лисицкий Д.В., Мусихин И.А. 2023. Развитие геопространственной деятельности в России: стратегические направления и первоочередные задачи. *Геодезия и картография*, 84(12): 49–58. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1002-12-49-58>
- Лисецкий Ф.Н., Голеусов П.В., Буряк Ж.А. 2024. Допустимые эрозионные потери почвы и скорости почвообразования в контексте регулирования углеродного баланса. *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*, 79(3): 139–151. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-139-151>
- Мазарович А.О., Соколов С.Ю. 2022. Опасность разрушения вулкана Бернбург (остров Ян-Майен, Норвежско-Гренландское море). *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, 504(2): 163–167. <https://doi.org/10.31857/S2686739722060111>
- Мелкий В.А. 1999. *Аэрокосмический мониторинг вулканоопасных территорий: теория и методы*. Дис. ... докт. тех. наук. М., 337 с.
- Мелкий В.А., Верхотуров А.А. 2022. Современное состояние растительного покрова вулкана Головнина по данным космических съемок (о. Кунашир, Курильские острова). *Региональные геосистемы*, 46(4): 555–573. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-555-573>
- Мелкий В.А., Верхотуров А.А., Братков В.В. 2024. Зонирование воздействия вулкана Эбеко (Курильские острова) на прилегающие земли по данным материалов аэрокосмических съемок. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 68(1): 21–32. <https://doi.org/10.30533/GiA-2024-002>
- Рязанов С.С., Кулагина В.И. 2022. Сравнительная оценка вертикальной точности цифровых моделей высот – SRTM, ALOS WORLD 3D, ASTER GDEM и MERIT DEM на примере лесной и пойменной зоны национального парка «Нижняя Кама». *Геосферные исследования*, 1: 107–117. <https://doi.org/10.17223/25421379/22/8>
- Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я. 2008. Пространственно-временной анализ землетрясений вулкана Ключевской за 1999–2007 гг. В кн.: *Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России*. Труды региональной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 11–17 ноября 2007. Обнинск, Единая геофизическая служба Российской академии наук: 120–124.
- Сывороткин В.Л. 2017. Извержения вулканов. *Пространство и время*, 1(27): 196–213.
- Хорошилов В.С., Павловская О.Г., Кобелева Н.Н., Ямбаев Х.К. 2023. Математическое моделирование динамики перемещений оползневых склонов в условиях техногенных воздействий. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*, 28(1): 45–58. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-1-45-58>
- Aveni S., Blackett M. 2022. The First Evaluation of the FY-3D/MERSI-2 Sensor's Thermal Infrared Capabilities for Deriving Land Surface Temperature in Volcanic Regions: A Case Study of Mount Etna. *International Journal of Remote Sensing*, 43(8): 2777–2792. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2068360>
- Belousov A., Belousova M., Kotenko T., Auer A., Walter T.R. 2021. Mechanism of the Historical and the Ongoing Vulcanian Eruptions of Ebeko Volcano, Northern Kuriles. *Bulletin of Volcanology*, 83(1): 4. <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01426-z>
- Bisson K.M., Gassó S., Mahowald N., Wagner S., Koffman B., Carn S.A., Deutsch S., Gazel E., Kramer S., Krotkov N., Mitchell C., Pritchard M.E., Stamieszkin K., Wilson C. 2023. Observing Ocean Ecosystem Responses to Volcanic Ash. *Remote Sensing of Environment*, 296: 113749. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113749>
- Burgisser A., Peccia A., Plank T., Moussallam Y. 2024. Numerical Simulations of the Latest Caldera-Forming Eruption of Okmok Volcano, Alaska. *Bulletin of Volcanology*, 86(9): 77. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01765-1>
- Calvari S., Nunnari G. 2024. Reawakening of Voragine, the Oldest of Etna's Summit Craters: Insights from a Recurrent Episodic Eruptive Behavior. *Remote Sensing*, 16(22): 4278. <https://doi.org/10.3390/rs16224278>
- Campus A., Laiolo M., Massimetti F., Coppola D. 2022. The Transition from MODIS to VIIRS for Global Volcano Thermal Monitoring. *Sensors*, 22(5): 1713. <https://doi.org/10.3390/s22051713>
- Chen J., Chen Y., Liu Z. 2021. Classification of Typical Tree Species in Laser Point Cloud Based on Deep Learning. *Remote Sensing*, 13(23): 4750. <https://doi.org/10.3390/rs13234750>

- Chen Z., Jacob D.J., Nesser H., Sulprizio M.P., Lorente A., Varon D.J., Xiao Lu, Lu Shen, Qu Z., Penn E., Yu X. 2022. Methane Emissions from China: a High-Resolution Inversion of TROPOMI Satellite Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(16): 10809–10826. <https://doi.org/10.5194/acp-22-10809-2022>.
- Fink J., Anderson S. 2023. Lessons Learned from the 1980–1986 Eruption of the Mount St. Helens Composite Lava Dome. *Bulletin of Volcanology*, 85(6): 35. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01642-3>
- Genzano N., Marchese F., Plank S., Pergola N. 2023. Monitoring the Mauna Loa (Hawaii) Eruption of November–December 2022 from Space: Results from Goes-r, Sentinel-2 and Landsat-8/9 Observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122: 103388. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103388>
- Khoroshilov V.S., Kobeleva N.N., Noskov M.F. 2022. Analysis of Possibilities to Use Predictive Mathematical Models for Studying the Dam Deformation State. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 8(2): 733–744. <https://doi.org/10.22055/jacm.2022.38005.3129>
- Liu X, Lian X, Yang W, Wang F, Han Y, Zhang Y. 2022. Accuracy Assessment of a UAV Direct Georeferencing Method and Impact of the Configuration of Ground Control Points. *Drones*, 6(2): 30. <https://doi.org/10.3390/drones6020030>
- Mannini S., Ruch J., Hazlett R.W., Downs D.T., Parcheta C.E., Lundblad S.P., Anderson J.L., Perry R., Oestreicher N. 2024. Tracking Magma Pathways and Surface Faulting in the Southwest Rift Zone and the Koa'e Fault System (Kīlauea Volcano, Hawai'i) Using Photogrammetry and Structural Observations. *Bulletin of Volcanology*, 86: 45. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01735-7>
- Martí J., Becerril L., Rodríguez A. 2022. How Long-Term Hazard Assessment May Help to Anticipate Volcanic Eruptions: the Case of La Palma Eruption 2021 (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431: 107699. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107669>
- Ogburn S.E., Charlton D., Norgaard D., Wright H.M., Calder E.S., Lindsay J., Ewert J., Takarada S., Tajima Y. 2023. The Volcanic Hazard Maps Database: an initiative of the IAVCEI Commission on Volcanic Hazards and Risk. *Journal of Applied Volcanology*, 12: 2. <https://doi.org/10.1186/s13617-022-00128-9>
- Peccia A., Moussallam Y., Plank T., DallaSanta K., Polvani L., Burgisser A., Larsen J., Schaefer J. 2023. A New Multi-Method Assessment of Stratospheric Sulfur Load from the Okmok II Caldera-Forming Eruption of 43 BCE. *Geophysical Research Letters*, 50(21): e2023GL103334. <https://doi.org/10.1029/2023GL103334>.
- Ridolfi F., Almeev R.R., Ozerov A.Yu., Holtz F. 2023. Amp-TB2 Protocol and Its Application to Amphiboles from Recent, Historical and Pre-historical Eruptions of Bezymianny volcano, Kamchatka. *Minerals*, 13(11): 1394. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.2133.v1>
- Tesfaye W., Elias E., Warkineh B. Tekalign M., Abebe G. 2024. Modeling of Land Use and Land Cover Changes Using Google Earth Engine and Machine Learning Approach: Implications for Landscape Management. *Environmental Systems Research*, 13: 31. <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00366-3>
- Warwick R, Williams-Jones G, Kelman M, Witter J. 2022. A Scenario-Based Volcanic Hazard Assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia. *Journal of Applied Volcanology*, 11: 5. <https://doi.org/10.1186/s13617-022-00114-1>

References

- Antonov E.S., Lisitsky D.V., Yankelevich S.S. 2021. Theoretical and Methodological Representation of the Direct Transition from Geoinformation to Geoscience. *Vestnik of SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 26(2): 82–90. (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-2-82-90>
- Bekmurzaeva L.R., Bratkov V.V., Kerimov I.A. 2022. Current Climatic Trends in the Mountain Landscapes of the North Caucasus Against the Backdrop of Global Climate Change. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*, 16(3): 56–62 (in Russian) <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-3-56-62>



- Bondur V.G. 1995. Printsipy postroyeniya kosmicheskoy sistemy monitoringa Zemli v ekologicheskikh i prirodno-resursnykh tselyakh [Principles of Building a Space System for Monitoring the Earth for Environmental and Natural Resource Purposes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerialphotography*, 2: 14–38.
- Bondur V.G., Kondratiev K.Ya., Krapivin V.F., Savinykh V.P. 2005. The Problems of Monitoring and Forecasting of Natural Catastrophes. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 1: 3–14 (in Russian).
- Verkhoturov A.A. 2024. Obosnovanie zonirovaniya vulkanicheskogo vozdeystviya na primere g. Severo-Kuril'sk [Justification of Zoning of Volcanic Impact on the Example of Severo-Kurilsk city]. In: *Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya* [Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions]. Materials of the National Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, 21–24 November 2024. Novosibirsk, Publ. Siberian State University of Geosystems and Technologies, 1: 100–106. <https://doi.org/10.33764/2687-041X-2024-1-100-106>
- Girina O.A., Loupian E.A., Horvath A., Melnikov D.V., Manevich A.G., Nuzhdaev A.A., Bril A.A., Ozerov A.Yu., Kramareva L.S., Sorokin A.A. 2023. Analysis of the Development of the Paroxysmal Eruption of the Sheveluch Volcano on April 10–13, 2023, Based on Data from Various Satellite Systems. *Modern problems of science and education*, 20(2): 283–291 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>
- Gusev A.P. 2023. Methane Flows in the Troposphere: Geological and Anthropogenic Sources (According to Sentinel-5P TROPOMI Data). *Regional Geosystems*, 47(4): 580–592 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-580-592>
- Gusev V.L., Potapov S.L., Sinkova M.G. 2022. Open sources digital terrain model's and digital elevation models accuracy estimation. *Izvestia VUZOV. Geodesy and aerophotosurveying*, 66(1): 52–63 (in Russian). <https://doi.org/10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63>
- Dolgopolov D.V. 2020. Use of Earth Remote Sensing Data for Formation of Geodata Space of Pipeline Transport. *Vestnik SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 25(3): 151–159 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-151-159>
- Dolgopolov D.V. 2021. Pipeline Transport Geospaces. *Vestnik SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 26(1): 76–85 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2021-26-1-76-85>
- Dolgopolov D.V., Melkiy V.A., Verkhoturov A.A. 2021. Geoinformation Support for Safe Operation of Pipeline Transport. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 332(12): 52–63 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028>
- Dubrovsky A.V. 2022. Methodological Approaches to Modeling and Forecasting of Rational Use of Land Resources Using Geotechnologies. *Vestnik SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 27(3): 145–156 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2022-27-3-145-156>
- Zakharikhina L.V., Rashidov V.A., Anikin L.P. 2021. The Geochemistry and Potential Fertility of Volcanic Ash Discharged by Alaid and Ebeko Volcanoes, Kuril Islands. *Journal of Volcanology and Seismology*, 15(5): 333–348. (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0742046321050079>
- Zverev A.T., Malinnikov V.A. 2011. Kosmicheskii geoeologicheskii monitoring severnykh territoriy Rossii [Space Geoeological Monitoring of the Northern Territories of Russia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerialphotography*, 6: 68–73.
- Zverev A.T., Malinnikov V.A., Savinykh V.P. 2011. Kosmicheskii monitoring dinamiki lednikov Novoy Zemli i Zemli Frantsa-Iosifa [Space Monitoring of the Dynamics of Glaciers of Novaya Zemlya and Franz Josef Land]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerialphotography*, 5: 72–75.
- Karpik A.P. 2004. Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territoriy [Methodological and Technological Foundations of Geoinformation Support of Territories]. Novosibirsk, Publ. SGGA, 259 p.
- Karpik A.P. 2013. Osnovnyye printsipy formirovaniya geodezicheskogo informatsionnogo prostranstva [Basic Principles of Geodesic Information Space Formation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerialphotography*, S4: 73–78. (in Russian).

- Karpik A.P., Lisitsky D.V., Musikhin I.A. 2023. Development of Geospatial Activity in Russia: Strategic Directions and Priority Tasks. *Geodesy and cartography*, 84(12): 49–58 (in Russian). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2023-1002-12-49-58>
- Lisetskii F.N., Goleusov P.V., Buryak Zh.A. 2024. Tolerable soils erosion losses and soil formation rates in the context of carbon balance regulation. *Lomonosov Soil Science Journal*, 79(3): 139–151 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-139-151>
- Mazarovich A.O., Sokolov S.Yu. 2022. The Risk of Destruction of Berenberg Volcano (Jan Mayen Island, Norwegian-Greenland Sea). *Doklady Earth Sciences*, 504(2): 368–371 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1028334X22060113>
- Melkiy V.A. 1999. *Aerokosmicheskiy monitoring vulkanoopasnykh territoriy: teoriya i metody* [Aerospace Monitoring of Volcano-Prone Areas: Theory and Methods]. Dis. ... Doct. Tech. Sciences. Moscow, 337 p.
- Melkiy V.A., Verkhoturov A.A. 2022. Current State of the Vegetation Cover of Golovnin Volcano by Space Survey Data (Kunashir Island, Kuril Islands). *Regional Geosystems*, 46(4): 555–573 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-4-555-573>
- Melkiy V.A., Verkhoturov A.A., Bratkov V.V. 2024. Zoning of the Impact of the Ebeko Volcano (Kuril Islands) on Adjacent Lands by the Materials of Aerospace Surveys. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodesy and aerialphotography*, 68(1): 21–32 (in Russian). <https://doi.org/10.30533/GiA-2024-002>
- Ryazanov S.S., Kulagina V.I. 2022. Comparative Accuracy Assessment of Digital Elevation Models (SRTM, ALOS WORLD 3D, ASTER GDEM, MERIT DEM) on the Example of Forest and Floodland Zones of the National Park “Nizhnyaya Kama”. *Geosphere Research*, 1: 107–117 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/25421379/22/8>
- Senyukov S.L., Nuzhdina I.N., Droznina S.Ya. 2008. Prostranstvenno-vremennoj analiz zemletrjasenij vulkana Kljuchevskoy za 1999-2007 gg. [Spatial and Temporal Analysis of the Klyuchevskaya Volcano Earthquakes in 1999-2007]. In: *Geofizicheskiy monitoring i problemy seismicheskoy bezopasnosti Dal'nego Vostoka Rossii* [Geophysical monitoring and problems of seismic safety in the Russian Far East]. Proceedings of the regional scientific and technical conference, Petropavlovsk-Kamchatsky, 11–17 November 2007. Obninsk, Publ. Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiyskoy akademii nauk: 120–124.
- Syvorotkin V.L. 2017. Volcanic Eruptions. *Space and Time*, 1(27): 196–213 (in Russian).
- Khoroshilov V.S., Pavlovskaya O.G., Kobeleva N.N., Yambaev Kh.K. 2023. Mathematical Modeling of the Displacement's Dynamics of Landslide Slopes Under the Conditions of Technogenic Impacts. *Vestnik SGUGT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*, 28(1): 45–58 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-1-45-58>
- Aveni S., Blackett M. 2022. The First Evaluation of the FY-3D/MERSI-2 Sensor's Thermal Infrared Capabilities for Deriving Land Surface Temperature in Volcanic Regions: A Case Study of Mount Etna. *International Journal of Remote Sensing*, 43(8): 2777–2792. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2068360>
- Belousov A., Belousova M., Kotenko T., Auer A., Walter T.R. 2021. Mechanism of the Historical and the Ongoing Vulcanian Eruptions of Ebeko Volcano, Northern Kuriles. *Bulletin of Volcanology*, 83(1): 4. <https://doi.org/10.1007/s00445-020-01426-z>
- Bisson K.M., Gassó S., Mahowald N., Wagner S., Koffman B., Carn S.A., Deutsch S., Gazel E., Kramer S., Krotkov N., Mitchell C., Pritchard M.E., Stamieszkin K., Wilson C. 2023. Observing Ocean Ecosystem Responses to Volcanic Ash. *Remote Sensing of Environment*, 296: 113749. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113749>
- Burgisser A., Peccia A., Plank T., Moussallam Y. 2024. Numerical Simulations of the Latest Caldera-Forming Eruption of Okmok Volcano, Alaska. *Bulletin of Volcanology*, 86(9): 77. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01765-1>
- Calvari S., Nunnari G. 2024. Reawakening of Voragine, the Oldest of Etna's Summit Craters: Insights from a Recurrent Episodic Eruptive Behavior. *Remote Sensing*, 16(22): 4278. <https://doi.org/10.3390/rs16224278>
- Campus A., Laiolo M., Massimetti F., Coppola D. 2022. The Transition from MODIS to VIIRS for Global Volcano Thermal Monitoring. *Sensors*, 22(5): 1713. <https://doi.org/10.3390/s22051713>



- Chen J., Chen Y., Liu Z. 2021. Classification of Typical Tree Species in Laser Point Cloud Based on Deep Learning. *Remote Sensing*, 13(23): 4750. <https://doi.org/10.3390/rs13234750>
- Chen Z., Jacob D.J., Nesser H., Sulprizio M.P., Lorente A., Varon D.J., Xiao Lu, Lu Shen, Qu Z., Penn E., Yu X. 2022. Methane Emissions from China: a High-Resolution Inversion of TROPOMI Satellite Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(16): 10809–10826. <https://doi.org/10.5194/acp-22-10809-2022>.
- Fink J., Anderson S. 2023. Lessons Learned from the 1980–1986 Eruption of the Mount St. Helens Composite Lava Dome. *Bulletin of Volcanology*, 85(6): 35. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01642-3>
- Genzano N., Marchese F., Plank S., Pergola N. 2023. Monitoring the Mauna Loa (Hawaii) Eruption of November–December 2022 from Space: Results from Goes-r, Sentinel-2 and Landsat-8/9 Observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122: 103388. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103388>
- Khoroshilov V.S., Kobeleva N.N., Noskov M.F. 2022. Analysis of Possibilities to Use Predictive Mathematical Models for Studying the Dam Deformation State. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 8(2): 733–744. <https://doi.org/10.22055/jacm.2022.38005.3129>
- Liu X, Lian X, Yang W, Wang F, Han Y, Zhang Y. 2022. Accuracy Assessment of a UAV Direct Georeferencing Method and Impact of the Configuration of Ground Control Points. *Drones*, 6(2): 30. <https://doi.org/10.3390/drones6020030>
- Mannini S., Ruch J., Hazlett R.W., Downs D.T., Parcheta C.E., Lundblad S.P., Anderson J.L., Perry R., Oestreicher N. 2024. Tracking Magma Pathways and Surface Faulting in the Southwest Rift Zone and the Koa‘e Fault System (Kilauea Volcano, Hawai‘i) Using Photogrammetry and Structural Observations. *Bulletin of Volcanology*, 86: 45. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01735-7>
- Martí J., Becerril L., Rodríguez A. 2022. How Long-Term Hazard Assessment May Help to Anticipate Volcanic Eruptions: the Case of La Palma Eruption 2021 (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431: 107699. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107669>
- Ogburn S.E., Charlton D., Norgaard D., Wright H.M., Calder E.S., Lindsay J., Ewert J., Takarada S., Tajima Y. 2023. The Volcanic Hazard Maps Database: an initiative of the IAVCEI Commission on Volcanic Hazards and Risk. *Journal of Applied Volcanology*, 12: 2. <https://doi.org/10.1186/s13617-022-00128-9>
- Peccia A., Moussallam Y., Plank T., DallaSanta K., Polvani L., Burgisser A., Larsen J., Schaefer J. 2023. A New Multi-Method Assessment of Stratospheric Sulfur Load from the Okmok II Caldera-Forming Eruption of 43 BCE. *Geophysical Research Letters*, 50(21): e2023GL103334. <https://doi.org/10.1029/2023GL103334>.
- Ridolfi F., Almeev R.R., Ozerov A.Yu., Holtz F. 2023. Amp-TB2 Protocol and Its Application to Amphiboles from Recent, Historical and Pre-historical Eruptions of Bezymianny volcano, Kamchatka. *Minerals*, 13(11): 1394. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.2133.v1>
- Tesfaye W., Elias E., Warkineh B. Tekalign M., Abebe G. 2024. Modeling of Land Use and Land Cover Changes Using Google Earth Engine and Machine Learning Approach: Implications for Landscape Management. *Environmental Systems Research*, 13: 31. <https://doi.org/10.1186/s40068-024-00366-3>
- Warwick R, Williams-Jones G, Kelman M, Witter J. 2022. A Scenario-Based Volcanic Hazard Assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia. *Journal of Applied Volcanology*, 11: 5. <https://doi.org/10.1186/s13617-022-00114-1>

Поступила в редакцию 08.12.2024;
поступила после рецензирования 06.01.2025;
принята к публикации 04.02.2025

Received December 08, 2024;
Revised January 06, 2025;
Accepted February 04, 2025

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мелкий Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия

Долгополов Даниил Валентинович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории разработки и ведения геоинформационных систем и баз данных центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта, Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть»), г. Москва, Россия; ведущий научный сотрудник лаборатории химико-биологических исследований, Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия

Верхотуров Алексей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории островных и прибрежных электроэнергетических систем, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav A. Melkiy, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher of the laboratory of Volcanology and volcanic hazard, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Daniil V. Dolgoplov, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher at the Laboratory for the development and maintenance of geoinformation systems and databases of the Center for monitoring and geoinformation systems of pipeline transport facilities, Limited Liability Company the Pipeline Transport Institute (PTI, LLC), Moscow, Russia; Leading Researcher of the laboratory of Chemical and Biological research, Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Alexey A. Verkhotur, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher of laboratories Island and Coastal Electric power systems, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia



УДК 911.52

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-112-127

Оценка постпирогенной динамики растительности верхового болота (Западная Сибирь) на основе спутниковых данных Landsat

Синюткина А.А., Гашкова Л.П.

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа –
филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН
Россия, 634050, г. Томск, ул. Гагарина, 3
ankalaeva@yandex.ru, gashkova-lp@rambler.ru

Аннотация. Современные изменения климата и увеличение антропогенной нагрузки приводят к повышению частоты и тяжести проявления природных пожаров. Использование спутниковых данных является оптимальным подходом к оценке последствий пожаров и постпирогенного восстановления на обширных территориях, и этот метод широко применяется для лесных территорий. Но при этом практически полностью отсутствуют подобные исследования в пределах болот, несмотря на то, что пересыхающие в период продолжительной засухи болота также относятся к природным объектам с повышенной пожарной опасностью. В статье представлены результаты оценки послепожарного восстановления растительности участка Большого Васюганского болота, выгоревшего в 2016 году, выполненной на основе данных Landsat и материалов полевых геоботанических исследований. Рассмотрена временная динамика индексов NBR, NDWI и их разностных показателей за 8 лет после пожара для участков с разной интенсивностью пирогенной нагрузки, обнаружены взаимосвязи с характеристиками растительного покрова. Выявлено, что индекс NBR лучше отражает степень пирогенной нагрузки, а NDWI – послепожарное восстановление болотной растительности. Для первых 2–4 лет после пожара был характерен высокий темп роста индексов в связи с быстрым зарастанием практически открытых поверхностей кустарничками, далее рост индексов замедлился. Прогнозное восстановление значений индексов при сохранении современных темпов роста произойдет к 2028–2030 гг., то есть через 12–14 лет после пожара. Выявленные взаимосвязи индексов NBR и NDWI с характеристиками растительного покрова на примере ключевого участка могут быть использованы для оценки состояния выгоревших верховых болот на обширных территориях.

Ключевые слова: пожар, Большое Васюганское болото, NBR, NDWI, геоботанические исследования, Томская область

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-77-10024.

Для цитирования: Синюткина А.А., Гашкова Л.П. 2025. Оценка постпирогенной динамики растительности верхового болота (Западная Сибирь) на основе спутниковых данных Landsat. Региональные геосистемы, 49(1): 112–127. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-112-127

Assessment of Post-Fire Vegetation Dynamics in a Raised Bog (Western Siberia) Based on Landsat Satellite Data

Anna A. Sinyutkina, Lyudmila P. Gashkova

Siberian Federal Research Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences,
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat
3 Gagarin St, Tomsk 634050, Russia
ankalaeva@yandex.ru, gashkova-lp@rambler.ru

Abstract. Wildfires are an important factor in the transformation of mire ecosystems, and their effects persist for a long time. Despite the fact that mires drying up during prolonged droughts are among natural

© Синюткина А.А., Гашкова Л.П., 2025

sites with an increased fire risk, there has been little research on fire consequences and post-fire restoration of burnt-out areas within mires using satellite data. The article presents the results of an assessment of the post-fire vegetation restoration of a site in the Great Vasyugan mire that burned out in 2016, based on Landsat data and geobotanical field research materials. The authors analyze the temporal dynamics of the NBR, NDWI indices and their difference indicators for eight years after the fire for sites with different intensity of pyrogenic load and reveal the interrelationships with the characteristics of vegetation cover. It has been found that the NBR index better reflects the degree of pyrogenic load, and the NDWI shows the post-fire restoration of mire vegetation. The indices considered have high coefficients of determination with projective cover of trees, NBR and dNBR reflect the projective cover of dwarf shrubs and the proportion of open surfaces better than NDWI, while dNBR and dNDWI perform better in respect to the projective cover of sphagnum mosses. The first two to four years after the fire were characterized by a high growth rate of both indices, as open land was rapidly covered by dwarf shrubs, then the growth of the indices slowed down. The projected recovery of index values while maintaining current growth rates will occur by 2028–2030, that is, 12–14 years after the fire. After that, the growth of the indices is likely to continue and will reflect an increase in the projective cover of deciduous trees instead of pines. The revealed correlations of the NBR and NDWI indices with the characteristics of vegetation cover based on the example of a key site will be used to assess the state of burnt-out raised bog in vast areas.

Keywords: wildfire, Great Vasyugan mire, NBR, NDWI, geobotanical research, Tomsk region

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 22-77-10024.

For citation: Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. 2025. Assessment of Post-Fire Vegetation Dynamics in a Raised Bog (Western Siberia) Based on Landsat Satellite Data. *Regional geosystems*, 49(1): 112–127 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-112-127

Введение

В естественном состоянии, в условиях высокого увлажнения, болота в значительной степени устойчивы к возгоранию, но антропогенная нагрузка и современные климатические изменения приводят к повышению чувствительности болот к природным пожарам [Chasmer et al., 2017; Moore et al., 2017; Московченко и др., 2020; Feurdean et al., 2020; Ackley et al., 2021; Lin et al., 2021; Naas et al. 2024]. Болота, являясь одним из главных резервуаров углерода в бореальной зоне, в результате пожара становятся его источником как в процессе горения органического вещества – растений и торфа, так и за счет смены видового состава растительного покрова [Gunnarsson, 2005; Benscoter, Vitt, 2008; Bragazza et al., 2009; Davies et al., 2013; Копотева, Купцова, 2016; Cong et al., 2020; Малащук, Филиппов, 2021]. В результате горения происходит трансформация поверхности болота, выраженная в смене гидрологических условий и формировании гидрофобного слоя, что препятствует быстрому восстановлению сфагновых мхов, являющихся основными торфообразователями верховых болот [Moore et al., 2017; Kettridge et al., 2014]. Поэтому последствия пожаров сохраняются на протяжении длительного периода, и важным является проведение исследований в области оценки состояния постпиrogenных участков и прогнозирования времени восстановления растительного покрова к исходному состоянию.

Одним из основных подходов к оценке площадей распространения природных пожаров, интенсивности горения, степени трансформации растительности и процессов постпиrogenного восстановления является использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [Rein, Huang, 2021]. При этом методология исследований разработана и применяется для оценки суходольных, в том числе лесных, территорий [Барталев и др. 2015; Бондур и др. 2019]. Методы дистанционного зондирования Земли широко применяются для картографирования и мониторинга состояния водно-болотных угодий по всему миру [Кнох et al., 2017; Amani et al., 2018; Sirin et al 2020; Шинкаренко, Барталев,

2023; и др.]. Но при этом практически полностью отсутствуют исследования последствий пожаров и послепожарного восстановления выгоревших площадей в пределах болот с использованием спутниковых данных [Шинкаренко, Барталев, 2023], несмотря на то, что пересыхающие в период продолжительной засухи болота также относятся к природным объектам с повышенной пожарной опасностью [Московченко и др., 2020]. Некоторые результаты в этой области получены в рамках проведения масштабных исследований по оценке площадей распространения, частоты возникновения, постпирогенного восстановления экосистем тундровой и лесотундровой зон Западной Сибири [Корниенко 2017; Московченко и др., 2020; Тигеев и др., 2021]. Разработка подходов использования данных ДЗЗ, адаптированных к специфике болот, отличающихся высокой влажностью поверхности и широким распространением мохового покрова, является актуальной задачей в области исследований по оценке интенсивности выгорания и постпирогенного восстановления экосистем.

Цель исследования – оценка послепожарного восстановления растительности верхового болота с использованием данных ДЗЗ и материалов полевых геоботанических исследований. В частности, были поставлены следующие задачи: 1) выявить зависимости временной динамики индексов в процессе послепожарного восстановления растительного покрова на ключевом участке в сравнении с данными натурных наблюдений; 2) провести площадную оценку последствий выгорания и выявить закономерности восстановления растительности в зависимости от интенсивности пирогенной нагрузки.

Наиболее часто используемым показателем при оценке площади распространения и последствий пожаров является нормализованный индекс гарей (англ. *Normalized Burn Ratio* – *NBR*). Проведено множество исследований по оценкам последствий пожаров для лесов, в результате которых доказана тесная корреляция индекса со степенью выгорания территории [Родионова и др. 2020; Волосюк, Топаз 2022; Dvornikov et al, 2022 Швецов, 2024 и др.]. В результате предыдущего нашего исследования [Синюткина, 2024] на постпирогенном болоте было выявлено, что нормализованный разностный водный индекс (англ. *Normalized Difference Water Index* – *NDWI*) оказался более пригодным в сравнении с вегетационными индексами для оценки пирогенной нагрузки и тенденций постпирогенного восстановления в условиях верховых болот, что согласуется с результатами исследований, представленных в работах [Meingast et al, 2014; Зраенко, 2019; Муравьева, 2020; Муравьева, 2023]. Таким образом, *NBR* является оптимальным для оценки пирогенных территорий, *NDWI* обычно применяется для болот, поэтому в нашем исследовании для оценки пространственно-временной динамики постпирогенного верхового болота мы будем использовать два этих индекса.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является ключевой участок в пределах осушенной части Бакчарского болотного массива (северо-восточный отрог Большого Васюганского болота) (рис. 1). Территория исследования относится к подзоне южной тайги Западной Сибири. Площадь Бакчарского болота составляет 2700 км², на территории 77 км² в 1980-х гг. проведено осушение сетью открытых каналов с целью лесомелиорации. Расстояние между каналами 200 м. Большую часть осушенной части занимает сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз. Осушительная мелиорация была малоэффективной, ожидаемого роста древесного яруса не произошло, было отмечено увеличение проективного покрытия кустарничками и изменение соотношения видов мхов вследствие снижения уровня болотных вод [Синюткина и др., 2018; Sinyutkina, 2021]. В 2016 году в пределах осушенной части на площади около 5 км² произошел пожар.

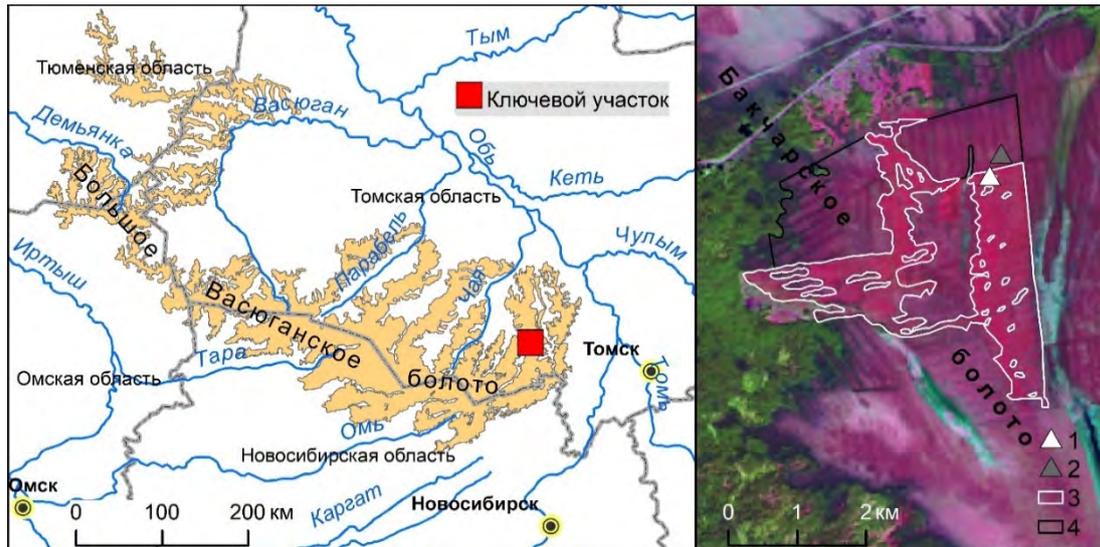


Рис. 1. Схема расположения объекта исследования: точки геоботанических описаний: 1 – постпирогенная площадка; 2 – невыгоревшая площадка; 3 – постпирогенный участок в пределах сосново-кустарничково-сфагнового болота; 4 – невыгоревший участок сосново-кустарничково-сфагнового болота (использован космический снимок Landsat 9 от 27 июля 2024 г., комбинация каналов B7, B5, B3)

Fig. 1. The map of the research object: sites of geobotanical descriptions: 1 – the post-fire site; 2 – the unburned site; 3 – the contour of the post-pyrogenic site within a pine-dwarf shrub-sphagnum bog; 4 – the unburned site of a pine-shrub-sphagnum bog (the Landsat 9 satellite image from July 27, 2024, a combination of B7, B5, B3 bands was used)

Вычисление *NDWI* и *NBR* проведено по данным *Landsat 8* и *9 OLI*, подобранным по принципу отсутствия облаков и дымки, на даты максимально близкие к середине вегетационного периода, совпадающие с периодом проведения полевых исследований. Космические снимки были получены с сайта Геологической службы США (*United States Geological Survey*, <https://www.usgs.gov>). Обработка была выполнена в программной оболочке *QGIS 3.28*. С помощью модуля *Semi-Automatic Classification Plugin* была проведена атмосферная и радиометрическая коррекция многоканальных сцен. Всего было использовано 10 сцен для анализа, 3 из которых относятся к годам до возникновения пожара (2014–2016) и 7 сцен после пожара (2017–2021 и 2023–2024), 2022 был исключен из анализа по причине отсутствия безоблачного снимка. Снимки относятся к периоду от 29 июня до 01 августа, средняя дата 17 июля. В качестве допозарного значения индексов (*NDWIprefire* и *NBRprefire*) было принято среднее значение за 3 года. Расчет индексов проведен с использованием растрового калькулятора *QGIS 3.28* по следующим формулам:

$$NDWI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1);$$
$$NBR = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2),$$

где *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра (B5), *SWIR1,2* – отражение в коротковолновой инфракрасной области спектра (B6, B7).

Были рассчитаны разностные показатели с использованием двух подходов: 1) разница между значениями индексов до пожара (*prefire*, среднее за три года) и по годам после пожара *postfire* для постпирогенного участка (*dNDWI* и *dNBR*); 2) разница между значениями для контура невыгоревшей территории сосново-кустарничково-сфагнового болота и постпирогенного участка по годам. Первый подход был использован для деления территории на классы пирогенной нагрузки по интенсивности трансформации болот; второй – для рассмотрения временной динамики индексов, чтобы исключить влияния межгодовых различий, связанных со сдвигом дат съемки по времени в течение вегетационного периода.

Расчет индексов проводился отдельно для точки полевых описаний (среднее значение для 4 соседних пикселей) и для постпирогенного (в целом и по классам пирогенной нагрузки) и фонового контуров (рис. 1, правая часть). Выделение постпирогенного контура проведено визуальным методом с использованием сцены за 2017 год (первый год после пожара). Площадь контура составила 4,97 км². Фоновый участок состоит из двух контуров общей площадью 3,83 км² в пределах осушенной части сосново-кустарничково-сфагнового болота, непосредственно примыкающего к постпирогенному участку. Разделение на классы пирогенной нагрузки проведено согласно значениям dNBR для 2017 года. В зависимости от значения разностного индекса, постпирогенный контур был разделен на три класса по степени повреждения растительного покрова (классы пирогенной нагрузки): слабая (0–0,2), средняя (0,2–0,4) и сильная (0,4–0,7). Характеристика выделенных классов приведена согласно данным полевых исследований, проведенных в 2023 году в пределах постпирогенного участка, результаты которых представлены в [Синюткина, 2024].

Полевые геоботанические описания проводились на площадке в северной части постпирогенного участка каждый год, начиная с первого года после пожара во второй половине июля, таким образом для анализа использовались данные 8 геоботанических описаний. Кроме того, использованы данные геоботанического описания, выполненного на фоновой точке в 2024 году. Геоботанические описания включали определение проективного покрытия видов всех растительных ярусов и суммарного покрытия каждым ярусом, оценку доли открытой поверхности.

Статистическая обработка данных включала проведение линейного регрессионного анализа с определением коэффициентов детерминации (R^2) между индексами и характеристиками растительного покрова, их уровней значимости (p-value) и разностей между наблюдаемыми и предсказанными значениями. Коэффициент детерминации считался значимым при p-value < 0,05. На основе регрессионного анализа сделаны выводы о возможности использования индексов NBR и NDWI для оценки послепожарного восстановления растительного покрова верховых болот. Для оценки тесноты связи между переменными применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Результаты и их обсуждение

Характеристика послепожарного восстановления растительного покрова ключевого участка по данным геоботанических описаний

До пожара изучаемый участок представлял сосново-кустарничково-сфагновое верховое болото, растительный покров которого соответствовал невыгоревшему контуру в пределах осушенной части Бакчарского болота. Древесный ярус с общим проективным покрытием (ОПП) 50% представлен сосной (*Pinus sylvestris* L.) высотой до 2,5 м. Подрост также образует сосна до 1 м высотой, с проективным покрытием (ПП) 10%. В травяно-кустарничковом ярусе с ОПП 70% доминирует хамедафне (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.) (проективное покрытие (ПП) 30%). Кроме того, из кустарничков встречаются андромеда (*Andromeda polifolia* L.) (ПП 10%), багульник (*Rhododendron tomentosum* Hartmaja) (ПП 10%) и клюква (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.) (ПП 5%). Травянистые растения представлены пушицей (*Eriophorum vaginatum* L.) (ПП 10%), которая встречается в понижениях и на невысоких кочках, морошкой (*Rubus chamaemorus* L.) (5%) и росянкой (*Drosera rotundifolia* L.) (ПП < 5%). Моховой ярус с ОПП 95% представлен преимущественно сфагновыми мхами: *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. (ПП на кочках 70%) с примесью *Calypogeia sphagnicola* (Arnell et J. Perss.) Warnst. et Loeske. В понижениях встречаются *Sphagnum balticum* (Russ.) Russ.ex C.Jens. (ПП 15%), *Sphagnum divinum* Flatberg & K. Hassel (ПП 5%), *Sphagnum angustifolium* (Russ.ex Russ.) C.Jens. (ПП 5%) и лишайниками рода *Cladonia* (ПП 5%).

В результате пожара выгорело до 60 % поверхности, в основном в понижениях. Древесный ярус погиб полностью, остались обугленные стволы *Pinus sylvestris* с ветками. На моховых подушках, образованных *Sphagnum fuscum*, сохранилось только около 10 % живого мха и единичные кустарнички (*Vaccinium uliginosum* L. и *Chamaedaphne calyculata*). Уже в июле 2017 года начал активно восстанавливаться травяно-кустарничковый ярус (*Vaccinium uliginosum*, *Rhododendron tomentosum*, *Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Eriophorum vaginatum* и *Rubus chamaemorus*), ОПП которого на кочках составляет 30 %, а в межкочьях 10 %. В моховом ярусе появляется *Polytrichum strictum* Menzies ex Brid. (ПП 5 %).

В 2018 году с единичных всходов *Populus tremula* L. начинает восстанавливаться древесный ярус. Травяно-кустарничковый ярус активно разрастается, и его ОПП уже составляет 80 % на кочках и 20 % в понижениях. В межкочьях продолжается увеличение обилия *Polytrichum strictum* (ПП 10 %), появляются единичные куртины *Marchantia polymorpha* L. (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Характеристики растительного покрова и значения индексов
в процессе послепожарного восстановления
Vegetation cover characteristics and index values during post-fire recovery

Год	Доля открытых поверхностей, %	Проективное покрытие, %					NBR	NDWI
		<i>Sphagnum</i> живой	<i>Sphagnum</i> погибший	<i>Polytrichum</i>	Травяно-кустарничковый ярус	Древесный ярус		
2017	60	10	50	5	20	0	0,152	-0,029
2018	50	10	45	10	50	1	0,260	0,058
2019	40	10	30	30	60	5	0,305	0,070
2020	40	15	10	30	70	5	0,280	0,025
2021	30	15	5	50	70	5	0,266	0,056
2022	20	15	0	60	80	5	–	–
2023	10	20	0	60	80	10	0,375	0,094
2024	10	40	0	50	80	10	0,391	0,092
Фон	0	60	0	0	70	50	0,500*	0,217*

* средние значения за период 2014–2024 гг.

В 2019 году появляются всходы *Betula pubescens* Ehrh., и ОПП древесных растений составляет около 5 %. В травяно-кустарничковом ярусе ОПП увеличивается до 60 %, в основном за счёт доминантов *Vaccinium uliginosum* (ПП 30 %) и *Chamaedaphne calyculata* (ПП 20 %). В моховом ярусе и продолжает разрастаться *Polytrichum strictum* (ПП 30 %).

В 2020 году высота древесного подроста достигает уже 20 см и появляются единичные всходы *Pinus sylvestris*. ОПП травяно-кустарничкового яруса составляет уже 70 %. На кочках и между стеблями *Polytrichum strictum* начинает восстанавливаться *Sphagnum fuscum*, его ПП составляет уже 15 %.

С 2021 по 2024 год продолжается восстановление древесного яруса. Его ОПП к 2024 году увеличивается до 10 %, высота некоторых особей *Betula pubescens* достигает уже 1,5 метра. ОПП травяно-кустарничкового яруса увеличивается до 80 %, ПП *Vaccinium*



uliginosum до 40 %, *Chamaedaphne calyculata* до 20 %, *Rhododendron tomentosum* до 10 %, *Andromeda polifolia* до 5 %, *Eriophorum vaginatum* до 10 % и *Rubus chamaemorus* до 5 %. На поверхности торфа осталось 10 % выгоревшей площади, не занятой растительностью. На кочках восстановился погибший после пожара *Sphagnum fuscum*, к 2024 году его ПП достигает 40 %. ПП *Polytrichum strictum* увеличивалось до 2023 года и достигло 60 %, в 2024 году отмечено снижение до 50 %. В понижениях появились лишайники рода *Cladonia* (ПП 10%) (см. табл. 1).

Сопоставление динамики индексов NBR и NDWI с данным геоботанических описаний

Для определения взаимосвязей между характеристиками растительного покрова и индексами проведен линейный регрессионный анализ с определением коэффициентов детерминации и оценки их уровня значимости. Определены остатки – различия между наблюдаемыми и предсказанными значениями индексов. В целом проведенный анализ показал высокие значимые коэффициенты детерминации по всем характеристикам растительного покрова, кроме проективного покрытия *Polytrichum strictum*, для которого характерен быстрый рост в период до 2022 года с последующей стабилизацией и даже снижением (табл. 1, 2). Все рассмотренные индексы имеют высокие коэффициенты детерминации с проективным покрытием деревьями, *NBR* и *dNBR* лучше в сравнении с *NDWI* отражают проективное покрытие кустарничками и долю открытых поверхностей, а в отношении проективного покрытия сфагновыми мхами лучше себя показали *dNBR* и *dNDWI* (см. табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Коэффициенты детерминации (R^2) и уровни значимости (p-value)
Coefficients of determination (R^2) and significance levels (p-value)

Проективное покрытие	NBR		dNBR		NDWI		dNDWI	
	R^2	p-value	R^2	p-value	R^2	p-value	R^2	p-value
Открытые поверхности	0,839	0,001	0,760	0,005	0,723	0,007	0,618	0,021
<i>Sphagnum</i>	0,563	0,031	0,709	0,009	0,628	0,019	0,726	0,007
Обгоревшие мхи	0,625	0,020	0,700	0,010	0,438	0,073	0,586	0,027
<i>Polytrichum</i>	0,096	0,455	0,042	0,629	0,015	0,770	0,007	0,840
Кустарнички	0,796	0,002	0,799	0,003	0,641	0,017	0,658	0,014
Деревья	0,803	0,003	0,903	0,000	0,793	0,003	0,837	0,001

Анализ распределения остатков по годам показал различия как между индексами, так и между характеристиками растительного покрова (рис. 2). Для индекса *NBR* наибольшие остатки наблюдаются в первый год после пожара, когда наблюдаемые значения были ниже предсказанных по всем показателям, кроме проективного покрытия кустарничками. Среднее абсолютное значение остатков составляло 0,07, а максимальные значения были характерны для сфагновых мхов (0,11) и *Polytrichum strictum* (0,13). В последующие годы (2018–2020) среднее значение остатков оставалось стабильным (среднее абсолютное значение 0,026), к концу периода наблюдается тенденция к увеличению остатков до 0,036.

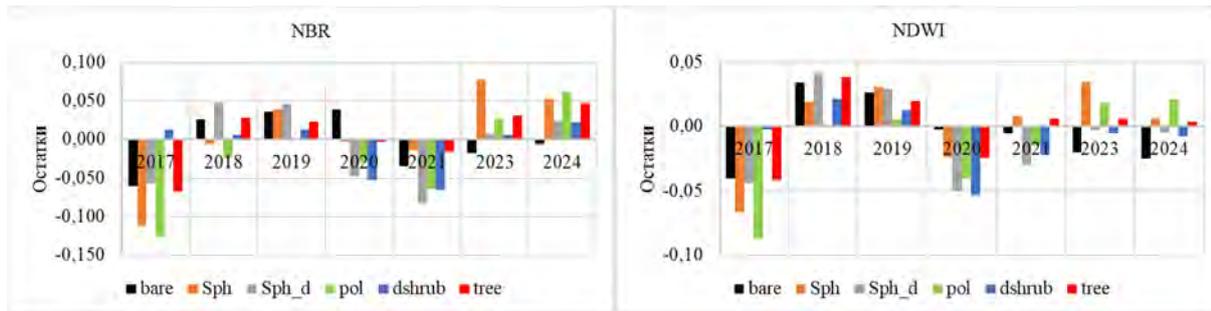


Рис. 2. Разность между наблюдаемыми и предсказанными значениями (остатки) индексов по результатам регрессионного анализа: bare – доля открытых поверхностей; проективное покрытие: Sph – живые сфагновые мхи; Sph_d – погибшие сфагновые мхи; pol – *Polytrichum strictum*; dshrub – кустарнички; tree – подрост
Fig. 2. The difference between the observed and predicted values (residuals) of the indices according to the results of regression analysis: bare – the proportion of open surfaces; projective cover: Sph – live sphagnum mosses; Sph_d – dead sphagnum mosses; pol – *Polytrichum strictum*; dshrub – dwarf shrubs; tree – undergrowth

Среднее значение абсолютных остатков за период 2017–2024 гг. равно 0,036, что составляет всего 12 % от среднего значения *NBR*. Отмечено, что для сфагновых мхов разница между предсказанными и наблюдаемыми значениями увеличилась к концу периода, предсказанные значения были ниже наблюдаемых в среднем на 0,065 в последние два года. Для открытых поверхностей наоборот наблюдается уменьшение абсолютных значений остатков. По остальным растительным ярусам выраженных тенденций не отмечено. Для индекса *NDWI* абсолютные значения остатков были выше в первый год после пожара (0,046), когда было отмечено превышение предсказанных значений над наблюдаемыми.

Далее происходит снижение остатков, и в 2024 году среднее абсолютное значение достигает 0,011. Несмотря на меньшие значения остатков по *NDWI* (0,024) в сравнении с *NBR*, они составляют 46 % от среднего значения *NDWI* за рассматриваемый период. Таким образом, можно предположить, что индекс *NBR* является хорошим показателем для оценки долей открытых поверхностей на горях в течение длительного периода после пожара, но при этом плохо отражает проективное покрытие живыми сфагновыми мхами. Индекс *NDWI* лучше отражает состояние растительности в процессе восстановления, а *NBR* – пирогенную трансформацию в первые годы после пожара. При малом проективном покрытии или отсутствии ярусов индексы хуже отражают состояние растительного покрова, что наблюдалось в первый год после пожара.

Площадная оценка последствий выгорания и закономерности восстановления растительности в зависимости от интенсивности пирогенной нагрузки

Территория, относящаяся к первому классу пирогенной нагрузки, занимает 26 % площади постпирогенного участка. Класс характеризуется низкой долей выгорания поверхности, не превышающей 50 %, неполным выгоранием древесного яруса из сосны и отсутствием подроста осины и березы. Ко второму классу относится половина площади участка (52 %). Для класса характерно полное выгорание древесного яруса и частичное выгорание поверхности. В процессе постпирогенного восстановления отмечается появление подроста сосны и березы. Третий класс с высокой пирогенной нагрузкой занимает 22 % площади. Для класса характерно практически полное выгорание поверхности (75–100 %), высокое проективное покрытие *Polytrichum strictum*. В ярусе подроста преобладает береза. Общим для всех классов является практически полное восстановление кустарничкового яруса, проективное покрытие (60–80 %) и видовой состав которого не отличается между постпирогенными и невыгоревшими участками [Синюткина, 2024].

Интенсивность горения определялась уровнем болотных вод. Поэтому более интенсивному горению были подвержены участки вдоль осушительных каналов, в том числе вдоль магистрального канала, проходящего по восточной границе пирогенного участка. Участки с низкой интенсивностью горения приурочены к межканальным пространствам, характеризующимся более высоким уровнем болотных вод, и часто окружают невыгоревшие островки внутри пирогенного контура (рис. 3).

Темпы снижения значений разностных индексов различаются между классами пирогенной нагрузки и по годам, прошедшим после пожара. Среднее значение снижения $dNBR$ составило 0,040 в год. Максимальное значение 0,14 было отмечено в первый год для 3 класса. Темпы снижения были выше в первые два года после пожара для каждого класса (0,040–0,125 в год), затем темп снижения разностных индексов замедлился и даже остановился для первого класса в 2020–2021 гг.

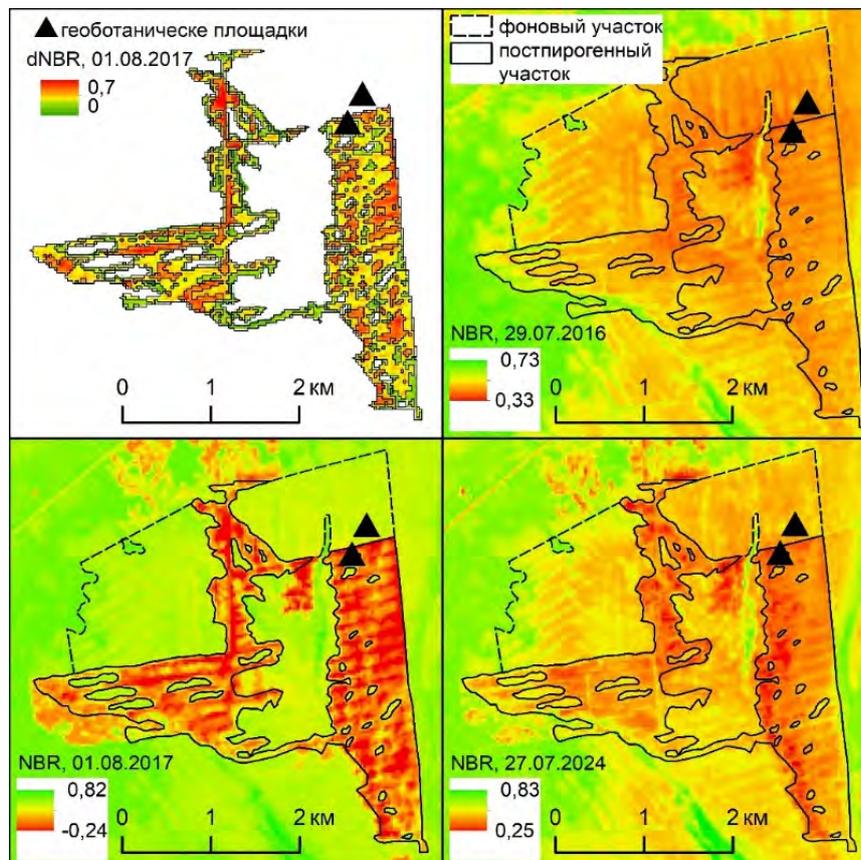


Рис. 3. Карты $dNBR$ и NBR на территорию ключевого участка
Fig. 3. Map of $dNBR$ and NBR on the territory of key sites

Закономерности изменения индекса $dNDWI$ не отличаются от $dNBR$, но характеризуются меньшей амплитудой. Среднее значение снижения составило 0,027 в год. Максимальное значение 0,095 в год также было отмечено в первый год для третьего класса (рис. 4). Высокая скорость увеличения значений индексов (или снижения разностных индексов) в первые годы обусловлена быстрым восстановлением кустарничков из сохранившихся корневищ и подземных побегов. При сохранении темпов роста индексов, характерных для периода 2021–2024 годов, восстановление NBR до фоновых значений произойдет к 2028 году, $NDWI$ к 2029–2030 году.

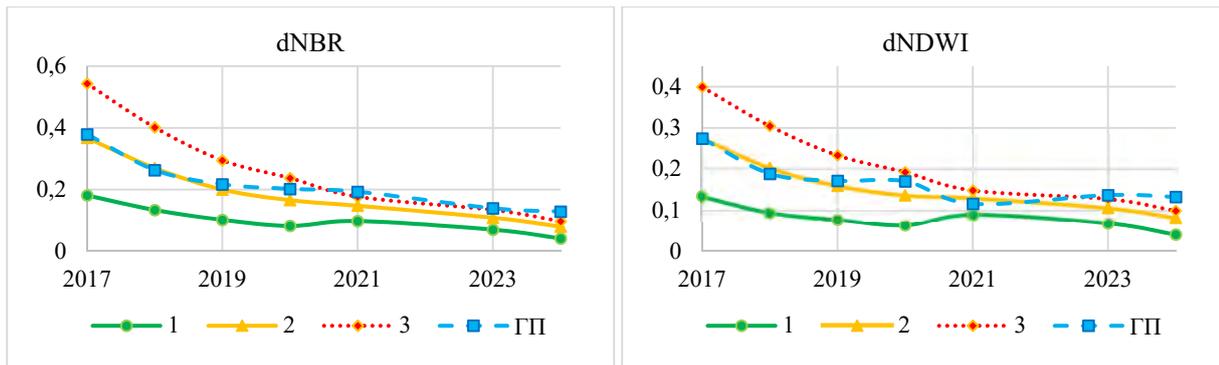


Рис. 4. Динамика индексов dNBR и dNDWI по классам пирогенной нагрузки (ГП – геоботаническая площадка на постпирогенном участке)

Fig. 4. Dynamics of dNBR and dNDWI indices by pyrogenic load classes (GP is a geobotanical site in a post-fire area)

Критерием выделения гарей является снижение спектральной яркости в ближней инфракрасной области спектра, поэтому индекс *NBR*, основанный на этом значении, часто используют для оценок площадей выгорания, интенсивности пирогенной трансформации растительности и послепожарного восстановления растительного покрова [Родионова и др., 2020; Московченко и др., 2020; Токарева и др., 2021; Волосюк, Топаз, 2022]. Индекс чувствителен к состоянию растительности и ее влагосодержанию, отличается большей амплитудой послепожарных изменений и требует большего периода восстановления в сравнении с *NDVI* [Швецов Е.Г., 2024]. Согласно данным предыдущих исследований на постпирогенном участке Бакчарского болота, через 5 лет после пожара значения *NDVI* участков с низкой долей выгорания уже не отличались от невыгоревшего участка, на остальных пирогенных участках продолжают сохраняться более низкие значения, но превышение значений невыгоревшего участка всего в 1,1 раза, при этом характеристики растительного покрова еще существенно отличались от невыгоревшей территории [Синюткина, Гашкова, 2022]. В результате исследования, проведенного на постпирогенном участке Бакчарского болота в 2023 году, было выявлено, что водный индекс *NDWI* в лучшей степени отражает проективное покрытие сфагновыми мхами, поэтому его целесообразно использовать при оценке постпирогенного восстановления верховых болот. Наиболее распространенные в исследовании водно-болотных угодий в мире мультиспектральные данные пространственного разрешения до 30 м, например, *Landsat* и *Sentinel* [Шинкаренко, Барталев, 2023]. Поэтому в рамках данного исследования были выбраны два индекса *NBR* и *NDWI*, рассчитанные на основе данных *Landsat*, как наиболее подходящие для оценки состояния растительного покрова на постпирогенных болотах.

Сопоставление результатов кластерного анализа точек полевых исследований по показателям, отражающим интенсивность пирогенной нагрузки (доля выгорания поверхности, средняя толщина горелого слоя) [Синюткина, 2024] с выделенными классами пирогенной нагрузки, подтвердило возможность использования разностного индекса гарей (*dNBR*) для оценки интенсивности выгорания растительности в условиях верховых болот.

Однако высокие темпы роста индексов не вполне отражают процессы восстановления исходного растительного покрова верховых болот, а именно сосново-кустарничково-сфагнового сообщества, особенно в условиях сильной пирогенной нагрузки. Анализ временного ряда данных подтвердил вывод, полученный ранее при анализе пространственной неоднородности индексов в пределах ключевого участка с использованием данных полевых исследований о том, что рост индексов здесь отражает появление подроста лиственных пород вместо сосны и зеленых мхов вместо сфагновых [Синюткина, 2024].

Одним из критериев оценки скорости послепожарного восстановления является количество лет, прошедших до момента восстановления индекса к допожарным значениям.



Согласно результатам нашего исследования, восстановление значений еще не произошло, прогнозное значение составляет 12 лет после пожара для *NBR* и 13–14 лет для *NDWI* при сохранении современных темпов восстановления. Для смешанных и темнохвойных лесов юга Средней Сибири это период составляет 12–15 лет [Швецов, 2024]. Согласно результатам исследования О.С. Токаревой и др. [2021], проведенного на территории Томской области, различия сохраняются на протяжении 17 лет после пожара в сравнении с фоновыми участками, и восстановление значений индекса еще не произошло. Меньшее время восстановления значений индексов в сравнении с лесами связано с трансформацией видового состава в условиях постпирогенной сукцессии, выраженной в замещении типичных для верховых болот видов – сфагновых мхов на зеленые мхи, соснового древостоя на лиственный.

Заключение

1. Регрессионный анализ данных с определением зависимостей между индексами и характеристиками растительного покрова и разницы между наблюдаемыми и предсказанными значениями индексов показал, что индекс *NBR* лучше отражает степень пирогенной нагрузки, а *NDWI* – послепожарное восстановление.

2. *NBR*, *NDWI* и их разностные показатели хорошо согласуются с данными геоботанических описаний и имеют высокие коэффициенты детерминации со всеми рассмотренными характеристиками растительного покрова, кроме проективного покрытия *Polytrichum strictum*. *NBR* лучше в сравнении с *NDWI* отражает долю открытых поверхностей и проективное покрытие кустарничками, оба разностных показателя лучше отражают проективное покрытие сфагновыми мхами в сравнении с абсолютными значениями индексов и оба индекса хорошо реагируют на проективное покрытие деревьями.

3. Наиболее высокий темп роста индексов был характерен в первые годы после пожара для территорий с максимальной пирогенной нагрузкой в связи с быстрым зарастанием практически открытых поверхностей кустарничками. На участках с низкой пирогенной нагрузкой темпы роста индексов были ниже, но значения разностных показателей здесь минимальны и видовой состав растительного покрова наиболее близок к невыгоревшему участку.

4. Прогнозное восстановление значений индексов при сохранении современных темпов роста произойдет к 2028–2030 гг., то есть через 12–14 лет после пожара в пределах всех классов пирогенной нагрузки. После этого рост индексов вероятно продолжится и будет отражать увеличение проективного покрытия древесным ярусом из лиственных пород.

Список литературы

- Барталев С.А., Стыщенко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. 2015. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров. Лесоведение, 2: 83–94.
- Бондур В.Г., Цидилина М.Н., Черепанова Е.В. 2019. Космический мониторинг воздействия природных пожаров на состояние различных типов растительного покрова в федеральных округах российской федерации. Исследование Земли из космоса, 3: 13–32. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019313-32>.
- Волосюк А.И., Топаз А.А. 2022. Оценка последствий лесных пожаров на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология, 1: 57–70. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-57-70>.
- Зраенко С.М. 2019. Анализ алгоритмов обнаружения заболоченных лесных участков по космическим снимкам. Научно-технический вестник Поволжья, 9: 23–25.
- Копотева Т.А., Купцова В.А. 2016. Влияние пожаров на функционирование фитоценозов торфяных болот Среднеамурской низменности. Экология, 1: 14–21. <https://doi.org/10.7868/S0367059715060086>.

- Корниенко С.Г. 2017. Изучение трансформаций тундрового напочвенного покрова на участках пирогенного поражения по данным спутников Landsat. *Криосфера Земли*, 21(1): 93–104. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-1\(93-104\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-1(93-104)).
- Малашук А.А., Филиппов Д.А. 2021. Постпирогенная динамика растительного покрова верхового болота Барское (Вологодская область). *Трансформация экосистем*, 4(1–11): 104–121. <https://doi.org/10.23859/estr-200512>.
- Московченко Д.В., Арефьев С.П., Московченко М.Д., Юртаев А.А. 2020. Пространственно-временной анализ природных пожаров в лесотундре Западной Сибири. *Сибирский экологический журнал*, 27(2): 243–255. <https://doi.org/10.15372/SEJ20200210>.
- Муравьева Л.В. 2020. Изучение многолетней динамики природно-антропогенных комплексов нарушенных болот с помощью снимков Landsat. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология*, 1(29): 52–60. <https://doi.org/10.26456/2226-7719-1-2020-52-60>.
- Муравьева Л.В. 2023. Распространение пожаров и их влияние на развитие природно-антропогенных комплексов болота Васильевский мох. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология*, 1(41): 47–55. <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2023-1-47-55>.
- Родионова Н.В., Вахнина И.Л., Желибо Т.В. 2020. Оценка динамики послепожарного состояния растительности на территории Ивано-Арахлейского природного парка (Забайкальский край) по радарным и оптическим данным спутников Sentinel 1/2. *Исследование Земли из космоса*, 3: 14–25. <https://doi.org/10.31857/S0205961420030045>.
- Синюткина А.А. 2024. Использование вегетационных и водных индексов для оценки состояния постпирогенных верховых болот Западной Сибири. *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*, 48: 90–109. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.90>.
- Синюткина А.А., Гашкова Л.П. 2022. Оценка состояния и геоинформационное моделирование постпирогенной динамики участка Большого Васюганского болота. *Региональные геосистемы*, 46(3): 366–377. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-3-366-377>.
- Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Малолетко А.А., Магур М.Г., Харанжевская Ю.А. 2018. Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верховых болот юго-востока Западной Сибири. *Вестник Томского государственного университета. Биология*, 43: 196–223. <https://doi.org/10.17223/19988591/43/10>.
- Тигеев А.А., Московченко Д.В., Фахретдинов А.В. 2021. Современная динамика природной и антропогенной растительности зоны предтундровых лесов Западной Сибири по данным вегетационного индекса. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 18(4): 166–177. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-166-177>.
- Токарева О.С., Алшаиби А.Д.А., Пасько О.А. 2021. Оценка восстановительной динамики растительного покрова лесных гарей с использованием данных со спутников Landsat. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 332(7): 191–199. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/07/3283>.
- Швецов Е.Г. 2024. Спутниковый мониторинг послепожарной динамики нормализованного индекса гарей в лесах юга Средней Сибири. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 21(4): 176–187. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-176-187>.
- Шинкаренко С.С., Барталев С.А. 2023. Применение данных дистанционного зондирования для широкомасштабного мониторинга водно-болотных угодий. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 20(6): 9–34. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-6-9-34>.
- Ackley C., Tank S.E., Haynes K. M., Rezanezhad F., McCarter C., Quintona W.L. 2021. Coupled Hydrological and Geochemical Impacts of Wildfire in Peatland-Dominated Regions of Discontinuous Permafrost. *Science of the Total Environment*, 782: 146841. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146841>.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B. 2018. Spectral Analysis of Wetland Using Multi-Source Optical Satellite Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144: 119–136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005>.



- Benscoter B.W., Vitt D.H. 2008. Spatial Patterns and Temporal Trajectories of the Bog Ground Layer Along a Post-Fire Chronosequence. *Ecosystems*, 11: 1054–1064. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9178-4>.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A., Mitchell E.A.D. 2009. Plant Litter Decomposition and Nutrient Release in Peatlands. *Carbon Cycling in Northern Peatlands*, 184: 99–110.
- Chasmer L.E., Hopkinson C.D., Petrone R.M., Sitar M. 2017. Using Multitemporal and Multispectral Airborne Lidar to Assess Depth of Peat Loss and Correspondence with a New Active Normalized Burn Ratio for Wildfires. *Geophysical Research Letters*, 44(23): 11,851–11,859. <https://doi.org/10.1002/2017GL075488>
- Cong J., Gao C., Han D., Li Y., Wang G. 2020. Stability of the Permafrost Peatlands Carbon Pool under Climate Change and Wildfires during the Last 150 Years in the Northern Great Khingan Mountains, China. *Science of the Total Environment*, 712: 136476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136476>.
- Davies G.M., Gray A., Rein G., Legg C. J. 2013. Peat Consumption and Carbon Loss due to Smouldering Wildfire in a Temperate Peatland. *Forest Ecology and Management*, 308: 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.051>.
- Dvornikov Y., Novenko E., Korets M., Olchev A. 2022. Wildfire Dynamics along a North-Central Siberian Latitudinal Transect Assessed Using Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 14(3): 790. <https://doi.org/10.3390/rs14030790>.
- Feurdean A., Florescu G., Tantau I., Vanniere B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S.M., Gorina N., Gafka M., Kirpotin S. 2020. Recent Fire Regime in the Southern Boreal Forests of Western Siberia Is Unprecedented in the Last Five Millennia. *Quaternary Science Reviews*, 244: 106495. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106495>.
- Gunnarsson U. 2005. Global Patterns of Sphagnum Productivity. *Journal of Bryology*, 27(3): 269–279. <https://doi.org/10.1179/174328205X70029>.
- Haas O., Keeping T., Gomez-Dans J., Prentice I.C., Harrison S.P. 2024. The Global Drivers of Wildfire. *Frontiers in Environmental Science*, 12: 1438262. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1438262>
- Kettridge N., Humphrey R.E., Smith J.E., Lukenbach M.C., Devito K.J., Petrone R.M., Waddington J.M. 2014. Burned and Unburned Peat Water Repellency: Implications for Peatland Evaporation Following Wildfire. *Journal of Hydrology*, 513: 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.019>.
- Knox S.H., Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. 2017. Using Digital Camera and Landsat Imagery with Eddy Covariance Data to Model Gross Primary Production in Restored Wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238: 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.020>.
- Lin S., Liu Ya., Huang X. 2021. Climate-Induced Arctic-Boreal Peatland Fire and Carbon Loss in the 21st Century. *Science of the Total Environment*, 796: 148924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148924>.
- Meingast K.M., Falkowski M.J., Kane E.S., Potvin L.R., Benscoter B.W., Smith A.M.S., Bourgeau-Chavez L.L., Miller M.E. 2014. Spectral Detection of Near-Surface Moisture Content and Water-Table Position in Northern Peatland Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 152: 536–546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.014>.
- Moore P.A., Lukenbach M.C., Kettridge N., Petrone R.M., Devito K.J., Waddington J.M. 2017. Peatland Water Repellency: Importance of Soil Water Content, Moss Species and Burn Severity. *Journal of Hydrology*, 554: 656–665. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.036>.
- Rein G., Huang X. 2021. Smouldering Wildfires in Peatlands, Forests and the Arctic: Challenges and Perspectives. *Environmental Science and Health*, 24: 100296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296>.
- Sinyutkina A. 2021. Drainage Consequences and Self-Restoration of Drained Raised Bogs in the South-Eastern Part of Western Siberia: Peat Accumulation and Vegetation Dynamics. *Catena*, 205: 105464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105464>.
- Sirin A.A., Medvedeva M.A., Makarov D.A., Maslov A.A., Joosten H. 2020. Multispectral Satellite Based Monitoring of Land Cover Change and Associated Fire Reduction after Large-Scale Peatland Rewetting following the 2010 Peat Fires in Moscow Region (Russia). *Ecological Engineering*, 158: 106044. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106044>.

References

- Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Loupian E.A. 2015. Satellite-Based Assessment of Russian Forest Fire Mortality. *Russian Journal of Forest Science*, 2: 83–94 (in Russian).
- Bondur V.G., Tsidilina M.N., Cherepanova E.V. 2019. Satellite Monitoring of Wildfire Impacts on the Conditions of Various Types of Vegetation Cover in the Federal Districts of the Russian Federation. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 3: 13–32 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019313-32>.
- Valasiuk A.I., Topaz A.A. 2022. Assessment of Forest Fire Effects Based on Automated Processing of Earth Remote Sensing Imagery. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*, 1: 57–70 (in Russian). <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2022-1-57-70>.
- Zraenko S.M. 2019. Analysis of the Possibilities of Detecting Waterforged Forest Sections by Space Images. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, 9: 23–25.
- Kopoteva T.A., Kuptsova V.A. 2016. Effect of Fires on the Functioning of Phytocenoses of Peat Bogs in the Middle-Amur Lowland. *Russian Journal of Ecology*, 1: 11–18 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0367059715060086>.
- Kornienko S.G. 2017. Transformation of Tundra Land Cover at the Sites of Pyrogenic Disturbance: Studies Based on Landsat Satellite Data. *Earth's Cryosphere*, 21(1): 93–104 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-1\(93-104\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2017-1(93-104)).
- Malashchuk A.A., Filippov D.A. 2021. Post-Pyrogenic Dynamics of the Vegetation Cover of the Barskoe Raised Bog (Vologda Region, Russia). *Ecosystem Transformation*, 4(1–11): 104–121 (in Russian). <https://doi.org/10.23859/estr-200512>.
- Moskovchenko D.V., Arefev S.P., Moskovchenko M.D., Yurtaev A.A. 2020. Spatiotemporal Analysis of Wildfires in the Forest Tundra of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(2): 193–203 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1995425520020092>.
- Murav'eva L.V. 2020. Study of the Multi-Year Dynamics of Natural-Anthropogenic Complexes of Disturbed Bogs by Using Landsat Pictures. *Herald of Tver State University. Series: Geography and Geocology*, 1(29): 52–60 (in Russian). <https://doi.org/10.26456/2226-7719-1-2020-52-60>.
- Murav'eva L.V. 2023. The Spread of Fires and Their Influence on the Development of Natural-Anthropogenic Complexes of the Swamp Vasilievsky Mokh. *Herald of Tver State University. Series: Geography and Geocology*, 1(41): 47–55 (in Russian). <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2023-1-47-55>.
- Rodionova N.V., Vakhnina I.L., Zhelibo T.V. 2020. Assessment of the Dynamics of Postfire State of Vegetation in Territory Ivan-Arakhley Natural Park (Zabaikalsky Krai) Using Radar and Optical Sentinel 1/2 Data. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 3: 14–25 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961420030045>.
- Sinyutkina A.A. 2024. The Application of Vegetation and Water Indices to Assess the State of Post-Pyrogenic Raised Bogs in Western Siberia. *The Bulletin of Irkutsk State University». Series «Earth Sciences»*, 48: 90–109 (in Russian). <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.90>.
- Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. 2022. State Assessing and GIS Modeling of the Post-Pyrogenic Dynamics of the Great Vasyugan Mire Site. *Regional Geosystems*, 46(3): 366–377 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-3-366-377>.
- Sinyutkina, A.A., Gashkova, L.P., Maloletko, A.A., Magur, M.G., Kharanzhevskaya, Y.A. 2018. Transformation of the Surface and Vegetation Cover of Drained Bogs in Tomsk Region. *Tomsk State University Journal of Biology*, 43: 196–223 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/19988591/43/10>.
- Tigeev A.A., Moskovchenko D.V., Fakhretdinov A.V. 2021. Current Trends in Natural and Anthropogenic Vegetation in Western Siberia's Sub-Tundra Forests Based on Vegetation Indices Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 18(4): 166–177 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-166-177>.
- Tokareva O.S., Alshaibi A.D.A., Pasko O.A. 2021. Assessment of Restoration Dynamics of Burnt Forest Area Vegetation Using Landsat Satellite Data. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 332(7): 191–199 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/07/3283>.



- Shvetsov E.G. 2024. Satellite Monitoring of Post-Fire Normalized Burn Ratio Dynamics in Forests in the South of Central Siberia. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(4): 176–187 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-176-187>.
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. 2023. Application of Remote Sensing Data in Large-Scale Monitoring of Wetlands. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 20(6): 9–34 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-6-9-34>.
- Ackley C., Tank S.E., Haynes K. M., Rezanekhad F., McCarter C., Quintona W.L. 2021. Coupled Hydrological and Geochemical Impacts of Wildfire in Peatland-Dominated Regions of Discontinuous Permafrost. *Science of the Total Environment*, 782: 146841. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146841>.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B. 2018. Spectral Analysis of Wetland Using Multi-Source Optical Satellite Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144: 119–136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005>.
- Benscoter B.W., Vitt D.H. 2008. Spatial Patterns and Temporal Trajectories of the Bog Ground Layer Along a Post-Fire Chronosequence. *Ecosystems*, 11: 1054–1064. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9178-4>.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A., Mitchell E.A.D. 2009. Plant Litter Decomposition and Nutrient Release in Peatlands. *Carbon Cycling in Northern Peatlands*, 184: 99–110.
- Chasmer L.E., Hopkinson C.D., Petrone R.M., Sitar M. 2017. Using Multitemporal and Multispectral Airborne Lidar to Assess Depth of Peat Loss and Correspondence with a New Active Normalized Burn Ratio for Wildfires. *Geophysical Research Letters*, 44(23): 11,851–11,859. <https://doi.org/10.1002/2017GL075488>
- Cong J. Gao C., Han D., Li Y., Wang G. 2020. Stability of the Permafrost Peatlands Carbon Pool under Climate Change and Wildfires during the Last 150 Years in the Northern Great Khingan Mountains, China. *Science of the Total Environment*, 712: 136476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136476>.
- Davies G.M., Gray A., Rein G., Legg C. J. 2013. Peat Consumption and Carbon Loss due to Smouldering Wildfire in a Temperate Peatland. *Forest Ecology and Management*, 308: 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.051>.
- Dvornikov Y., Novenko E., Korets M., Olchev A. 2022. Wildfire Dynamics along a North-Central Siberian Latitudinal Transect Assessed Using Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 14(3): 790. <https://doi.org/10.3390/rs14030790>.
- Feurdean A., Florescu G., Tantau I., Vanniere B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S.M., Gorina N., Gafka M., Kirpotin S. 2020. Recent Fire Regime in the Southern Boreal Forests of Western Siberia Is Unprecedented in the Last Five Millennia. *Quaternary Science Reviews*, 244: 106495. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106495>.
- Gunnarsson U. 2005. Global Patterns of Sphagnum Productivity. *Journal of Bryology*, 27(3): 269–279. <https://doi.org/10.1179/174328205X70029>.
- Haas O., Keeping T., Gomez-Dans J., Prentice I.C., Harrison S.P. 2024. The Global Drivers of Wildfire. *Frontiers in Environmental Science*, 12: 1438262. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1438262>
- Kettridge N., Humphrey R.E., Smith J.E., Lukenbach M.C., Devito K.J., Petrone R.M., Waddington J.M. 2014. Burned and Unburned Peat Water Repellency: Implications for Peatland Evaporation Following Wildfire. *Journal of Hydrology*, 513: 335–341. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.019>.
- Knox S.H., Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. 2017. Using Digital Camera and Landsat Imagery with Eddy Covariance Data to Model Gross Primary Production in Restored Wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238: 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.020>.
- Lin S., Liu Ya., Huang X. 2021. Climate-Induced Arctic-Boreal Peatland Fire and Carbon Loss in the 21st Century. *Science of the Total Environment*, 796: 148924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148924>.
- Meingast K.M., Falkowski M.J., Kane E.S., Potvin L.R., Benscoter B.W., Smith A.M.S., Bourgeau-Chavez L.L., Miller M.E. 2014. Spectral Detection of Near-Surface Moisture Content and Water-Table Position in Northern Peatland Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 152: 536–546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.014>.
- Moore P.A., Lukenbach M.C., Kettridge N., Petrone R.M., Devito K.J., Waddington J.M. 2017. Peatland Water Repellency: Importance of Soil Water Content, Moss Species and Burn Severity. *Journal of Hydrology*, 554: 656–665. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.036>.

- Rein G., Huang X. 2021. Smouldering Wildfires in Peatlands, Forests and the Arctic: Challenges and Perspectives. *Environmental Science and Health*, 24: 100296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296>.
- Sinyutkina A. 2021. Drainage Consequences and Self-Restoration of Drained Raised Bogs in the South-Eastern Part of Western Siberia: Peat Accumulation and Vegetation Dynamics. *Catena*, 205: 105464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2021.105464>.
- Sirin A.A., Medvedeva M.A., Makarov D.A., Maslov A.A., Joosten H. 2020. Multispectral Satellite Based Monitoring of Land Cover Change and Associated Fire Reduction after Large-Scale Peatland Rewetting following the 2010 Peat Fires in Moscow Region (Russia). *Ecological Engineering*, 158: 106044. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106044>.

*Поступила в редакцию 26.12.2024;
поступила после рецензирования 21.01.2025;
принята к публикации 20.02.2025*

*Received December 26, 2024;
Revised January 21, 2025;
Accepted February 20, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Синюткина Анна Алексеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Томск, Россия

Гашкова Людмила Павловна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Томск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Sinyutkina, PhD in Geography, senior researcher of scientific department, Siberian Federal Research Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia

Lyudmila P. Gashkova, PhD in Geography, senior researcher of scientific department, Siberian Federal Research Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia



УДК 004.93'1:912.43:81'373.21
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-128-145

Ранний этап в методологии автоматического распознавания топонимов на географических картах и в текстах

Дмитриев А.В.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,
ул. Политехническая, 29Б
avd84@list.ru

Аннотация. В статье исследуется эволюция методологических подходов к автоматическому распознаванию топонимов в картографических материалах и текстах с конца 1980-х до середины 2010-х годов. Анализируются ключевые исследования 2000-х годов, заложившие основу современных методов компьютерного зрения и машинного обучения в данной области. Особое внимание уделяется проблемам распознавания топонимов на исторических картах. Рассматриваются математические методы и алгоритмические решения, их эффективность и ограничения. Исследование демонстрирует методологическую преемственность в развитии данного направления и актуальность классических подходов в контексте современных технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: исторические карты, топонимы, автоматическое распознавание, компьютерное зрение, машинное обучение

Для цитирования: Дмитриев А.В. 2025. Ранний этап в методологии автоматического распознавания топонимов на географических картах и в текстах. Региональные геосистемы, 49(1): 128–145. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-128-145

The Early Stage in the Methodology of Automatic Toponym Recognition on Geographic Maps and in Texts

Alexander V. Dmitriev

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29B Polytechnicheskaya St, municipal district Academicheskoe,
St. Petersburg 195251, Russia
avd84@list.ru

Abstract. The article examines the evolution of methodological approaches to automatic toponym recognition in cartographic materials and texts from the late 1980s to the mid-2010s. It analyzes key research works of the 2000s that laid the foundation for modern computer vision and machine learning methods in this field. Special attention is paid to the challenges of toponym recognition on historical maps, including issues of homonymy, temporal ambiguity, and multilingualism. The study investigates mathematical methods and algorithmic solutions from various research groups, evaluating their effectiveness and limitations in handling complex cartographic materials. The works by Smith and Crane, Gelbukh and Levachkine, Poudroux, and other scientists who made significant contributions to methodology development are analyzed in detail. Particular emphasis is placed on the three-phase approach to semi-automatic toponym recognition and the specific challenges encountered when processing historical maps. The research demonstrates methodological continuity in the development of this direction and highlights the enduring relevance of classical approaches in the context of modern artificial intelligence technologies, suggesting ways to integrate traditional methods with contemporary neural network architectures.

Keywords: historical maps, toponyms, automatic recognition, computer vision, machine learning

For citation: Dmitriev A.V. 2025. The Early Stage in the Methodology of Automatic Toponym Recognition on Geographic Maps and in Texts. *Regional Geosystems*, 49(1): 128–145 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-128-145

Введение

Современные тенденции в развитии методологии автоматического распознавания и извлечения топонимов указывают на растущую важность интеграции различных источников данных и методов анализа, поэтому многие современные работы демонстрируют постепенный переход от простых методов компьютерного зрения к комплексным решениям, интегрирующим различные подходы и инструменты [Вицентий и др. 2020; Колесников и др. 2020; Вицентий, Шишаев, 2021].

Особенно перспективным представляется направление, связанное с анализом временных изменений топонимов и учетом исторического контекста, а также развитие методов обработки многословных топонимов и учет временного аспекта изменений географических названий. При этом остаются актуальными проблемы производительности алгоритмов, особенно при обработке больших массивов текстовой информации, в том числе современных и исторических карт [Milleville et al., 2020; Schlegel, 2021; Lenc et al. 2022; Olson et al. 2024]. Тема больших данных как инструмента в топонимических исследованиях также начинает выходить на первый план [Красовский, 2024].

Не теряют своей новизны практические решения, посвященные интеграции картографических методов в топонимические исследования [Гордова и др., 2021], что в сущности имеет давнюю традицию и описано во множестве работ (см. например: [Поспелов, 1971]).

Не менее важной является проблема геоинформационного обеспечения проектов сохранения культурного и природного наследия. В этом смысле становится многообещающим изучение топонимии культовых сооружений в историко-географической перспективе с опорой на картографические методы [Герцен и др., 2023].

Революционные достижения в области архитектур глубокого обучения, в частности появление моделей на основе механизма внимания и трансформерных архитектур [Peters et al., 2018], открыли новые перспективы в решении данной проблемы. Особый исследовательский интерес представляет развитие нейросетевых подходов к обработке естественного языка, продемонстрировавших значительный прогресс в задачах распознавания именованных сущностей [Wang et al., 2020; Zhou et al., 2023].

В данном исследовании анализируется ранний этап методологических подходов к автоматическому распознаванию топонимов в картографических материалах и текстах с конца 1980-х до середины 2010-х годов, с особым фокусом на ключевых исследованиях 2000-х годов, заложивших фундамент для современных методов компьютерного зрения и машинного обучения в данной области. С этой целью выявляются и систематизируются основные методологические подходы к автоматическому распознаванию топонимов в рассматриваемый период; анализируется специфика применения различных математических методов и алгоритмов в ключевых исследованиях; сопоставляется эффективность различных методологических решений на основе статистических показателей точности распознавания топонимических референций; определяются характерные проблемы и ограничения методов автоматического распознавания топонимов на исторических картах; исследуется вклад российских и европейских научных школ в развитие методологии автоматического распознавания топонимов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизации и критического осмысления методологического опыта в области автоматического распознавания топонимов, накопленного за последние десятилетия. Особую значимость данная про-



блематика приобретает в контексте существующего разрыва между российскими и европейскими исследованиями, а также недостаточного освещения в русскоязычной научной литературе ключевых зарубежных работ в этой области. Фундаментальные проблемы автоматического распознавания топонимов, включая вопросы омонимии, исторической изменчивости названий и многоязычия, требуют комплексного анализа существующих методологических решений. Современное развитие технологий искусственного интеллекта и методов глубокого обучения создает потребность в переосмыслении классических подходов к распознаванию топонимов для их эффективной интеграции с новейшими алгоритмическими решениями. Все это определяет необходимость тщательного изучения данной проблематики как основы для совершенствования существующих и разработки новых методов в этой области.

Объекты и методы исследования

В работе использован комплекс взаимодополняющих методов научного исследования. Историко-генетический метод применяется для анализа эволюции подходов к распознаванию топонимов с конца 1980-х до середины 2010-х годов, что позволяет проследить развитие методологической базы в исторической перспективе. Сравнительный анализ используется при сопоставлении различных алгоритмических и методологических решений, их эффективности и ограничений. Системный анализ дает возможность рассмотреть комплексные подходы к распознаванию топонимов как целостных систем взаимосвязанных элементов. Метод «кейс-стади» применяется при детальном разборе конкретных примеров использования методов распознавания топонимов, что позволяет выявить специфические особенности их практического применения. Количественный анализ используется для оценки эффективности различных методов на основе статистических показателей точности распознавания и других метрик производительности.

Критический обзор магистральных работ. На протяжении 2000-х гг. процесс автоматической обработки топонимов представлял собой комплексную систему, работающую параллельно с двумя типами источников данных – текстовыми документами и картами. При обработке текстовых документов сначала выполняется распознавание именованных сущностей, включающее обнаружение потенциальных топонимов и их классификацию, после чего происходит разрешение топонимов путем устранения неоднозначности и связывания с базами данных. При работе с картами сначала осуществляется детекция топонимов через сегментацию изображения, обнаружение текстовых областей и группировку элементов, затем выполняется распознавание текста с применением *OCR* для печатного текста, *HTR* для рукописных надписей и учетом исторических шрифтов. Далее оба потока объединяются на этапе нормализации топонимов, где производится стандартизация написания, учет исторических вариантов и обработка разных языков. Завершающим этапом становится верификация и валидация, включающая проверку по газеттирам и пространственный анализ. Таким образом обеспечивается полный цикл обработки географических названий с их стандартизацией и проверкой достоверности полученных результатов (рис. 1).

Исследования в области автоматического распознавания топонимов начались в конце 1980-х гг. Об этом свидетельствует ранняя работа Л. Флетчера и Р. Кастури, где был представлен один из первых алгоритмов для извлечения текста из бинарных изображений. Их алгоритм работал следующим образом: сначала анализировались связные компоненты в бинарном изображении, затем выбирались возможные символы на основе характеристик этих компонентов, после чего символы объединялись в слова с помощью преобразования Хафа (*Hough Transform*) [Fletcher, Kasturi, 1988].



Рис. 1. Схема автоматической обработки топонимов из географических карт и текстов
Fig. 1. Diagram of automatic processing of toponyms from geographical maps and texts

По оценкам, этот метод давал хорошие результаты, так как мог работать с текстом разной ориентации и размера, и был одним из первых универсальных подходов к этой задаче. Однако у метода было важное ограничение – он не мог работать в ситуациях, когда текст пересекался с графическими элементами изображения. Это существенно ограничивало его применение для картографических материалов, где такие пересечения встречаются часто. Многим позже подход Л. Флетчера и Р. Кастури был усовершенствован в коллективной работе [Gllavata et al., 2003].

Это направление получило более активное развитие в 1990-х годах. Pierrat-Deseilligny et al. [1995] разработали метод реконструкции строк символов для картографических материалов. Их подход включал анализ связанных компонентов и их распознавание в наборе возможных шрифтов. Реконструкция строк сводилась к задаче оптимизации графа. Требовалось предварительное знание шрифтов, используемых на картах. Главным ограничением было то, что не рассматривался вопрос сегментации цветной карты [Pierrat-Deseilligny et al., 1995].

В 1994 году была создана система *GIPSY* для автоматического географического индексирования текстовых, а именно картографических, документов. Эта система делала несколько интересных вещей: сопоставляла географические названия в тексте с пространственными координатами, пыталась понимать такие фразы, как *to the south of Lake Tahoe* – «к югу от озера Тахо», и представлять их в виде нечетких полигонов. Это была одна из первых систем, которая пыталась не просто найти название на карте, но и понять его пространственный контекст. Интересно, что методы *GIPSY* по работе с пространственными отношениями (*south of*, *near* и т. д.) оказались очень перспективными – этот подход продолжает развиваться и в современных геоинформационных системах [Woodruff, Plaunt, 1994].

До конца 1990-х гг. большинство работ по распознаванию текста фокусировалось на обычных печатных документах, а не на картографических материалах, которые представляют особую сложность из-за пересечения текста с другими элементами карты.

В 2001 году Д.Э. Смит и Г.Р. Крэйн, работая над проектом *Perseus* в Университете Тафтса, создали систему распознавания географических названий в исторических текстах, охватывающую колоссальный временной диапазон от античности до XIX века, исследование охватывало впечатляющий объем материала – более миллиона географических ссы-



лок в текстах. Исследователи проанализировали пять репрезентативных корпусов: древнегреческие и древнеримские тексты, коллекцию Боллеса по истории и топографии Лондона, а также две коллекции Библиотеки Конгресса о заселении Калифорнии и Верхнего Среднего Запада. Их подход, основанный на двухэтапной методологии, напоминал археологические раскопки: сначала происходила первичная идентификация и категоризация названий с использованием эвристических методов, сходных с системой *IBM Nominator*, а затем следовало более тонкое «просеивание» данных через сита локального контекста, документного окружения и общегеографических знаний [Smith, Crane, 2001].

Новую страницу в развитии методологии открыло исследование А. Гельбуха и С. Левачкина [Gelbukh, Levachkine, 2002]. Они сфокусировались на специфической проблематике распознавания текста на современных картографических материалах. Их работа выявила четыре фундаментальных вызова: отсутствие контекстной информации, зашумленность фона картографической нотацией, нестандартное расположение текста и необходимость установления связей между текстом и картографическими объектами. Авторская методология опиралась на комплексное использование различных источников данных: текстовой информации, анализа пространственного распределения букв, географической информации и нотационных данных. Исследователи использовали широкий спектр инструментов, включая статистические модели, географические базы данных и лингвистические фильтры [Gelbukh, Levachkine, 2002]. Эта же методология была продолжена в работах [Levachkine et al., 2002; Levachkine, 2003; Velázquez, Levachkine, 2003].

К 2003 году А. Гельбух и С. Левачкин углубили свое исследование, разработав более совершенную методологию, сочетающую технологии *OCR* со специализированными эвристиками для картографических данных. Особое внимание уделялось векторному представлению данных, что открывало новые возможности для решения семантических задач, включая анализ пространственных отношений и создание специализированных карт и эффективное масштабирование. Это исследование уже сфокусировалось на специфической проблеме распознавания текста на отсканированных картографических материалах [Gelbukh et al., 2003].

В это же время появляются и первые российские исследования. Одно из них посвящено разработке алгоритма программы, предназначенного для автоматического распознавания и выделения в текстах на русском языке именных групп с именами собственными, которые обозначают некоторые индивидуализированные объекты, а именно людей, учреждения и географические объекты. Исследование проводили ученые из ИППИ РАН в 2004–2005 гг.

В методологическом плане авторы опирались на контекстный анализ, отказавшись от статистического подхода из-за отсутствия достаточного размеченного корпуса русских текстов. Обработка текста происходила линейно и включала несколько последовательных этапов: токенизацию, морфологический анализ, работу со списками слов, контекстный анализ, разрешение неоднозначности и финальную разметку.

Для реализации этого подхода был разработан специальный инструментарий – программа *TagLite* (тэггер), использующая морфологический анализатор ИППИ РАН. Программа опиралась на систему из 16 списков слов и более 100 правил контекстного анализа, а также включала гессер для работы с неопознанными словами.

Для тестирования системы использовался корпус из 5748 слов, состоящий из новостей и статей на общественно-политические темы, содержащий 369 индивидуализированных именных групп: например, финансовый директор ЮКОСа Брюс Мизамор для категории людей, город Ногинск Костромской области для географических объектов и стадион им. Кирова для организаций. Кстати, в распознавании географических объектов (*GEOGR*) система показала наилучшие результаты с показателями *precision* 0,951, *recall* 0,957 и *f-value* 0,954, что существенно превышает показатели по другим категориям и демонстрирует особую эффективность разработанного метода для распознавания топонимов.

Очевидно, что использование линейного представления текста вместо структурного значительно ограничивало возможности анализа сложных языковых конструкций. Система опирается на заранее составленные списки слов и правила, что делает ее недостаточно гибкой для обработки новых, ранее не встречавшихся форм именных групп и требует постоянного ручного обновления баз данных. Относительно небольшой размер тестового корпуса (5748 слов) не позволяет делать надежные выводы о работоспособности системы на более разнообразных текстах. Отсутствие учета семантических связей между словами и более широкого контекста ограничивает точность распознавания в сложных случаях¹. Система не учитывает вариативность написания имен собственных и их возможные искажения в реальных текстах. Кроме того, тестирование проводилось только на новостных и общественно-политических текстах, что не позволяет судить об эффективности системы при работе с текстами других жанров и стилей [Крейдли, 2006].

Существенный вклад в развитие методологии распознавания топонимов в цветных топографических картах современного периода внесла работа Ж. Пудеро и др. Их четырехэтапный подход напоминал послойную реставрацию старинной картины: сначала производилась сегментация карты, затем анализ компонентов, далее анализ строк и, наконец, *OCR*-распознавание с постобработкой. В работе использовался алгоритм *GOCR* и морфологические операции для точного распознавания топонимов [Poudroux et al., 2007].

Результаты и их обсуждение

Статистические показатели эффективности систем демонстрировали значительную вариативность в зависимости от типа обрабатываемых материалов. Система *Perseus* достигала наивысшей точности при работе с античными текстами (91–93 %), в то время как современные географические названия распознавались с меньшей точностью (74–86 %). Подход Ж. Пудеро и др. с показателем 89 % для картографических материалов занимал промежуточную позицию.

Математический аппарат и технические решения в рассматриваемых исследованиях существенно различались. Проект *Perseus* опирался на сложный математический аппарат, включающий вычисление центроидов на основе взвешенных карт упоминаний мест, расчет стандартных отклонений точек от центроида и оценку качества работы системы по формуле *F*-меры. Его техническая реализация использовала реляционные базы данных с информацией из *Getty Thesaurus of Geographic Names*. Ж. Пудеро и др. применяли преимущественно алгоритмические методы обработки изображений, включая *GOCR* и морфологические операции для анализа картографических материалов. Исследование А. Гельбуха и С. Левачкина [Gelbukh, Levachkine, 2002] базировалось на использовании статистических моделей и лингвистических фильтров (табл. 1).

Разберем пошагово, как работает математика во всех этих исследованиях. Сначала карта разбивается на сетку и делится на квадраты размером 1×1 градус (как шахматная доска). В каждом квадрате подсчитывается, сколько раз упоминаются разные места. Получается «тепловая карта» упоминаний мест. Затем вычисляется центроид. Это как поиск «центра тяжести» всех упоминаний: чем больше упоминаний места в квадрате, тем больший «вес» имеет этот квадрат. Центроид показывает, где сконцентрировано большинство упоминаемых мест. Далее вычисляется стандартное отклонение, то есть измеряется, насколько далеко разбросаны точки от центроида. Точки, которые находятся дальше двух стандартных отклонений, считаются выбросами и отбрасываются. После удаления выбросов центроид пересчитывается заново. Финальный этап вычислений – оценка качества через *F*-меру. *Precision* (*P*) показывает, сколько правильных из всех найденных названий, *Recall* (*R*) показывает, сколько нашли из всех реальных названий.

¹ Использование *Perl* для реализации также является устаревшим решением с точки зрения современной разработки систем обработки естественного языка.



Таблица 1
 Table 1

Математический аппарат и технические решения в исследованиях 2000-х гг.
 Mathematical apparatus and technical solutions in research of the 2000s.

<p>Проект Perseus</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственную статистику с вычислением центроидов на сетке 1×1 градус 2. Формулу для расчета весовых коэффициентов точек на карте 3. Вычисление стандартного отклонения расстояний точек от центроида 4. F-меру для оценки качества распознавания: $F = ((\beta^2 + 1)RP) / (\beta^2R + P)$, где: R – полнота (<i>recall</i>), P – точность (<i>precision</i>), β – весовой коэффициент между полнотой и точностью, обычно равный 1
<p>Gelbukh и Levachkine</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вероятностную модель для оценки распознавания строк: $\exp(-bd^2)$, где: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. b – коэффициент масштаба карты и шрифтов 1.2. d – расстояние от надписи до объекта 2. Интегральную оценку для площадных объектов: $\iint_{S'} f(x,y) dx dy$, где: <ol style="list-style-type: none"> 2.1. $f(x,y)$ – минимальное расстояние от точки до букв надписи 2.2. S' – пересечение области S с границами карты 3. Биграммную/триграммную статистику для лингвистической верификации топонимов
<p>Pouderoux et al.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Морфологические операции: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Закрытие (эрозия, затем дилатация) для удаления мелких линейных объектов 1.2. Анализ плотности связных компонент 2. Геометрические критерии фильтрации: <ol style="list-style-type: none"> 2.1. $\max(\text{height}, \text{width}) < 0.5 \times \min(\mu, \nu)$ 2.2. $\max(\text{height}, \text{width}) > 2.0 \times \max(\mu, \nu)$ где μ и ν – средние высота и ширина компонент

F -мера объединяет эти показатели в один, чтобы оценить общее качество работы.

Например, система анализирует текст про Москву. Она находит упоминания разных мест – Кремль, Арбат, Тверская улица и т. д. Все эти места концентрируются в центре Москвы (центроид), а упоминание, например, Владивостока будет отброшено как выброс, так как находится слишком далеко от основной группы мест. Такой подход позволяет понять основной географический фокус текста, отфильтровать случайные упоминания далеких мест, правильно идентифицировать, о каком именно месте идет речь, когда есть несколько мест с одинаковым названием.

В исследовании А. Гельбуха и С. Левачкина [Gelbukh, Levachkine, 2002] центральное место занимает вероятностная модель распознавания строк ($\exp(-bd^2)$). Допустим, что вы нашли на карте название «Москва». Система должна понять, к какому объекту это название относится. Чем дальше надпись от объекта, тем меньше вероятность, что она к нему относится. Например, есть точка (город) и рядом надпись «Москва». D – это расстояние между точкой и надписью в миллиметрах, b – это коэффициент, учитывающий размер карты (чем крупнее масштаб, тем больше b). Если надпись прямо у точки (d маленькое), то $\exp(-bd^2)$ близко к 1, если надпись далеко (d большое), то $\exp(-bd^2)$ близко к 0.

Не менее важной в исследовании является интегральная оценка для площадных объектов. Например, мы видим надпись: «РОССИЯ» на карте, где буквы разбросаны по очерченной территории страны. Для каждой точки внутри страны (x,y) измеряется расстояние до ближайшей буквы. Эти расстояния суммируются по всей территории (это и есть интеграл). Чем лучше буквы распределены по территории, тем меньше будет сумма расстояний. Учитывается только та часть страны, которая видна на карте (S').

Третий компонент математических вычислений – это биграммная/триграммная статистика. Это способ проверить, похоже ли слово на настоящий топоним. Допустим, в русском языке часто встречаются сочетания «ск» (Минск, Омск), но сочетание «щц» невоз-

можно. Система проверяет, какие пары/тройки букв возможны в географических названиях. Если встречается невозможное сочетание букв, вероятно это ошибка распознавания.

Таким образом, все эти методы работают вместе. Сначала проверяется, похоже ли слово на настоящий топоним, затем проверяется, насколько оно удалено от объекта, а для больших объектов проверяется, как буквы распределены по обозначенной территории.

Математический аппарат Ж. Пудеро и др. работает следующим образом. Например, на отсканированной карте есть названия городов и рек, линии дорог, границы областей, разные символы. Метод работает в два этапа. Сначала делается эрозия – все объекты как бы «съеживаются», тонкие линии исчезают; затем дилатация – оставшиеся объекты «расширяются» обратно. В результате тонкие линии (дороги, границы) пропадают, а буквы остаются.

При геометрической фильтрации система измеряет все оставшиеся объекты и проверяет их размеры: сначала вычисляет среднюю высоту (μ) и ширину (ν) всех объектов, потом отбрасывает слишком маленькие (меньше половины средних размеров) и слишком большие (больше чем в два раза превышают средние размеры). Например, средняя высота букв на карте 5 мм, а ширина 3 мм. Объект высотой 1 мм будет отброшен как слишком маленький, объект шириной 7 мм будет отброшен как слишком большой, а буква «А» высотой 4 мм и шириной 3 мм будет сохранена как подходящая. Это позволяет убрать с карты все, что не похоже на буквы по размеру, сохранить только те объекты, которые, вероятно, являются буквами, подготовить изображение для дальнейшего распознавания текста.

Следует отметить, что все эти методы были на тот момент развития технологий и данной проблематики основополагающими в исследованиях по автоматической обработке топонимов в текстах как таковых, не только картах. В монографии Й.Л. Ляйднера [Leidner, 2008] впервые систематически исследована комбинация лингвистических эвристик с экстралингвистическими знаниями (например, данными о населении). Особенно важным вкладом стало создание эталонного газеттира и размеченного корпуса для оценки алгоритмов, что заложило основу для последующих исследований в этой области. Использование модели максимальной энтропии для автоматической разметки также было прогрессивным решением для того времени. Работа Й.Л. Ляйднера определила базовые проблемы: различие между обычными словами и географическими названиями, множественность референтов (как в случае с различными Лондонами), необходимость точной пространственной привязки. В сущности, все эти вопросы точно решались в работах Д.Э. Смита и Г.Р. Крэйна, А. Гельбуха и С. Левачкина, Ж. Пудеро и др.; Й.Л. Ляйднер же подвел некий промежуточный итог.

Каждое исследование демонстрировало свои уникальные методологические решения через конкретные примеры обработки топонимов. Все эти примеры иллюстрируют различные аспекты проблемы распознавания топонимов: омонимию, исторический контекст, пересечение с графикой, составные названия и масштабирование.

Так, А. Гельбух и С. Левачкин существенно продвинулись в решении проблемы топонимической омонимии на географических картах, что демонстрирует их анализ топонима «*Xalapa*». Хотя это название существует в штате Веракрус, система корректно определяет, что в контексте штата Оахака это вероятная ошибка распознавания, и верным вариантом является «*Jalapa*». В этой же работе рассматривается пример «*Moscow*» в координатах (57°N, 35°E), где система должна определить характер объекта (город или река) на основе вероятностного анализа географических координат. Проблема языковой специфики топонимов ярко проявляется в примере «*Río de Janeiro*», где система должна корректно различать географические маркеры (*río* – река) от составных частей самого топонима. Д.Э. Смит и Г.Р. Крэйн также обращают внимание на проблему конвенций именования в различных типах текстов, сравнивая структуру «*London, Ontario*» в новостных материалах с менее формализованными историческими документами.



Методология А. Гельбуха и С. Левачкина [Gelbukh, Levachkine, 2002] по комплексному использованию различных источников данных предвосхитила современные мульти-модальные подходы в машинном обучении. Их идея интеграции текстовой, пространственной и нотационной информации соответствует современным тенденциям в обработке данных, хотя и с требованием значительных вычислительных ресурсов и наличия дополнительных баз данных.

Исследование Ж. Пудеро и др. фокусируется на проблемах распознавания топонимов в картографических материалах. Характерный пример – название "*Moncuquet*", ошибочно распознанное как "*Mqncuquet*" из-за пересечения с линией дороги. Аналогично, топоним "*Pechambert*" система неверно интерпретирует как "*Pe_ham_ert*" из-за шумов в изображении. Для решения этих проблем применяются морфологические операции и алгоритм *GOCR* с последующей контекстной фильтрацией. Работа также демонстрирует сложности распознавания составных названий на примере "*Pradal Haut*" и "*les Martres*", где требуется правильное объединение отдельно распознанных компонентов в единое составное название. Для этого применяется анализ пространственного расположения текстовых компонентов и их геометрических характеристик. Исследования выявили ряд фундаментальных проблем в области топонимического распознавания. Особенно острой оказалась проблема неоднозначности в различных географических регионах – в Северной и Центральной Америке 57,1 % названий имели несколько возможных локаций, тогда как в Европе этот показатель составлял всего 16,6 %. Временная неоднозначность также представляла существенную проблему, особенно при работе с историческими текстами.

Исследование Ж. Пудеро и др. заложило основы для современных систем компьютерного зрения в картографии. Однако их точность 89 % сегодня уже не может считаться удовлетворительной – современные системы на основе глубокого обучения достигают существенно более высоких показателей. Кроме того, их метод имел ограничения при работе с перекрывающимися текстовыми элементами.

Основным ограничением всех этих исследований, если смотреть из современной перспективы, является отсутствие методов глубокого обучения и нейронных сетей. Однако проанализированные примеры демонстрируют фундаментальную ценность разработанных подходов для понимания природы проблем топонимического распознавания. Их методологические принципы и алгоритмические решения заложили основу для развития новых технологий в области географической информатики, предоставляя богатый материал для анализа типичных проблем и способов их решения².

Усовершенствование методологии на материале исторических карт.

В 2014 году вышла коллективная статья Р. Саймона и др., которая в каком-то смысле подвела итог более чем 10-летнему изучению проблемы автоматического распознавания топонимов [Simon et al., 2014].

Работа представляет собой вершину развития классических методов компьютерного зрения, основанных на инженерном подходе и эвристических алгоритмах. При этом именно в эти годы начинается стремительный рост эффективности методов глубокого обучения. Этому способствовал ряд ключевых факторов:

1. Прорыв в области сверточных нейронных сетей, ознаменованный победой *AlexNet* в соревновании *ImageNet* в 2012 году и последующим развитием архитектур (*VGGNet*, *GoogLeNet* в 2014, *ResNet* в 2015).

2. Появление мощных графических процессоров и специализированных фреймворков для глубокого обучения.

3. Накопление больших массивов размеченных данных.

² Фундаментальная проблема неоднозначности топонимов, особенно в историческом контексте, до сих пор не имеет исчерпывающего решения.

4. Развитие методов переноса обучения (*transfer learning*).

Ценность исследования обусловлена не только тем, что оно символически маркирует границу между двумя эпохами в распознавании топонимов, но и тем, что оно посвящено проблеме автоматического анализа именно исторических карт, что затрагивалось в работах предшественников лишь вскользь [Smith, Crane, 2001] и не составляло предмет отдельного рассмотрения.

Исторические карты представляют собой сложные гибридные изображения, содержащие текстуры, линии и различные графические элементы, что существенно затрудняло процесс автоматического распознавания текста. Этот тип источников характеризуется значительной вариативностью в стилях написания и отображения географических названий. В отличие от современных карт, где существуют устоявшиеся стандарты картографической нотации, исторические карты отражают разнообразие каллиграфических традиций своего времени.

Существенную проблему создавала также физическая сохранность исторических карт. Выцветание чернил, повреждения бумаги, пятна и различные дефекты значительно усложняли процесс автоматического распознавания текста. Даже при качественном сканировании эти артефакты создавали дополнительные шумы, с которыми системы распознавания того времени справлялись плохо [Schlegel, 2021].

Другим серьезным вызовом являлась проблема исторической изменчивости топонимов. Один и тот же географический объект мог иметь различные написания не только в разные исторические периоды, но даже в работах разных картографов одного периода. Это создавало сложности при создании эталонных баз данных для обучения и верификации систем распознавания [Smith, Crane, 2001].

Исследователи сталкивались и с проблемой многоязычности исторических карт, где топонимы часто представлены в различных языковых традициях, с использованием разных алфавитов и систем транслитерации [Olson et al., 2024]. Ранние системы распознавания, ориентированные преимущественно на работу с одним языком и алфавитом, оказывались неэффективными при столкновении с такой языковой вариативностью.

Важным методологическим вкладом Р. Саймона и др. стала разработка трехфазного подхода к полуавтоматическому распознаванию топонимов, что, пожалуй, в хорошем смысле отличало данное исследование от своих предшественников (рис. 2).

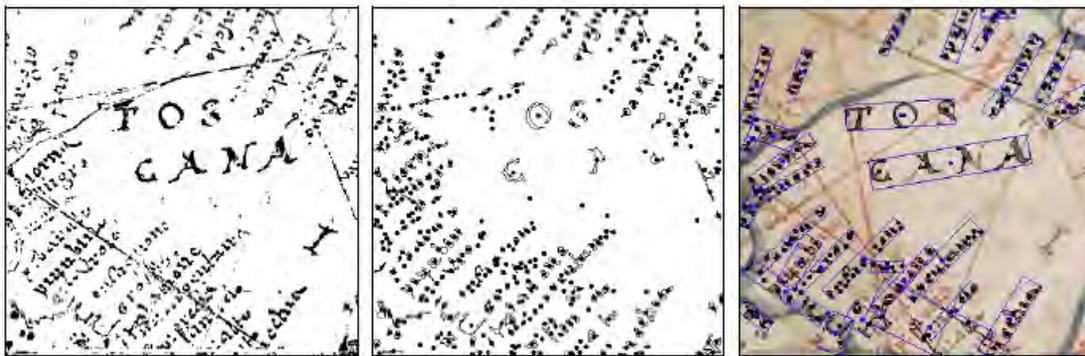


Рис. 2. Этапы обработки: сегментация фона и переднего плана (слева), обнаруженные контурные признаки (в центре), признаки, связанные в «группы признаков», обозначающие кандидаты в топонимы, наложенные поверх исходного изображения (справа) [Simon et al., 2014]

Fig. 2. Processing stages: background and foreground segmentation (left), detected contour features (center), features linked into "feature groups" denoting toponym candidates overlaid on the original image (right) [Simon et al., 2014]

Первая фаза *Background-Foreground Segmentation* (*Сегментация фона и переднего плана*) включала сегментацию фона и переднего плана с созданием черно-белой маски изображения. Этот этап оказался наиболее критичным для качества результатов, но и самым сложным из-за высокой вариативности типов карт.

Сначала проводился ручной этап, где либо определялись конкретные цветовые диапазоны, которые будут считаться фоном, либо применялся сильный медианный фильтр к карте. Медианная фильтрация была выбрана, потому что она удаляет тонкие структуры (такие как тонкие линии и текст) и при этом сохраняет общее распределение цвета карты.

После этого отфильтрованное изображение вычитывалось из оригинального, что дало базовую маску для сегментации фона. Затем проводилась очистка маски: удалялись линии (сетка, румбовые линии) с помощью преобразования Хафа; удалялись части с низким цветовым градиентом (потому что текст обычно имеет сильные края); применялись морфологические операции обработки изображения для уменьшения дефектов, появившихся из-за цветовой маскировки.

Вторая фаза *Feature Detection* (*Обнаружение признаков*) состояла в обнаружении характерных признаков с помощью алгоритмов определения контуров. Хотя этот метод был вычислительно эффективен, он сталкивался с проблемами в случаях, когда топонимы сливались с линейными элементами схожей яркости.

После создания маски-изображения, этот этап локализовал и характеризовал особенности на переднем плане изображения, в данном случае – связанные объекты. На этом этапе использовался алгоритм обнаружения контуров. Этот подход был выбран, потому что он вычислительно относительно легкий. На этом же этапе были введены правила для фильтрации недопустимых объектов на основе эвристик, касающихся покрываемой площади, ширины и соотношения сторон.

Третья фаза *Feature Linking* (*Связывание признаков*) заключалась в связывании обнаруженных признаков, которые, вероятно, относились к одному топониму, на основе эмпирических ограничений и эвристик относительно расстояния, площади, направления и абсолютных границ. Связывание особенностей не идентифицирует топонимы напрямую, а только отдельные связанные объекты на изображении. Топонимы обычно состоят из любого количества особенностей, поэтому этот этап постобрабатывает обнаруженные особенности, связывая их в группы, которые, вероятно, представляют один топоним.

Экспериментальные результаты существенно различались в зависимости от типа исторических карт. На карте Птолемея XV века, содержащей 41 топоним, точность локализации достигла 93 %: из 41 топонима 38 были локализованы корректно, 2 имели смещение рамки, 2 были ошибочно объединены, 1 был ошибочно разделен. Однако при работе с более сложным портоланом XVII века система обнаруживала только около 50 % видимых топонимов с точностью 31 %.

Авторы тестировали свой подход на трех типах карт разной сложности. Секция карты Британских островов эпохи Птолемея представляла наименее сложный случай благодаря однородному фону. На этой карте из 41 топонима 38 были локализованы корректно, хотя у двух топонимов наблюдалось небольшое смещение ограничивающей рамки. Из трех оставшихся топонимов два были ошибочно идентифицированы как один объединенный топоним, а последний топоним *ALVION INSVULA BRITANNICA* был ошибочно разделен на две группы признаков.

Лист австрийской топографической съемки середины XVIII века представлял более сложный случай из-за низкого контраста между топонимами и фоном. Фрагмент портолана XVII века являлся наиболее сложным примером с областями низкого цветового контраста, плохой читаемостью и проблемными структурами вроде пересекающихся линий и декоративных элементов. На этой карте визуально различалось 323 топонима для населенных пунктов, написанных мелким шрифтом, и 10 для регионов, обозначенных крупным шрифтом. Тест выдал 532 возможных обнаружения.

Среди характерных ошибок авторы показывают пример орнаментальных помех, где декоративные элементы и символы схожего размера и плотности с топонимами вызывают ложные срабатывания. В другом примере демонстрируется проблема наложения линий – пятый топоним слева имеет смещенные границы из-за береговой линии, а чуть правее ложное обнаружение вызвано другим сегментом береговой линии.

Проблема перекрестных помех между топонимами иллюстрируется случаем, где диагональная ограничивающая рамка пересекает другую рамку. Сложность работы с разделенными топонимами показана на примере *MUHR VORSTADTVON GRATZ*, разбитого на несколько строк. Отдельно выделяется проблема крупноформатных топонимов – авторы приводят пример топонима, идущего снизу вверх, который система не смогла корректно обработать.

Исследователи выявили ряд специфических проблем при работе с историческими картами: помехи от декоративных элементов, визуально похожих на текст; искажения при пересечении топонимов с картографическими элементами; перекрестные помехи между соседними названиями; разрывы топонимов на несколько строк; сложности с распознаванием крупноформатных и криволинейных надписей.

Эта работа легла в основу проекта *Relagios 3*, целью которого стало создание поисковых индексов исторических топонимов и инструментов для научного аннотирования оцифрованных карт.

Вся методология работала итеративно: топонимы «выращивались» из отдельных признаков путем последовательного связывания (рис. 3).



Рис. 3. Типичные ошибочные ситуации, встреченные в ходе экспериментов: помехи из-за символов и декоративных элементов (верхний левый); помехи из-за линейных элементов, сливающихся с топонимами, и «перекрестные помехи» между топонимами (верхний правый); разделенные топонимы (нижний левый), необнаруженный крупноформатный топоним (нижний правый) [Simon et al., 2014]

Fig. 3. Typical error situations encountered during experiments: interference from symbols and decorative elements (upper left); interference from linear elements merging with toponyms and "cross-interference" between toponyms (upper right); separated toponyms (lower left), undetected large-format toponym (lower right) [Simon et al., 2014]

Как видно из общего «пайплайна», исследование Р. Саймона и др. сфокусировалось не просто на распознавании, а именно на детекции топонимов на картах, что послужило первым, но критически важным шагом в полном процессе обработки исторических картографических материалов (рис. 4).



Рис. 4. Трехфазовый подход Р. Саймона и др. [Simon et al., 2014]
 Fig. 4. Three-phase approach by R. Simon et al. [Simon et al., 2014]

Разумеется, в эпоху глубокого обучения методология Р. Саймона и др. была существенно усовершенствована. Например, фаза сегментации фона и переднего плана сегодня реализована с использованием современных трансформных архитектур, специализирующихся на сегментации изображений. Фаза обнаружения признаков уже улучшена применением детекторов текста на основе глубокого обучения, таких как *EAST* или *TextFuseNet*. Фаза связывания признаков оптимизирована с помощью графовых нейронных сетей, способных учитывать сложные пространственные отношения между элементами текста.

Исследование Р. Саймона и др. можно рассматривать как своеобразную кульминацию «классического периода» в развитии методов автоматического распознавания топонимов на картах. Трехфазный подход обобщил и систематизировал накопленный опыт предшественников, создав методологический мост между традиционными методами компьютерного зрения и современными подходами глубокого обучения. Работа предоставила важные технические детали о практических сложностях и подходах к автоматизированному распознаванию топонимов в исторической картографии этого периода. Их результаты помогают понять, почему полностью автоматизированные подходы оставались проблематичными, и почему полуавтоматические методы, сочетающие компьютерное обнаружение с человеческой верификацией, оказались более перспективным направлением развития. Особенно важно, что авторы не только разработали комплексную методологию, но и детально описали ограничения и проблемы своего подхода, что впоследствии помогло исследователям сфокусироваться на наиболее критических аспектах при разработке нейросетевых архитектур. Это делает работу Р. Саймона и др. особенно ценной для понимания эволюции методов распознавания топонимов и их постепенной трансформации в эпоху глубокого обучения.

Выводы. Бесспорно, эволюция методологических подходов к автоматическому распознаванию топонимов представляет собой многогранный процесс, где каждое исследование внесло уникальный вклад в развитие этого направления. От пионерских работ Л. Флетчера и Р. Кастури, предложивших базовые алгоритмы извлечения текста из бинарных изображений, до комплексных исследований 2000-х гг. мы наблюдаем последовательное усложнение и совершенствование методологического аппарата. Особенно впечатляет то, как исследователи 2000-х гг., несмотря на ограниченные технические возможности, смогли создать настолько глубокие и продуманные подходы к решению сложных задач распознавания исторических топонимов.

Особого внимания заслуживает методологическая преемственность в развитии данного направления. Некоторые из этих методов сохраняют актуальность даже в эпоху нейронных сетей, но часто упускаются из виду современными исследователями.

Работа Д.Э. Смита и Г.Р. Крэйна заложила фундаментальные принципы контекстного анализа топонимов, которые остаются актуальными и в современную эпоху глубокого обучения. Их новаторский подход к обработке исторических текстов, охватывающих колоссальный временной диапазон от античности до XIX в., предвосхитил современные методы работы с временными рядами и контекстно-зависимой обработкой текста. В контексте современных языковых моделей типа *BERT* и *GPT* их идеи о важности контекстного окружения и временной привязки топонимов приобретают новое звучание. Кроме того, яркий пример с этнонимом "*Germans*" в тексте о Галльской войне Цезаря, который система ошибочно связывает с современной Германией, показывает, что даже современные системы часто игнорируют историческую динамику топонимов.

Исследования А. Гельбуха и С. Левачкина внесли существенный вклад в развитие комплексного подхода к анализу картографических материалов. Их методология, основанная на интеграции различных источников данных, предвосхитила современные мультимодальные подходы в машинном обучении. Особенно ценным представляется их опыт работы с проблемой омонимии топонимов, что в современном контексте может быть усовершенствовано применением методов графового представления знаний и механизмов внимания.

Работа Ж. Пудеро и др. с цветными топографическими картами современного периода заслуживает особого внимания в контексте развития методов компьютерного зрения. Их четырехэтапный подход к обработке изображений, включающий сегментацию, анализ компонентов, анализ строк и *OCR*-распознавание, создал методологическую основу для современных *end-to-end* архитектур глубокого обучения.

Последующее исследование Р. Саймона и др. можно рассматривать как синтез предшествующих подходов, где трехфазная методология объединила лучшие практики предыдущих исследований. Их работа продемонстрировала эффективность полуавтоматического подхода, что особенно важно в контексте современных тенденций к созданию *human-in-the-loop* систем.

В перспективе развития современного инструментария особенно важным представляется симбиоз различных методологических подходов. Контекстный анализ Д.Э. Смита и Г.Р. Крэйна может быть усовершенствован применением современных языковых моделей. Комплексный подход А. Гельбуха и С. Левачкина к интеграции данных может быть реализован с использованием трансформных архитектур, способных одновременно обрабатывать текстовую и визуальную информацию. Методология сегментации изображений Ж. Пудеро и др. может быть улучшена применением современных сегментационных моделей, а итеративный подход Р. Саймона и др. может быть оптимизирован с помощью рекуррентных нейронных сетей. В частности, использование медианной фильтрации и преобразования Хафа для сегментации изображений может показаться архаичным на фоне современных сегментационных моделей типа *U-Net* или *Mask R-CNN*, однако именно эти базовые методы заложили концептуальный фундамент для развития более совершенных алгоритмов. Современные архитектуры глубоких нейронных сетей во многом повторяют логику этого многоступенчатого процесса, но реализуют ее на более высоком уровне абстракции.



Отдельного внимания заслуживает подход к анализу ошибок распознавания. Все исследователи уделяли особое внимание систематизации и классификации типичных ошибок: орнаментальные помехи, наложение линий, перекрестные помехи между топонимами, разрывы топонимов, проблемы с крупноформатными топонимами. Такая детальная каталогизация проблемных случаев создает ценную основу для улучшения современных систем распознавания.

Наконец, стоит отметить принципиальную позицию исследователей относительно полуавтоматического подхода. Их опыт показывает, что в некоторых случаях более эффективным может быть сочетание автоматических методов с человеческой верификацией, особенно при работе с историческими материалами, где контекст и нюансы интерпретации играют критическую роль.

Практическая значимость этих исследований проявляется в создании методологического фундамента для современных систем геоинформационного анализа. Разработанные подходы к решению проблем омонимии, временной неоднозначности, многоязычия и пространственных отношений остаются актуальными и в контексте современных технологий. Более того, накопленный опыт работы с различными типами картографических материалов и текстовых источников создает бесценную базу для проектирования и обучения современных систем искусственного интеллекта.

В свою очередь, хотелось бы обратить внимание на то, что в текстах проанализированных работ не хватает некоторых разъяснений. Например, в статьях не приводится полной детальной статистики по каждому типу ошибок для каждого метода, при том, что описание тестовых наборов в статьях присутствует. Что касается математического аппарата, то конкретные диапазоны значений также не приводятся. Кроме того, в статьях нет полноценного анализа вычислительной сложности алгоритмов. В статье Р. Саймона и др. вообще говорится, что алгоритм обнаружения контуров «был выбран, потому что он вычислительно относительно легкий» [Simon et al., 2014].

Заключение

Перспективы исследований в области автоматического распознавания топонимов лежат в плоскости интеграции традиционных подходов с новейшими достижениями в сфере компьютерного зрения и обработки естественного языка. Особенно многообещающей представляется разработка мультимодальных систем, способных одновременно анализировать визуальные, текстовые и пространственные данные, учитывая при этом временную динамику изменения географических названий. Такие системы могли бы не только распознавать топонимы на картах разных эпох, но и автоматически отслеживать эволюцию названий, их вариативность в разных языках и культурных традициях.

Отдельного внимания заслуживает возможность создания универсальных инструментов для работы с историческими картографическими материалами, способных адаптироваться к различным стилям оформления, системам нотации и степени сохранности источников. Это откроет новые горизонты для масштабной цифровизации картографического наследия и создания детальных пространственно-временных моделей развития топонимических систем. Такой подход позволит не только автоматизировать процесс обработки исторических карт, но и получить новые данные о закономерностях эволюции географических названий в различных регионах мира.

Список литературы

- Вицентий А.В., Диковицкий В.В., Шишаев М.Г. 2020. Технология извлечения и визуализации пространственных данных, полученных при анализе текстов. Труды Кольского научного центра РАН, 11(8–11): 115–119. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.8.11.012>

- Вицентий А.В., Шишаев М.Г. 2021. Технология извлечения геоатрибутированных сущностей для визуального представления пространственной связности объектов на основе автоматизированной генерации картосхем. Труды Кольского научного центра РАН, 12(5): 35–49. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>
- Герцен А.А., Герцен О.А., Гордова Ю.Ю., Костовска С.К., Костовска Ст.К., Хропов А.Г. 2023. Аспекты картографии и топонимии культовых сооружений в историко-географической перспективе. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 29: 180–203. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-180-203>
- Гордова Ю.Ю., Герцен О.А., Герцен А.А., Костовска С.К. 2021. Применение картографических методов в топонимике (история вопроса и современные исследования). *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 27(4): 520–536. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-520-536>
- Колесников А.А., Кикин П.М., Нико Д., Комиссарова Е.В. 2020. Системы обработки естественного языка для извлечения данных и картографирования на основе неструктурированных блоков текста. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 26(1): 375–384. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-1-26-375-384>
- Красовский А.П. 2024. Большие данные как инструмент исследований в топонимике и истории межевания. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 30(1): 321–341. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2024-1-30-321-341>
- Крейдлин Л.Г. 2006. Программа выделения русских индивидуализированных именных групп TagLite. В кн.: *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Международной конференции Диалог*, Москва, 01–04 июня 2016. М., Российский государственный гуманитарный университет: 292–297.
- Поспелов Е.М. 1971. *Топонимика и картография*. М, Мысль, 256 с.
- Fletcher L.A., Kasturi R. 1988. A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/Graphics Images. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 10(6): 910–918. <https://doi.org/10.1109/34.9112>
- Gelbukh A., Levachkine S. 2002. Error Detection and Correction in Toponym Recognition in Cartographic Maps. *IASTED International Conference Geopro-2002*: 1–7
- Gelbukh A., Levachkine S., Han S.Y. 2003. Resolving Ambiguities in Toponym Recognition in Cartographic Maps. In: *Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives. GREC 2003. Lecture Notes in Computer Science*. Ed. by Lladós J., Kwon Y.B. Springer, Berlin, Heidelberg: 75–86.
- Gllavata J., Ewerth R., Freisleben B. 2003. A Robust Algorithm for Text Detection in Images. In: *Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Rome, Italy*: 611–616.
- Leidner J.L. 2008. *Toponym resolution in text: Annotation, evaluation and applications of spatial grounding of place names*. USA, Florida, Universal-Publishers, 261 p.
- Lenc L., Martínek J., Baloun J., Prantl M., Král P. 2022. Historical Map Toponym Extraction for Efficient Information Retrieval. In: *Document Analysis Systems. DAS 2022. Lecture Notes in Computer Science*. Springer: 171–183. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06555-2_12
- Levachkine S. 2003. Raster to Vector Conversion of Color Cartographic Maps. In: *Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives. GREC 2003. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer: 50–62. https://doi.org/10.1007/978-3-540-25977-0_5.
- Levachkine S., Vel'azquez A., Alexandrov V., Kharinov M. 2002. Semantic Analysis and Recognition of Raster-Scanned Color Cartographic Images. In: *Graphics Recognition Algorithms and Applications. GREC 2001. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag: 178–189.
- Milleville K., Verstockt S., Van de Weghe N. 2020. Improving Toponym Recognition Accuracy of Historical Topographic Maps. *Automatic Vectorisation of Historical Maps, Proceedings of the International Workshop on Automatic Vectorisation of Historical Maps, Budapest, Hungary*, 13: 63–72.
- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2024. Automatic Search of Multiword Place Names on Historical Maps. *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data*, 9–12. <https://doi.org/10.1145/3681769.3698577>
- Peters M., Neumann M., Iyyer M., Gardner M., Clark Chr., Lee K., Zettlemoyer L. 2018. Deep Contextualized Word Representations. In: *Human Language Technologies. Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics, New Orleans, Association for Computational Linguistics, Vol. 1*: 2227–2237.



- Pierrot-Deseilligny M., Men H.L., Stamon G. 1995. Characters String Recognition on Maps, a Method for High Level Reconstruction. Montreal, QC, Canada, Proceedings of ICDAR: 249–252.
- Pouderoux J., Gonzato J.-C., Pereira A., Guitton P. 2007. Toponym Recognition in Scanned Color Topographic Maps. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007). IEEE, 1: 531–535.
- Schlegel I. 2021. Automated Extraction of Labels from Large-Scale Historical Maps. AGILE: GIScience Series, 2: 12. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-2-12-2021>
- Simon R., Pilgerstorfer P., Isaksen L., Barker E. 2014. Towards Semi-Automatic Annotation of Toponyms on old maps. e-Perimtron, 9(3): 105–128.
- Smith D.A., Crane G.R. 2001. Disambiguating Geographic Names in A Historical Digital Library. In: Research and Advanced Technology for Digital Libraries. ECDL 2001. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin: 127–136.
- Vel'azquez A., Levachkine S. 2003. Text/graphics separation and recognition in raster-scanned color cartographic maps. Proceedings: Automated geographic indexing of text documents. Journal of the American Society for Information Science, 45(9): 645–655.
- Zhou B., Zou L., Hu Y., Qiang Y., Goldberg D. 2023. TopoBERT: a Plug and Play Toponym Recognition Module Harnessing Fine-Tuned BERT. International Journal of Digital Earth, 16(1): 3045–3064.

References

- Vitsentiy A.V., Dikovitskiy V.V., Shishayev M.G. 2020. The Technology of Extraction and Visualization of Spatial Data Obtained by Texts Analysis. Kola Science Centre Publisher, 11(8–11): 115–119 (in Russian). <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2020.8.11.012>
- Vitsentiy A.V., Shishayev M.G. 2021. The Geoattributed Entity Extraction Technology for Visual Representation of Objects Spatial Relations Based on Automated Schematic Map Generation. Kola Science Centre Publisher, 12(5): 35–49 (in Russian). <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2021.5.12.003>
- Herzen A.A., Herzen O.A., Gordova Yu.Yu., Kostovska S.K., Kostovska St.K., Khropov A.G. 2023. Aspects of Cartography and Toponymy of Religious Buildings in the Historical-Geographical Perspective. InterKarto. InterGIS, 29: 180–203 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2023-2-29-180-203>
- Gordova Yu.Yu., Herzen O.A., Herzen A.A., Kostovska S.K. 2021. Usage of Cartographic Methods in Place-Name Study (History of the Problem and Actual Research). InterKarto. InterGIS, 27(4): 520–536 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-520-536>
- Kolesnikov A.A., Kikin P.M., Niko D., Komissarova E.V. 2020. Natural Language Processing Systems for Data Extraction and Mapping on the Basis of Unstructured Text Blocks. InterKarto. InterGIS, 26(1): 375–384 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-1-26-375-384>
- Krassowski A.P. 2024. Big data as a research tool in toponymy and the history of land surveying. InterCarto. InterGIS, 30(1): 321–341 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2024-1-30-321-341>
- Kreydlin L.G. 2006. Program for Extraction of Russian Individualized Name Groups TagLite. In: Computational Linguistics and Intellectual Technologies. Proceedings of the International Conference Dialogue, Moscow, 1–4 June 2016. Moscow, Publ. Rossiyskiy gosudarstvennyy gumanitarnyy universitet: 292–297 (in Russian).
- Pospelov E.M. 1971. Toponimika i kartografiya [Toponymy and Cartography]. Moscow, Publ. Mysl, 256 p.
- Fletcher L.A., Kasturi R. 1988. A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/Graphics Images. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 10(6): 910–918. <https://doi.org/10.1109/34.9112>
- Gelbukh A., Levachkine S. 2002. Error Detection and Correction in Toponym Recognition in Cartographic Maps. IASTED International Conference Geopro-2002: 1–7
- Gelbukh A., Levachkine S., Han S.Y. 2003. Resolving Ambiguities in Toponym Recognition in Cartographic Maps. In: Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives. GREC 2003. Lecture Notes in Computer Science. Ed. by Lladós J., Kwon Y.B. Springer, Berlin, Heidelberg: 75–86.
- Gllavata J., Ewerth R., Freisleben B. 2003. A Robust Algorithm for Text Detection in Images. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Rome, Italy: 611–616.
- Leidner J.L. 2008. Toponym resolution in text: Annotation, evaluation and applications of spatial grounding of place names. USA, Florida, Universal-Publishers, 261 p.

- Lenc L., Martínek J., Baloun J., Prantl M., Král P. 2022. Historical Map Toponym Extraction for Efficient Information Retrieval. In: Document Analysis Systems. DAS 2022. Lecture Notes in Computer Science. Springer: 171–183. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06555-2_12
- Levachkine S. 2003. Raster to Vector Conversion of Color Cartographic Maps. In: Graphics Recognition. Recent Advances and Perspectives. GREC 2003. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg, Springer: 50–62. https://doi.org/10.1007/978-3-540-25977-0_5.
- Levachkine S., Vel'azquez A., Alexandrov V., Kharinov M. 2002. Semantic Analysis and Recognition of Raster-Scanned Color Cartographic Images. In: Graphics Recognition Algorithms and Applications. GREC 2001. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag: 178–189.
- Milleville K., Verstockt S., Van de Weghe N. 2020. Improving Toponym Recognition Accuracy of Historical Topographic Maps. Automatic Vectorisation of Historical Maps, Proceedings of the International Workshop on Automatic Vectorisation of Historical Maps, Budapest, Hungary, 13: 63–72.
- Olson R., Kim J., Chiang Y.Y. 2024. Automatic Search of Multiword Place Names on Historical Maps. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Searching and Mining Large Collections of Geospatial Data, 9–12. <https://doi.org/10.1145/3681769.3698577>
- Peters M., Neumann M., Iyyer M., Gardner M., Clark Chr., Lee K, Zettlemoyer L. 2018. Deep Contextualized Word Representations. In: Human Language Technologies. Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics, New Orleans, Association for Computational Linguistics, Vol. 1: 2227–2237.
- Pierrot-Deseilligny M., Men H.L., Stamon G. 1995. Characters String Recognition on Maps, a Method for High Level Reconstruction. Montreal, QC, Canada, Proceedings of ICDAR: 249–252.
- Pouderoux J., Gonzato J.-C., Pereira A., Guitton P. 2007. Toponym Recognition in Scanned Color Topographic Maps. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007). IEEE, 1: 531–535.
- Schlegel I. 2021. Automated Extraction of Labels from Large-Scale Historical Maps. AGILE: GIScience Series, 2: 12. <https://doi.org/10.5194/agile-giss-2-12-2021>
- Simon R., Pilgerstorfer P., Isaksen L., Barker E. 2014. Towards Semi-Automatic Annotation of Toponyms on old maps. e-Perimetreon, 9(3): 105–128.
- Smith D.A., Crane G.R. 2001. Disambiguating Geographic Names in A Historical Digital Library. In: Research and Advanced Technology for Digital Libraries. ECDL 2001. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin: 127–136.
- Vel'azquez A., Levachkine S. 2003. Text/graphics separation and recognition in raster-scanned color cartographic maps. Proceedings: Automated geographic indexing of text documents. Journal of the American Society for Information Science, 45(9): 645–655.
- Zhou B., Zou L., Hu Y., Qiang Y., Goldberg D. 2023. TopoBERT: a Plug and Play Toponym Recognition Module Harnessing Fine-Tuned BERT. International Journal of Digital Earth, 16(1): 3045–3064.

*Поступила в редакцию 16.12.2024;
поступила после рецензирования 15.01.2025;
принята к публикации 11.02.2025*

*Received December 16, 2024;
Revised January 15, 2025;
Accepted February 11, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дмитриев Александр Владиславович, кандидат филологических наук, доцент, докторант, доцент гуманитарного института, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander V. Dmitriev, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate, Associate Professor of the Humanities Institute, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia



УДК 504.054

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья

Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А.

Воронежский государственный университет
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1
aleksandrsis634@gmail.com, klepa1967@rambler.ru, skurolap@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья. Для проведения исследования использованы данные за 2018–2023 гг., предоставленные региональными подразделениями ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – Воронежским, Белгородским и Липецким центрами по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Достоверность различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ ($M \pm m$, где m – статистическая ошибка среднего арифметического) в промышленной и жилых зонах оценивалась с использованием t -критерия Стьюдента при вероятности статистической ошибки вывода 5 % ($\alpha = 0,05$). Количественно оценивался неканцерогенный и канцерогенный риски вследствие аэротехногенного загрязнения. Установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленных зонах городов достоверно выше, чем в жилых зонах ($t_{расч.} > t_{табл.}$ при $\alpha = 0,05$). Из 6 мониторируемых показателей – концентраций взвешенных веществ, диоксида азота, диоксида серы, оксид углерода, фенола, формальдегида – наибольшие величины неканцерогенных рисков в городах характерны для формальдегида и взвешенных веществ. При этом величины неканцерогенных рисков по этим веществам классифицируются как опасные. Величины индивидуальных канцерогенных рисков от воздействия формальдегида классифицируются как приемлемые (допустимые), но наибольшую настороженность вызывают на территории города Воронежа.

Ключевые слова: атмосферный воздух, города, загрязнение, мониторинг, неканцерогенные вещества, канцерогены, статистический анализ, аэротехногенный риск здоровью

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>

Для цитирования: Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А. 2025. Оценка экологического риска для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 49(1): 146–156. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Assessment of Public Health Environmental Risk due to Central Chernozem Region Cities Aerotechnogenic Pollution

Alexander V. Shish, Oleg V. Klepikov, Semyon A. Kurolap

Voronezh State University
1 Universitetskaya Sq, Voronezh 394018, Russia
aleksandrsis634@gmail.com, klepa1967@rambler.ru, skurolap@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to assess the environmental risk to public health due to aerotechnogenic pollution of the cities of the Central Chernozem region of Russia. The study used data

© Шиш А.В., Клепиков О.В., Куролап С.А., 2025

for 2018–2023 provided by the regional divisions of the Federal State Budgetary Institution "Central Chernozem Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring" – Voronezh, Belgorod and Lipetsk Centers for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants ($M \pm m$, where m is the statistical error of the arithmetic mean) in industrial and residential areas was estimated using the Student's t -test with a probability of a statistical error of 5 % ($\alpha = 0.05$). Non-carcinogenic and carcinogenic risks due to aerotechnogenic pollution were quantified. It has been established that the average long-term concentrations of atmospheric pollutants in industrial areas of cities are significantly higher than in residential areas ($t_{\text{act.}} > t_{\text{table}}$ at $\alpha = 0.05$). Of the six monitored indicators – concentrations of suspended solids, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, phenol, and formaldehyde – the highest values of non-carcinogenic risks in cities are typical for formaldehyde and suspended solids. At the same time, the values of non-carcinogenic risks for these substances are classified as dangerous. The values of individual carcinogenic risks from exposure to formaldehyde are classified as acceptable, but the greatest concern is caused in the city of Voronezh.

Keywords: atmospheric air, cities, pollution, non-carcinogenic substances, carcinogens, statistical analysis, aerotechnogenic health risk

Acknowledgements: This study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>

For citation: Shish A.V., Klepikov O.V., Kurolap S.A. 2025. Assessment of Public Health Environmental Risk due to Central Chernozem Region Cities Aerotechnogenic Pollution. *Regional Geosystems*, 49(1): 146–156 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-146-156

Введение

Аэротехногенное загрязнение крупных промышленных городов мира – один из важнейших факторов экологического риска, воздействующих на здоровье населения [Covello, Merkhoher, 1993; Myeong, Shahzad, 2021; Исаев и др., 2022; Kiaei et al., 2024]. Загрязнение воздушной среды связано с уплотнением городской застройки, снижением аэрации и площадей зеленых насаждений, прогрессирующим ростом числа объектов автотранспортного комплекса во многих промышленно развитых городах, что неизбежно ведет к увеличению рисков возникновения экологически обусловленных заболеваний населения, прежде всего, респираторных и сердечно-сосудистых болезней, представляющих важную социально-экологическую проблему [Nowak et al., 2018; Yan et al., 2019; Allen, Barn, 2020; Hardoy et al., 2024].

Именно поэтому мониторингу и оценке экологического риска для здоровья населения вследствие техногенного загрязнения воздушного бассейна городов в настоящее время уделяется приоритетное внимание, причем правила контроля качества воздуха населенных мест в России по расположению и количеству стационарных постов наблюдения закреплены в ГОСТ 17.2.3.01-86 [2005]. В настоящее время оценка аэротехногенного загрязнения, влияющего на здоровье населения, проводится на основе требований СанПиН 1.2.3685-21 [2021], в которые в 2021 году введено понятие среднегодовой предельно допустимой концентрации (ПДК), обеспечивающей допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии, а также методологии оценки риска для здоровья в соответствии с новым руководством Р. 2.1.10.3968-23 [2023], введенным в действие с января 2024 года. Изменение нормативно-методической базы, а также ориентирование научно-практических работ на оценку аэротехногенных рисков обусловили необходимость применения новых критериев результативности воздухоохранной деятельности – показателей неканцерогенного и канцерогенного рисков [Кузьмин и др., 2021; Овчинникова и др., 2022; Зайцева, Май, 2023]. При этом оценка аэротехногенного риска ориентирована на использование долгопериодных средних концентраций вредных веществ в ат-



мосферном воздухе, что существенно снижает неопределенности при анализе вероятности проявления хронических заболеваний, этиологически связанных с постоянным воздействием аэрополлютантов в городах [Исаев и др., 2022; Пшегорода и др. 2022].

Проблема загрязнения атмосферного воздуха крупнейших промышленных центров Черноземья (Воронежа, Белгорода, Липецка) отмечалась в ряде региональных работ. В частности, проведена оценка аэрозольного загрязнения, выявлены проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгорода на основе сводных расчетов уровня атмосферного загрязнения [Боровлев, 2020; Боровлев и др., 2023], оценено влияние синоптических условий на формирование уровня аэротехногенного загрязнения Белгорода [Талалай и др., 2021], оценивалось воздействие Липецкой промышленной агломерации на уровень загрязнения [Клепиков и др., 2021; Курбаков и др., 2024] с выделением наиболее крупного источника выбросов – металлургического производства ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» [Седых и др., 2021].

Авторами настоящей статьи была поставлена цель – оценить в сравнительном аспекте экологический риск для здоровья населения вследствие аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся приземный слой атмосферного воздуха территорий городов Воронеж, Белгород, Липецк. Предмет исследования – сравнительный анализ аэротехногенного загрязнения двух функционально-планировочных зон (промышленной и жилой) в каждом городе, а также уровней неканцерогенных и канцерогенных экологических рисков здоровью населения, связанных с воздействием атмосферных поллютантов.

Для проведения исследования использованы данные за 2018–2023 гг., предоставленные региональными подразделениями ФГБУ «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» – Воронежским, Белгородским и Липецким центрами по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Для характеристики уровня загрязнения атмосферного воздуха и аэротехногенных рисков для здоровья населения на территориях жилых и промышленных зон в городах выбраны по два стационарных поста (поста наблюдения за загрязнением атмосферы – ПНЗ). В городе Воронеже для жилой зоны выбран ПНЗ № 8 по адресу ул. Ворошилова, 30, для промышленной зоны – ПНЗ № 7 по адресу ул. Лебедева, 2, район расположения ТЭЦ-1 (ВоГРЭС); в городе Белгороде – ПНЗ № 7 по ул. Мокроусова, 6 и ПНЗ № 8 на ул. Макаренко, 18, соответственно; в городе Липецке – ПНЗ № 8 на ул. 60 лет СССР, 23 микрорайон и ПНЗ № 4 по ул. Коммунистическая, район Липецкого тракторного завода и зона воздействия Новолипецкого металлургического комбината (рис. 1).

Достоверность различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ ($M \pm m$, где m – статистическая ошибка среднего арифметического) оценивалась с использованием t -критерия Стьюдента при вероятности статистической ошибки вывода 5 % ($\alpha = 0,05$).

Риск здоровью рассчитывался в соответствии с положениями Руководства Р 2.1.10.3968-23 [2023]. Для оценки риска использовались осредненные концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, диоксида серы, оксид углерода, фенола, формальдегида в промышленной и жилой зонах исследуемых городов Центрально-Черноземного региона за оцениваемый период. Рассчитывали коэффициенты опасности (HQ) как отношение медианы фактической концентрации к референтной концентрации (RfC) для ингаляционного хронического воздействия с ранжированием на уровни: минимальный $HQ < 0,1$; допустимый $0,1 \leq HQ \leq 1$; настораживающий $1,1 \leq HQ \leq 3,0$; опасный $HQ > 3,0$.

Для оценки воздействия веществ, обладающих однонаправленным действием на органы и системы организма, рассчитывали индекс опасности, т. е. индекс комбинированного воздействия смеси загрязняющих веществ (*HI*).

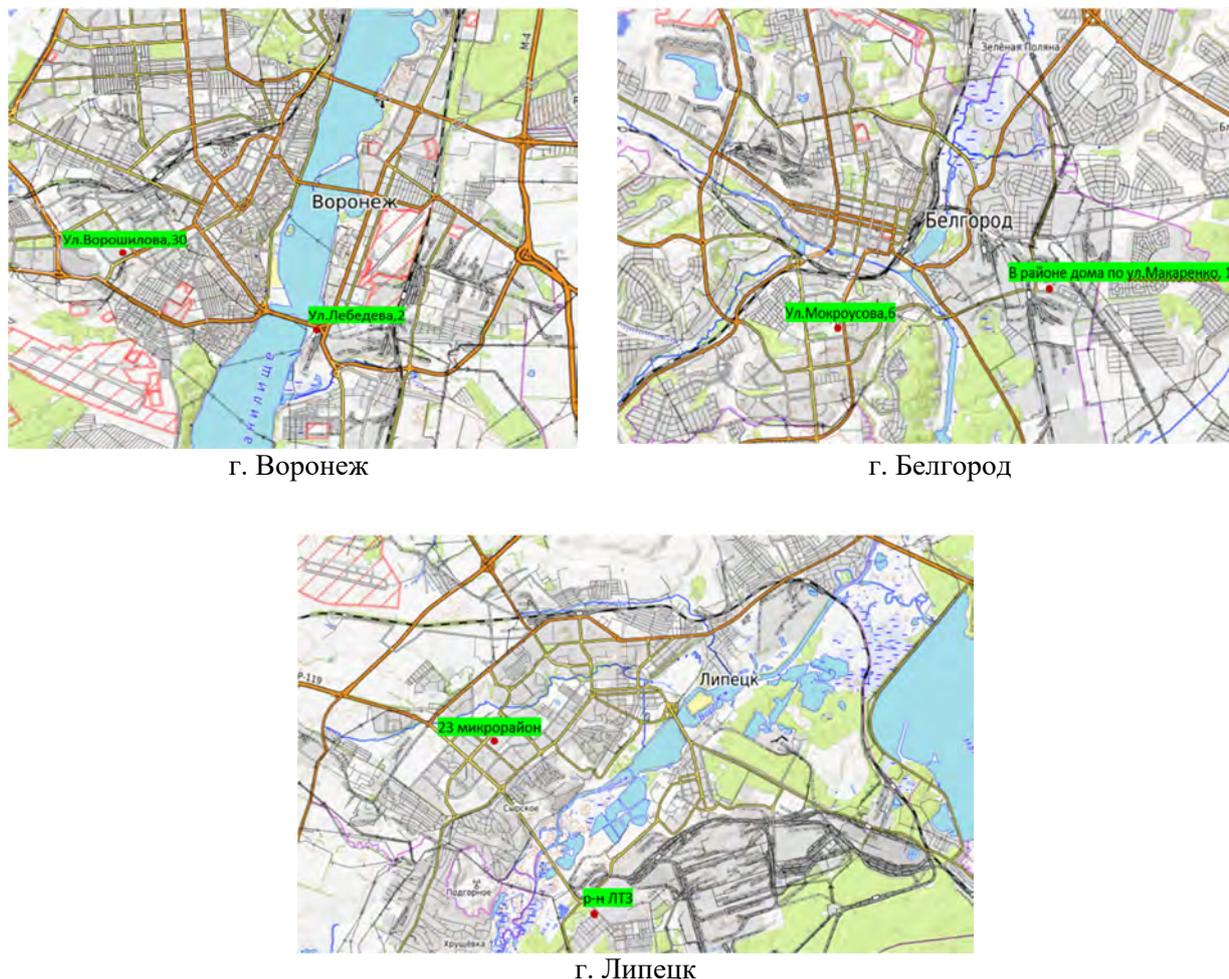


Рис. 1. Расположение мониторинговых точек контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах (ПНРЗ)

Fig. 1. Location of monitoring points for monitoring the level of atmospheric air pollution in cities (POP)

Результаты и их обсуждение

Установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих веществ на ПНРЗ в промышленной и жилой зонах города Воронежа имеют достоверные различия по всем веществам ($t_{расч.}$ от 12,2 до 34,4 > $t_{табл.} = 1,98$, при $\alpha = 0,05$), что показано в табл. 1.

Наибольшие различия средних величин концентраций веществ в промышленной и жилой зонах выявлены для оксида углерода – в 1,81 раза, наименьшие – для формальдегида – в 1,37 раза. Максимальные значения концентраций веществ за анализируемый период также характерны для промышленной зоны: взвешенные вещества – до 1,80 мг/м³, диоксид азота – до 1,733 мг/м³, диоксид серы – до 0,027 мг/м³, оксид углерода – до 6,50 мг/м³, формальдегид – до 0,070 мг/м³, фенол – до 0,018 мг/м³.

Поскольку в оценке риска для здоровья средние за исследуемый период величины концентраций веществ характеризуют хроническое воздействие, для расчета неканцерогенных рисков (коэффициента опасности – *HQ*) использованы по аналогии с зарубежными и отечественными стандартами [Jiang, 2005; Jahandari, 2020; Овчинникова и др, 2022;



Shahriyari et al., 2022] референтные концентрации для хронических ингаляционных воздействий (RfC).

Установлено, что наибольший неканцерогенный риск обусловлен воздействием формальдегида (HQ от 4,00 до 5,46), при этом он классифицируется как опасный и в промышленной и жилой зонах (рис. 2).

Таблица 1
Table 1

Оценка достоверности различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Воронежа
Assessment of the reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants in industrial and residential areas of Voronezh

Наименование вещества	Статистические характеристики				Критерий Стьюдента $t_{расч}$	Достоверность различий средних (+/-) при $\alpha = 0,05$
	промзона (ПНЗ № 7)		жилая зона (ПНЗ № 8)			
	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³		
Взвешенные вещества	0,23 ± 0,0048	1,800	0,13 ± 0,0028	0,700	18,2	+
Диоксид азота	0,087 ± 0,0014	1,733	0,054 ± 0,0005	0,128	22,5	+
Диоксид серы	0,0078 ± 0,0001	0,027	0,0046 ± 0,0001	0,022	25,3	+
Оксид углерода	1,50 ± 0,0174	6,500	0,83 ± 0,0089	2,700	34,4	+
Формальдегид	0,016 ± 0,0003	0,070	0,012 ± 0,0002	0,056	12,2	+
Фенол	0,0038 ± 0,00007	0,018	не входит в программу наблюдений на посту		–	

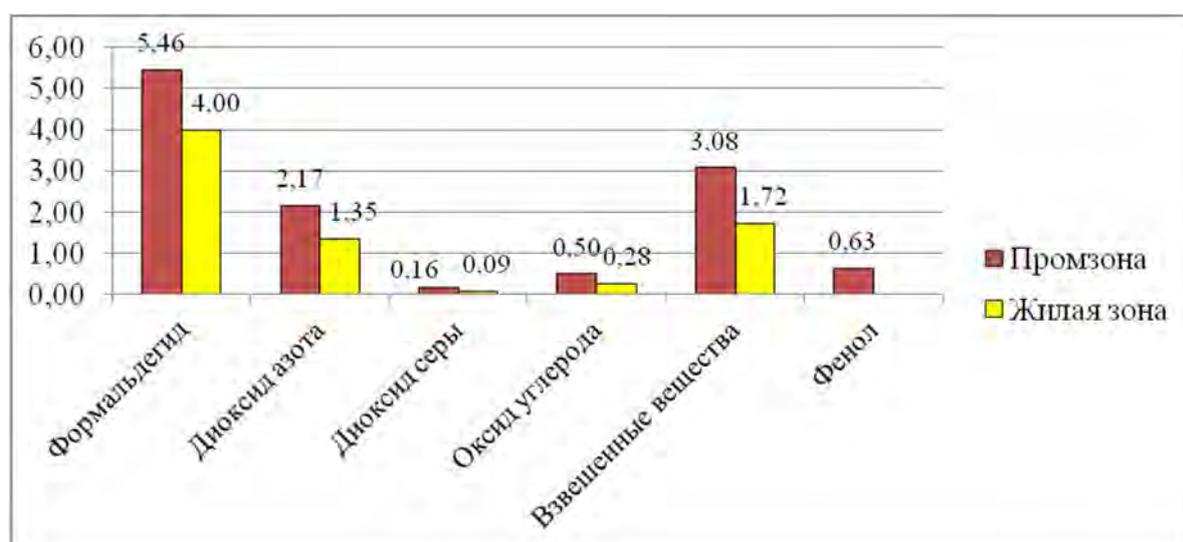


Рис. 2. Неканцерогенные риски, обусловленные воздействием загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Воронежа (HQ , безразмерная величина)

Fig. 2. Non-carcinogenic risks caused by exposure to air pollutants in industrial and residential areas of the city of Voronezh (HQ , dimensionless value)

К уровню опасного риска относится также воздействие взвешенных веществ в промышленной зоне ($HQ = 3,08$). Настораживающий уровень риска характерен для диоксида азота независимо от типа зоны (HQ от 1,35 до 2,17) и взвешенных веществ ($HQ = 1,72$) в атмосферном воздухе жилой зоны. Для диоксида серы, оксида углерода, фенола неканцерогенные риски классифицируются как допустимые ($0,1 \leq HQ \leq 1$). С учетом однонаправленного воздействия веществ на различные критические органы и системы организма индексы опасности изменяются следующим образом: на органы дыхания HI варьирует от 7,16 в жилой зоне до 10,86 в промышленной зоне; на кровь – от 1,63 в жилой зоне до 2,67 в промышленной зоне.

Аналогичный подход позволил выявить, что в Белгороде имеют достоверные различия средних многолетних концентраций загрязняющих веществ на ПНЗ в промышленной и жилой зонах, а именно: взвешенных веществ, диоксида азота и оксида углерода ($t_{расч.}$ от 5,7 до 34,4 > $t_{табл.} = 9,7$, при $\alpha = 0,05$); результаты анализа показаны в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Оценка достоверности различий средних величин концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах города Белгорода
Assessment of the reliability of differences in the average concentrations of atmospheric pollutants in industrial and residential areas of Belgorod

Наименование вещества	Статистические характеристики				Критерий Стьюдента $t_{расч}$	Достоверность различий средних (+/-) при $\alpha = 0,05$
	промзона (ПНЗ № 7)		жилая зона (ПНЗ № 8)			
	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³	среднее и ошибка среднего ($M \pm m$), мг/м ³	максимум, мг/м ³		
Взвешенные вещества	0,14 ± 0,0016	0,400	0,12 ± 0,0014	0,40	6,7	+
Диоксид азота	0,039 ± 0,0003	0,072	0,036 ± 0,0002	0,075	9,7	+
Диоксид серы	не входит в программу наблюдений на посту		0,0061 ± 0,00005	0,012	–	
Оксид углерода	1,87 ± 0,022	5,000	1,68 ± 0,0023	5,90	5,7	+
Формальдегид	0,006 ± 0,0001	0,011	0,006 ± 0,0001	0,010	1,88	–

Наибольшие различия средних величин концентраций веществ в промышленной и жилой зонах Белгорода выявлены для взвешенных веществ (в 1,12 раза), наименьшие – для формальдегида (достоверные различия отсутствуют). Следует отметить, что по сравнению с Воронежем, различия содержания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ на ПНЗ Белгорода менее выражены. Максимальные значения концентраций веществ за анализируемый период в Белгороде ниже, чем в Воронеже. При этом максимум концентрации оксида углерода (5,90 мг/м³) в Белгороде отмечен на ПНЗ № 8 в жилой зоне. По остальным веществам закономерность, что атмосферный воздух промышленной зоны более загрязнен, сохраняется также, как и в Воронеже.

Неканцерогенные риски, обусловленные загрязнением атмосферного воздуха Белгорода, наиболее высокие от воздействия формальдегида (HQ от 1,90 до 1,97) и взвешенных веществ (HQ от 1,63 до 1,82), которые классифицируются как риски настораживающего уровня (рис. 3).

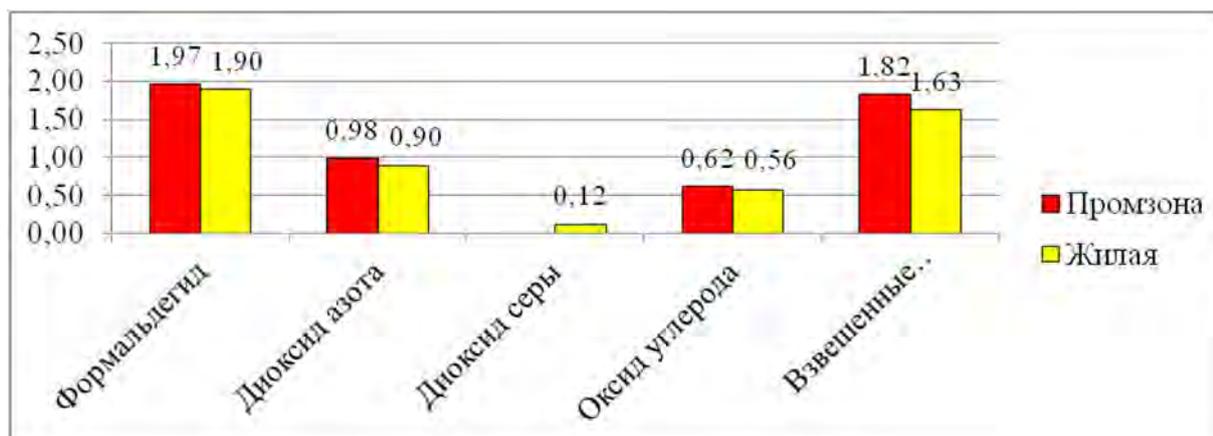


Рис. 3. Неканцерогенные риски, обусловленные воздействием загрязняющих атмосферный воздух веществ в промышленной и жилой зонах Белгорода
Fig. 3. Non-carcinogenic risks caused by exposure to air pollutants in industrial and residential areas of Belgorod (HQ, dimensionless value)

По воздействию диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода величины неканцерогенного риска классифицируются как допустимые ($0,1 \leq HQ \leq 1$). С учетом одностороннего воздействия веществ на различные критические органы и системы организма индексы опасности изменяются следующим образом: на органы дыхания HI варьирует от 4,55 в жилой зоне до 4,77 в промышленной зоне; на кровь – от 1,46 в жилой зоне до 1,60 в промышленной зоне.

В городе Липецке на ПНЗ оценивалась концентрация формальдегида как вещества, для которого величина риска наиболее высока [Клепиков и др., 2021; Седых и др., 2023]. Средние значения концентраций формальдегида в промышленной и жилой зонах составили $0,009 \pm 0,0001$ мг/м³ и $0,008 \pm 0,0001$ мг/м³ соответственно, и имеют достоверные различия ($t_{расч.} = 5,44 > t_{крит.} = 1,98$ при $\alpha = 0,05$). Величины неканцерогенных рисков, обусловленных воздействием формальдегида как в промышленной ($HQ = 3,17$), так и в жилой зонах ($HQ = 2,82$) классифицируются какстораживающие.

Из числа рассматриваемых веществ только формальдегид обладает канцерогенным действием. В связи с этим рассчитан индивидуальный канцерогенный риск (ICR) для взрослого населения (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Индивидуальные канцерогенные риски от воздействия формальдегида (ICR)
Individual carcinogenic risks from exposure to formaldehyde (ICR)

Город	Промышленная зона	Жилая зона
Воронеж	$5,66 \times 10^{-5}$	$4,14 \times 10^{-5}$
Белгород	$2,04 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-5}$
Липецк	$3,28 \times 10^{-5}$	$2,93 \times 10^{-5}$

Наибольшая величина канцерогенного риска от воздействия формальдегида выявлена на ПНЗ в промышленной зоне города Воронежа: $ICR = 5,66 \times 10^{-5}$. Все величины канцерогенных рисков не превышают приемлемую величину (1×10^{-4}).

Заключение

На основе сравнительного анализа уровней загрязнения воздушного бассейна функционально-планировочных зон городов установлено, что средние многолетние концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на ПНЗ в промышленной и жилой зонах, как правило, имеют достоверные различия, т. е. прослеживается общая законо-

мерность: чем ближе расположен пост к источникам выбросов, тем регистрируется более высокий уровень загрязнения. Тем не менее, эти различия из числа рассматриваемых городов более выражены в городе Воронеже. Наибольшие величины неканцерогенных рисков в городах характерны для формальдегида и взвешенных веществ. При этом величины неканцерогенных рисков по этим веществам классифицируются как опасные. Величины индивидуальных канцерогенных рисков от воздействия формальдегида, содержащегося в атмосферном воздухе городов, классифицируются как приемлемые (допустимые). Однако наибольшую настороженность канцерогенные риски имеют в городе Воронеже, а наименьшую – в Белгороде.

Для снижения риска аэротехногенного загрязнения городов Центрального Черноземья целесообразно предусмотреть систему мероприятий по снижению выбросов и уровня загрязнения приземного слоя воздуха. В перспективе для снижения неопределенностей, связанных с мониторингом уровня загрязнения атмосферного воздуха, следует увеличить число постов, синхронизировать и расширить перечень веществ, входящих в программы мониторинга городов, т. к. всегда остается дискуссионный вопрос, на какое расстояние от ПНЗ можно применять полученные на нем результаты определения концентраций загрязняющих веществ.

Список источников

- ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населённых пунктов. 2005. М., Стандартинформ, 3 с.
- Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. (утв. Роспотребнадзором 06.09.2023). Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения 12.01.2025)..
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 469 с.

Список литературы

- Боровлев А.Э. 2020. Проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгородской области на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Управление городом: теория и практика, 4(38): 53–56.
- Боровлев А.Э., Корнилов А.Г., Киселев В.В., Зеленская Е.Я. 2023. К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода. Региональные геосистемы, 47(4): 619–629. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Зайцева Н.В., Май И.В. 2023. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух». Анализ риска здоровью, 1: 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Крутикова Н.Н. 2022. Оценка риска здоровью городского населения с использованием фоновых долгопериодных средних концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе. Здоровье населения и среда обитания, 30(5): 23–31. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>.
- Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. 2021. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка Региональные геосистемы, 45(2): 236–245. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245>.
- Кузьмин С.В., Авалиани С.Л., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицин В.А., Синицына О.О. 2021. Практика применения оценки риска здоровью в федеральном проекте «Чистый воздух» в городах-участниках (Череповец, Липецк, Омск, Новокузнецк): проблемы и перспективы. Гигиена и санитария, 100(9): 890–896. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>
- Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В., Кречетников В.В. 2024. Экологическое состояние объектов окружающей среды в зоне



воздействия Липецкой промышленной агломерации. Экология и промышленность России, 28(9): 45–51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>

- Овчинникова Е.Л., Никитин С.В., Колчин А.С., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Крига А.С., Плотникова О.В., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г., Шмакова Н.П. 2022. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью. Здоровье населения и среда обитания, 30(3): 36–43. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>
- Пшегорода А.Е., Просвирякова И.А., Гриценко Т.Д. 2022. Количественная оценка популяционного неканцерогенного риска здоровью населения при различной степени загрязнения атмосферного воздуха. Здоровье и окружающая среда, 32: 45–48.
- Седых В.А., Куролап С.А., Беляева Л.Н., Мазуров Г.И., Козлов А.Т., Закусилов В.П. 2023. Загрязнение воздушной среды формальдегидом и оценка риска канцерогенных эффектов. Теоретическая и прикладная экология, 2: 73–79. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-073-079>.
- Седых В.А., Куролап С.А., Кондауров Р.А. 2021. Геоэкологическая оценка аэротехногенного загрязнения воздушной среды города Липецка. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 15(1): 96–103. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.
- Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Влияние синоптических условий на содержание загрязняющих веществ в атмосфере г. Белгорода. Региональные геосистемы, 45(1): 107–117 <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Resent Literature. Current Environmental Health Reports, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Covello V.T., Merkhoher M.W. 1993. Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. New York, London, Springer Science & Business Media: 318 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1216-9>.
- Hardoy J.E., Mitlin D., Satterthwaite D. 2024. Environmental Problems in Third World Cities. New York, Taylor & Francis: 224 p. <https://doi.org/10.4324/9781315070322>.
- Jahandari A. 2020. Pollution Status and Human Health Risk Assessments of Selected Heavy Metals in Urban Dust of 16 Cities in Iran. Environmental Science and Pollution Research, 27(18): 23094–23107. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08585-8>.
- Jiang Q.T., Lee T.K.M., Chen K., Wong H.L., Zheng J.S., Giesy J.P., Lo K.K.W., Yamashita N., Lam P.K.S. 2005. Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China. Environmental pollution, 136(1): 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.028>.
- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. Health Nexus, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. Sustainability, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. 2018. Air Pollution Removal by Urban Forests in Canada and Its Effect on Air Quality and Human Health. Urban Forestry & Urban Greening, 29: 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. Toxin Reviews, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Y., & Li B. 2019. Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review. Environmental Pollution, 248: 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.068>.

References

- Borovlev A.E. 2020. Problematic Issues of Health Risk Assessment in the Belgorod Region Based on Summary Calculations of Air Pollution. Upravleniye gorodom: teoriya i praktika, 4 (38): 53–56 (in Russian).

- Borovlev A.E., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Zelenskaya E.Ya. 2023. On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod. *Regional Geosystems*, 47(4): 619–629 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Zaitseva N.V., May I.V. 2023. Atmospheric Air Quality and Health Risk Indicators as Objective Criteria for the Effectiveness of Air Protection Activities in the Territories of Participating Cities of the Federal Clean Air Project. *Health risk analysis*, 1: 4–12 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Isaev D.S., Mozzhukhina N.A., Eremin G.B., Krutikova N.N. 2022. Health Risk Assessment in Towns Based on Background Long-Term Concentrations of Ambient Air Pollutants. *Public Health and Life Environment*, 30(5): 23–31 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-23-31>.
- Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. 2021. Monitoring of Atmospheric Air Pollution and Assessment of Carcinogenic Risks for the Health of the Population of the City of Lipetsk. *Regional geosystems*, 45(2): 236–245 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245>.
- Kuzmin S.V., Avaliani S.L., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Sinitsyna O.O. 2021. The Practice of Applying Health Risk Assessment in the Federal Project “Clean Air” in the Participating Cities (Cherepovets, Lipetsk, Omsk, Novokuznetsk): Problems and Prospects. *Hygiene and Sanitation*, 100(9): 890–896 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-890-896>.
- Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementieva N.V., Novikova N.V., Krechetnikov V.V. 2024. Ecological State of Environmental Facilities in the Zone of Influence of the Lipetsk Industrial Agglomeration. *Ecology and Industry of Russia*, 28(9): 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>
- Ovchinnikova E.L., Nikitin S.V., Kolchin A.S., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Kriga A.S., Plotnikova O.V., Cherkashina M.N., Vinokurova I.G., Shmakova N.P. 2022. Methodological Approaches to Processing Laboratory Results of Ambient Air Quality Monitoring for the Purposes of Human Health Risk Assessment. *Public Health and Life Environment*, 30(3): 36–43 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>.
- Pshegroda A.E., Prosviryakova I.A., Gritsenko T.D. 2022. Quantitative Assessment of the Population Non-Carcinogenic Risk to Population Health Under Different Degrees of Atmospheric Air Pollution. *Health and the environment*, 32: 45–48 (in Russian).
- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Belyaeva L.N., Mazurov G.I., Kozlov A.T., Zakusilov V.P. 2023. Formaldehyde Air Pollution and Risk Assessment of Carcinogenic Effects. *Theoretical and Applied Ecology*, 2: 73–79 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-073-079>.
- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Kondaurou R.A. 2021. Geocological Assessment of Technogenic Air Pollution of Atmospheric Environment in Lipetsk. *Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences*, 15(1): 96–103 (in Russian). <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.
- Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. Influence of Synoptic Conditions on the Content of Pollutants in the Atmosphere of Belgorod. *Regional geosystems*, 45(1): 107–117 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Resent Literature. *Current Environmental Health Reports*, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Covello V.T., Merkhoher M.W. 1993. *Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*. New York, London, Springer Science & Business Media: 318 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1216-9>.
- Hardoy J.E., Mitlin D., Satterthwaite D. 2024. *Environmental Problems in Third World Cities*. New York, Taylor & Francis: 224 p. <https://doi.org/10.4324/9781315070322>.
- Jahandari A. 2020. Pollution Status and Human Health Risk Assessments of Selected Heavy Metals in Urban Dust of 16 Cities in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18): 23094–23107. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08585-8>.
- Jiang Q.T., Lee T.K.M., Chen K., Wong H.L., Zheng J.S., Giesy J.P., Lo K.K.W., Yamashita N., Lam P.K.S. 2005. Human health risk assessment of organochlorines associated with fish consumption in a coastal city in China. *Environmental pollution*, 136(1): 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.028>.



- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. *Health Nexus*, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. *Sustainability*, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. 2018. Air Pollution Removal by Urban Forests in Canada and Its Effect on Air Quality and Human Health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29: 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. *Toxin Reviews*, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yan D., Wu S., Zhou S., Tong G., Li F., Wang Y., & Li B. 2019. Characteristics, Sources and Health Risk Assessment of Airborne Particulate PAHs in Chinese Cities: A Review. *Environmental Pollution*, 248: 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.068>.

*Поступила в редакцию 14.01.2025;
поступила после рецензирования 29.01.2025;
принята к публикации 15.02.2025*

*Received January 14, 2025;
Revised January 29, 2025;
Accepted February 15, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шিশ Александр Витальевич, аспирант кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Клепиков Олег Владимирович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Куролап Семен Александрович, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды, декан факультета географии, геоэкологии и туризма, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Shish, postgraduate student of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Oleg V. Klepikov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Semyon A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Head of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Dean of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 504.054

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168

Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России

Епринцев С.А., Шекоян С.В., Виноградов П.М.

Воронежский государственный университет

Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

esa81@mail.ru, shekoyan.syuzanna@mail.ru, vinpaul89@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – оценка неблагоприятных факторов окружающей среды на территории промышленно развитых городов Центральной России (Воронеж, Липецк, Тула). Обоснованием выбора контрольных точек обора проб являлось наличие многочисленных промышленных источников выбросов на отдельно взятой городской территории, т. е. промзон, а также улиц с наиболее интенсивным движением, при этом собственные точки контроля не совпадали с местами расположения стационарных постов Росгидромета и маршрутными наблюдениями контрольно-надзорных ведомств. В результате анализа проб атмосферного воздуха, отобранных в 19 точках с определением 5 приоритетных загрязнителей, и проб питьевой воды по 5 точкам отбора в каждом из городов по 5 приоритетным показателям, по материалам разовых выборочных исследований выявлено превышение действующих нормативов безопасности и безвредности для человека для взвешенных веществ и диоксида азота в атмосферном воздухе Липецка и по взвешенным веществам в Воронеже. Анализ качества питьевой воды не выявил отклонений от гигиенических норм. Полученные результаты сопоставлялись с доступными официальными материалами контрольно-надзорных ведомств по оценке состояния окружающей среды.

Ключевые слова: урбанизированные территории, качество окружающей среды, атмосферный воздух, питьевая вода, антропогенные поллютанты

Благодарности: настоящие исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>.

Для цитирования: Епринцев С.А., Шекоян С.В., Виноградов П.М. 2025. Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России. Региональные геосистемы, 49(1): 157–168. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168

Assessment of Unfavorable Environmental Factors in Urbanized Territories of Central Russia

Sergey A. Yeprintsev, Syuzanna V. Shekoyan, Pavel M. Vinogradov

Voronezh State University

1 Universitetskaya Square, Voronezh 394018, Russia

esa81@mail.ru, shekoyan.syuzanna@mail.ru, vinpaul89@gmail.com

Abstract. The purpose of the study is to assess the unfavorable environmental factors in the industrialized cities of Central Russia (Voronezh, Lipetsk, Tula). The rationale for choosing control points for sampling was the presence of numerous industrial sources of emissions in a single urban area, i.e. industrial zones, as well as streets with the most intense traffic. Our control points did not coincide with the locations of stationary hydromet posts and route observations of control and supervisory agencies. Atmospheric air samples were taken at 19 points with the identification of five priority pollutants, and drinking water



samples were obtained at five sampling points in each of the cities for five priority indicators. Based on the analysis of the samples and the results of one-time sampling studies, we found that suspended solids and nitrogen dioxide content in the atmospheric air of Lipetsk and suspended solids in Voronezh air exceeded the current safety and harmlessness standards for humans. The analysis of drinking water quality revealed no deviations from hygienic standards. The obtained results were compared with the available official materials of the control and supervisory agencies for environmental assessment.

Keywords: urbanized territories, environmental quality, atmospheric air, drinking water, anthropogenic pollutants

Acknowledgements: This study was carried out with financial support of the Russian Science Foundation, project No. 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>.

For citation: Yeprintsev S.A., Shekoyan S.V., Vinogradov P.M. 2025. Assessment of Unfavorable Environmental Factors in Urbanized Territories of Central Russia. *Regional Geosystems*, 49(1): 157–168 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168

Введение

Успешное функционирование урбанизированных территорий России и мира предполагает их постоянный рост как по занимаемой площади, так и по численности населения [Боровлев, 2020; Зайцева, Май, 2023; Курбаков и др., 2024], а экономическое развитие не представляется возможным без постоянного развития промышленного и автотранспортного потенциала, ведущего к появлению большого числа антропогенных загрязнителей, загрязняющих природные ландшафты [Седых и др., 2021; Боровлев и др., 2023; Зиньковская и др., 2024].

Существенное обострение данной проблемы наблюдается со второй половины XX века [Автушко и др., 2021; Овчинникова и др., 2022; Zinicovscaia et al., 2024]. При этом особую озабоченность экологов вызывает прямое воздействие антропогенных загрязнителей в различных компонентах селитебных ландшафтов на заболеваемость населения и формирование полей экологического риска [Талалай и др., 2021; Shahriyari et al., 2022; Yeprintsev et al., 2023; Kiaei et al., 2024].

Таким образом, первостепенная важность изучения рисков для благополучия граждан и формирования ключевых природоохранных мероприятий обуславливает необходимость оценки масштабов загрязнения окружающей среды в городах с развитой промышленностью [Cothorn et al., 1986; Allen, Barn, 2020; Myeong, Shahzad, 2021; Сафонов, 2024]. В этой связи целью исследования являлась оценка неблагоприятных факторов окружающей среды на территории промышленно развитых городов Центральной России (Воронеж, Липецк, Тула).

Объекты и методы исследования

С целью оценки состояния окружающей среды в Воронеже, Липецке и Туле проведены собственные выборочные исследования качества атмосферного воздуха и питьевой воды, которые включали отбор и анализ проб атмосферного воздуха и питьевой воды силами и средствами экоаналитической лаборатории факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета в сочетании с анализом опубликованных официальных данных региональных организаций Роспотребнадзора и Росгидромета (рис. 1).

Географическое распределение точек, в которых оценивалось загрязнение атмосферного воздуха, включало 19 участков: 4 точки – в Воронеже, 7 – в Липецке и 8 – в Туле. Обоснованием выбора контрольных точек сбора проб являлось наличие многочисленных промышленных источников выбросов на отдельно взятой городской территории, т. е. промзон, а также улиц с наиболее интенсивным движением, при этом собственные точки

контроля не совпадали с местами расположения стационарных постов Росгидромета и маршрутными наблюдениями контрольно-надзорных ведомств. С учетом этого, в Воронеже выбраны следующие контрольные точки: 1 – ул. Кронштадтская, 1 (близость к Левобережной промзоне), 2 – ул. Солнечная, д. 37 (близость к Коминтерновской промзоне + автотранспорт), 3 – Московский проспект, 90 (автотранспорт), 4 – ул. Березовая роща, 8а (фоновая точка, рекреационная зона Центрального парка); в Липецке – 1 – ул. Краснозаводская, д. 1 (напротив Липецкого тракторного завода, близость металлургического производства, автотранспорт), 2 – ул. Металлургов, д. 22 (напротив коксохимического производства Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК)); 3 – площадь Металлургов, д. 2 (напротив заводууправления НЛМК, металлургическое производство, автотранспорт), 4 – ул. Водопьянова, д. 39 (автотранспорт), 5 – ул. Гагарина, д. 6 (автотранспорт), 6 – ул. Буденного, д. 66 (частный сектор, фоновая точка), 7 – ул. Карла Маркса, 7 (рекреационная зона, фоновая точка); в Туле: 1 – Калужское шоссе, 99 км, въезд в г. Тулу со стороны М-2 (автотранспорт), 2 – ул. Советская, 62 (автотранспорт), 3 – ул. Луначарского, д. 9 (Тульский оружейный завод), 4 – переулок Городской, д. 17 (автотранспорт), 5 – ул. Станиславского, 49 (частный сектор, фоновая точка удалена от источников выбросов), 6 – поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Октябрьская, 13 (Косогорский металлургический комбинат), 7 – поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Демешковская, 36 (Косогорский металлургический комбинат), 8 – поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Максима Горького, 2 (Косогорский металлургический комбинат).



Рис. 1. Процесс отбора проб атмосферного воздуха в Липецке
Fig. 1. The process of atmospheric air sampling in Lipetsk

Измерения концентраций проводились для приоритетных загрязнителей (CO , CH_2O , SO_2 , NO_2) с применением газоанализатора ГАНК-4(А). Концентрацию взвешенных частиц определяли с применением электроаспираторной установки ПУ-5 с последующим использованием гравиметрического метода в соответствии с РД 52.04.893-2020. Всего было получено 57 результатов, по три на каждую из исследуемых точек, которые представляют собой разовые отборы проб, и, естественно, несут в себе присущие разовым исследованиям неопределенности, но дополняют информационную картину наблюдений в рамках государственной системы экологического мониторинга на стационарных и маршрутных постах контроля, увеличивая территориальный охват. Полученные результаты анализов сравнивались с нормативами качества населенных мест – с максимально разовыми предельно-допустимыми концентрациями (ПДК_{м.р.}) [СанПиН 1.2.3685-21]: оксид углерода – $0,5 \text{ мг/м}^3$, формальдегид – $0,05 \text{ мг/м}^3$, диоксид серы – $0,5 \text{ мг/м}^3$, диоксид азота – $0,2 \text{ мг/м}^3$, взвешенные вещества – $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Для анализа качества питьевой воды были отобраны пробы из централизованной водоснабжающей сети, по пять проб в каждом городе. Проводился анализ каждой пробы с определением концентрации Fe, Mn, нитратов, общей минерализации и жесткости. Эти показатели входят в перечни приоритетных в каждом из городов согласно материалам контрольно-надзорных ведомств [Доклад «О состоянии... в Воронежской области в 2023 году», 2024; Доклад «О состоянии... в Липецкой области в 2023 году», 2024; О состоянии..., 2024]. Данные исследования проводились в период с апреля по июль 2024 года.

Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что в Воронеже в двух местах был превышен уровень содержания пыли в воздухе (до 1,15 и 1,19 ПДК_{м.р.}). Из трех городов левобережная часть Липецка (рис. 2) оказалась наиболее загрязненной. В точках отбора проб по адресу улица Краснозаводская, дом 1, в окрестностях Липецкого тракторного завода и по адресу улица Metallургов, дом 22, рядом с коксохимическим производством НЛМК, были обнаружены превышения предельно допустимых концентраций (ПДК_{м.р.}) взвешенных частиц до 1,22 ПДК_{м.р.} и диоксида азота до 1,31 ПДК_{м.р.}

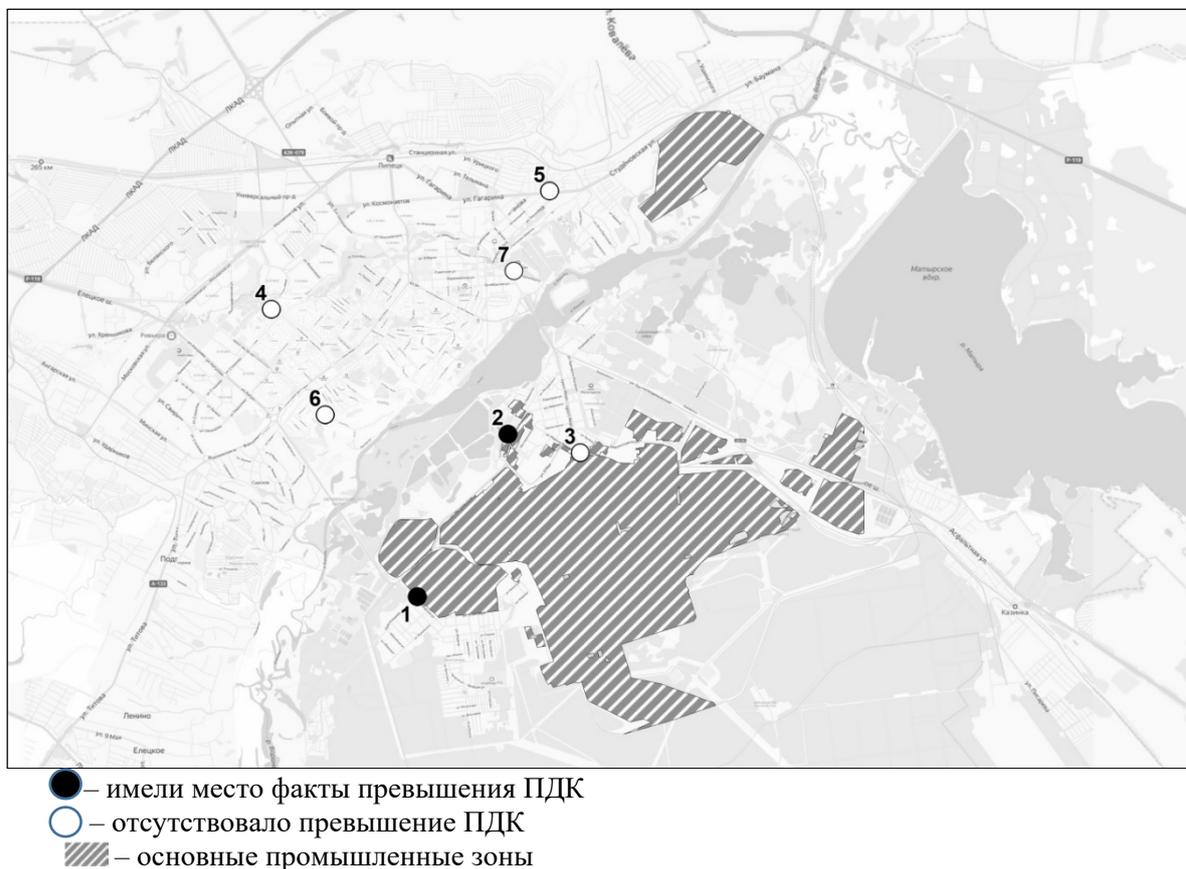


Рис. 2. Точки контроля и результаты оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Липецка с выделением основных промышленных зон

Fig. 2. The study in Lipetsk involved identifying control points for atmospheric air pollution analysis, coupled with an evaluation of pollution levels and a specific delineation of key industrial areas

В г. Туле превышений гигиенических нормативов содержания загрязняющих атмосферный воздух веществ не установлено.

В процессе проведенных исследований загрязнение атмосферы городов не показало превышение допустимых уровней содержания угарного газа, формальдегида и диоксида серы (табл. 1).

Результаты, полученные в рамках данного исследования, находят подтверждение в результатах регулярного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, осуществляемого государственными структурами, проводимого на стационарных и мобильных постах (Госгидрометеослужба и Центры гигиены) в 2023 году [Доклад «О состоянии... в Воронежской области в 2023 году», 2024; Доклад «О состоянии... в Липецкой области в 2023 году», 2024; О состоянии..., 2024].

Таблица 1
Table 1

Результаты измерений уровня атмосферного загрязнения и соответствующие аналитические данные, полученные в ходе исследований, проведенных в городах Воронеж, Липецк и Тула
The results of measurements of atmospheric pollution levels and corresponding analytical data obtained during the research conducted in the cities of Voronezh, Lipetsk, and Tula

Город	Места взятия проб атмосферного воздуха; вероятный источник загрязнения	Наименование загрязнителей	Средняя концентрация по результатам измерений (M±m), мг/м ³	Максимальная концентрация мг/м ³	Краткое заключение о соответствии или не соответствии нормативам
Воронеж	Улица Кронштадтская, дом 1; Левобережная промзона	Оксид углерода	2,12±0,31	2,39	взвешенные вещества – 1,15 ПДК
		Формальдегид	<0,0018	–	
		Диоксид серы	<0,03	–	
		Диоксид азота	<0,024	–	
		Взвешенные вещества (пыль)	0,390±0,09	0,575	
	Улица Солнечная, дом 37; Коминтерновская промзона + автотранспорт	Оксид углерода	1,92±0,21	2,31	взвешенные вещества – 1,19 ПДК
		Формальдегид	<0,0018	–	
		Диоксид серы	<0,03	–	
		Диоксид азота	<0,024	–	
		Взвешенные вещества (пыль)	0,531±0,11	0,595	
	Улица Московский проспект, дом 90; автотранспорт	Оксид углерода	2,35±0,44	2,42	соответствует нормативам
		Формальдегид	0,0052±0,001	0,0061	
		Диоксид серы	0,032±0,012	0,045	
		Диоксид азота	0,097±0,021	0,117	
		Взвешенные вещества (пыль)	0,321±0,02	0,391	
	Улица Березовая роща, дом 8а; фоновая точка, рекреационная зона, Центральный парк	Оксид углерода	<1,8	–	соответствует нормативам
Формальдегид		<0,0018	–		
Диоксид серы		<0,03	–		
Диоксид азота		<0,024	–		
Взвешенные вещества (пыль)		<0,15	–		
Липецк	Улица Краснозаводская, дом, 1 (район Липецкого тракторного завода); металлургическое производство + автотранспорт	Оксид углерода	2,35±0,44	2,42	диоксид азота – 1,18 ПДК, взвешенные вещества – 1,15 ПДК,
		Формальдегид	<0,0018	–	
		Диоксид серы	<0,03	–	
		Диоксид азота	0,097±0,021	0,236	
	Взвешенные вещества (пыль)	0,38±0,08	0,574		



Продолжение таблицы 1
Continuation of the table 1

Липецк	Улица Металлургов, дом, 22 (район коксохимического производства НЛМК); металлургическое производство	Оксид углерода	$2,58 \pm 0,41$	2,98	диоксид азота – 1,31 ПДК взвешенные вещества – 1,22 – ПДК
		Формальдегид	$0,0053 \pm 0,001$	0,006	
		Диоксид серы	< 0,03	–	
		Диоксид азота	$0,097 \pm 0,021$	0,262	
		Взвешенные вещества (пыль)	$0,38 \pm 0,08$	0,610	
	Площадь Металлургов, д.2 (напротив заводоуправления НЛМК); металлургическое производство + автотранспорт	Оксид углерода	< 1,8	–	соответствует нормативам
		Формальдегид	< 0,0018	–	
		Диоксид серы	< 0,03	–	
		Диоксид азота	< 0,024	–	
		Взвешенные вещества (пыль)	< 0,15	–	
	Ул. Водопьянова, д. 39; автотранспорт	Оксид углерода	$2,33 \pm 0,35$	2,67	соответствует нормативам
		Формальдегид	< 0,0018	–	
		Диоксид серы	< 0,03	–	
		Диоксид азота	$0,099 \pm 0,022$	0,124	
		Взвешенные вещества (пыль)	$0,41 \pm 0,01$	0,52	
Ул. Гагарина, д. 6; автотранспорт	Оксид углерода	$2,33 \pm 0,35$	2,57	соответствует нормативам	
	Формальдегид	< 0,0018	–		
	Диоксид серы	< 0,03	–		
	Диоксид азота	$0,105 \pm 0,028$	0,131		
	Взвешенные вещества (пыль)	$0,41 \pm 0,01$	–		
Ул. Буденного, д. 66 (частный сектор); фоновая точка	Оксид углерода	< 1,8	–	соответствует нормативам	
	Формальдегид	< 0,0018	–		
	Диоксид серы	< 0,03	–		
	Диоксид азота	< 0,024	–		
	Взвешенные вещества (пыль)	< 0,15	–		
Ул. Карла Маркса, 7 (рекреационная зона); фоновая точка	Оксид углерода	< 1,8	–	соответствует нормативам	
	Формальдегид	< 0,0018	–		
	Диоксид серы	< 0,03	–		
	Диоксид азота	< 0,024	–		
	Взвешенные вещества (пыль)	< 0,15	–		
Тула	Калужское шоссе, 99 км, въезд в г. Тулу со стороны М-2	Оксид углерода	$2,05 \pm 0,35$	2,49	соответствует нормативам
		Формальдегид	< 0,0018	–	
		Диоксид серы	< 0,03	–	
		Диоксид азота	$0,043 \pm 0,031$	0,072	
		Взвешенные вещества (пыль)	$0,30 \pm 0,02$	0,41	
	Ул. Советская, 62; автотранспорт	Оксид углерода	$1,98 \pm 0,31$	2,39	соответствует нормативам
		Формальдегид	< 0,0018	–	
		Диоксид серы	< 0,03	–	
		Диоксид азота	$0,091 \pm 0,031$	0,112	
		Взвешенные вещества (пыль)	$0,35 \pm 0,02$	0,41	
	Ул. Луначарского, д. 9; Тульский оружейный завод	Оксид углерода	< 1,8	–	соответствует нормативам
		Формальдегид	< 0,0018	–	
Диоксид серы		< 0,03	–		
Диоксид азота		< 0,024	–		
Взвешенные вещества (пыль)		< 0,15	–		

Окончание таблицы 1
End of the table 1

Переулоч Городской, д. 17; автотранспорт	Оксид углерода	$1,88 \pm 0,36$	2,05	соответствует нормативам
	Формальдегид	$< 0,0018$	–	
	Диоксид серы	$< 0,03$	–	
	Диоксид азота	$< 0,024$	–	
	Взвешенные вещества (пыль)	$< 0,15$	–	
Ул. Станиславского, 49 (частный сектор); фоновая точка удалена от источников	Оксид углерода	$< 1,8$	–	соответствует нормативам
	Формальдегид	$< 0,0018$	–	
	Диоксид серы	$< 0,03$	–	
	Диоксид азота	$< 0,024$	–	
	Взвешенные вещества (пыль)	$< 0,15$	–	
поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Октябрьская, 13; Косогорский металлурги- ческий комбинат	Оксид углерода	$2,39 \pm 0,53$	–	соответствует нормативам
	Формальдегид	$0,0055 \pm 0,001$	–	
	Диоксид серы	$0,052 \pm 0,011$	–	
	Диоксид азота	$0,097 \pm 0,021$	–	
	Взвешенные вещества (пыль)	$0,32 \pm 0,02$	–	
поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Демешковская, 36; Косогорский металлурги- ческий комбинат	Оксид углерода	$2,28 \pm 0,50$	2,98	соответствует нормативам
	Формальдегид	$0,0035 \pm 0,0008$	0,0044	
	Диоксид серы	$< 0,03$	–	
	Диоксид азота	$0,046 \pm 0,010$	0,052	
	Взвешенные вещества (пыль)	$0,42 \pm 0,03$	0,57	
поселок Косая гора городского округа город Тула, ул. Максима Горького, 2; Косогорский металлурги- ческий комбинат	Оксид углерода	$< 1,8$	–	соответствует нормативам
	Формальдегид	$< 0,0018$	–	
	Диоксид серы	$< 0,03$	–	
	Диоксид азота	$< 0,024$	–	
	Взвешенные вещества (пыль)	$< 0,15$	–	

Примечание: < – знак «менее» означает, что концентрация вещества была менее нижнего предела применяемого метода контроля с учетом метрологических характеристик методик выполнения измерений (МВИ).

В Воронеже в рамках системы государственного мониторинга осуществляется контроль качества атмосферного воздуха на пяти стационарных и пяти передвижных постах. Исследуются среднесуточные концентрации двенадцати веществ. В ходе исследования в 0,8 % отобранных образцов были выявлены превышения предельно допустимой концентрации (ПДК_{с.с.}) по взвешенным частицам, при этом максимальное превышение составило двукратную величину от норматива.

В Липецке систематические наблюдения проводятся на шести стационарных постах (анализируются 17 веществ) и двух маршрутных (анализируются 5 показателей) в рамках системы государственного мониторинга. По итогам исследований в 27,2 % проб зафиксировано превышение ПДК по PM_{2,5}. По другим показателям в официальных данных несоответствий нормативам не выявлено.

Контрольные мероприятия и гигиеническая оценка, проведенные в Туле, показали, что 3167 проб атмосферного воздуха соответствуют установленным гигиеническим нормативам.



Анализ качества питьевой воды из системы централизованного водоснабжения в Воронеже, Липецке и Туле по показателям содержания железа, марганца и нитратов, а также обобщенным характеристикам, таким как минерализация и жесткость, продемонстрировал, что вода по оцениваемым показателям отвечает необходимым санитарным стандартам [СанПиН 1.2.3685-21] (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Результаты исследований качества питьевой воды из систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Воронеж, Липецк и Тула
 The results of research on the quality of drinking water from centralized domestic drinking water supply systems in the cities of Voronezh, Lipetsk and Tula

Показатель	Норматив	Интервал значений		
		Воронеж	Липецк	Тула
Железо (Fe, суммарно), мг/дм ³	0,3	0,050–0,064	0,058–0,128	0,125–0,276
Марганец (Mn, суммарно), мг/дм ³	0,1	0,050–0,064	0,059–0,077	0,065–0,083
Нитраты (по NO ₃ ⁻), мг/дм ³	45	3,2–14,4	9,3–22,1	4,9–20,1
Жесткость, мг-экв./дм ³	7,0	2,5–5,3	5,6–6,8	5,2–6,8
Минерализация, мг/дм ³	1000	142–362	142–362	227–443

Сравнение полученных нами результатов оценки качества питьевой воды с доступными официальными материалами контрольно-надзорных ведомств (2023 год) применительно к распределительной водопроводной сети, показало, что на территории городского округа город Воронеж несоответствий требованиям по качеству воды в региональной системе социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора не выявлено. По Липецку, по данным государственного информационного доклада «О санитарно-эпидемиологической обстановке» (2023 год), сообщается, что «0,5 % проб питьевой воды по санитарно-химическим показателям не соответствовало требованиям нормативов», а Липецк из административных территорий Липецкой области отмечен как территория риска по содержанию железа и марганца, т. е. имелись факты превышения ПДК этих загрязнителей в питьевой воде из систем централизованного водоснабжения. По нитратам, жесткости и минерализации о превышениях нормативов на территории Липецка не упоминается.

В Туле, по данным «Тулагорводоканал» и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тульской области», содержание железа варьировало от «не обнаружено» (при этом чувствительность метода контроля исходя из области аккредитации лаборатории – 0,05 мг/дм³) до 0,14 мг/дм³, жесткости – от 5,0 до 9,6 мг-экв/дм³ (в Туле для Тулагорводоканала по жесткости действует временно согласованный с Роспотребнадзором норматив в 10 мг-экв/л до реализации «Плана мероприятий по доведению качества питьевой воды до установленных требований», утвержденном администрацией г.Тулы, для остальных территорий Тульской области норматив составляет 7 мг-экв/л).

Заключение

Таким образом, обобщая результаты проведенного исследования, следует заключить, что, несмотря на определенные ограничения, связанные с объемом выполненных исследований и анализируемыми показателями, они в целом согласуются с материалами официального мониторинга состояния окружающей среды. На территории городов Липецк и Воронеж зафиксированы случаи превышения максимально разовых ПДК по содержанию взвешенных веществ и диоксида азота. При сравнительном анализе было установлено, что левобережная

часть г. Липецка характеризуется наибольшим уровнем загрязнения. Анализ питьевой воды по материалам собственных исследований не выявил отклонений от гигиенических нормативов по исследуемым показателям, но в официальных материалах по отдельным характеристикам (содержание железа, марганца, показатель жесткости) отмечается проблема обеспечения действующих к питьевой воде нормативных требований.

Список источников

- Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Воронежской области в 2023 году». 2024. Воронеж, Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, 199 с. Электронный ресурс. URL: https://36.rospotrebnadzor.ru/download/dokl_seb_2023.pdf (дата обращения: 20.01.2025).
- Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Липецкой области в 2023 году». Электронный ресурс. URL: <http://48.rospotrebnadzor.ru/Default.aspx?mnu=e920e6045ea74ec4adcd7964f2c6320a> (дата обращения: 20.01.2025).
- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Тульской области в 2023 году: Государственный доклад. 2024. Тула, Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тульской области, 209 с. Электронный ресурс. URL: <https://71.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/036/v22x3wm5wh4lcpghgkqnfyhgy8ci5td11.pdf> (дата обращения: 26.12.2024).
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 13.01.2025).

Список литературы

- Автушко М.И., Матвеев А.В., Исаченко С.А. 2021. Новые данные о поступлении радона в среду обитания человека. Доклады Национальной академии наук Беларуси, 65(3): 355–360. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360>
- Боровлев А.Э., Корнилов А.Г., Киселев В.В., Зеленская Е.Я. 2023. К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода. Региональные геосистемы, 47(4): 619–629. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Боровлев А.Э. 2020. Проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгородской области на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Управление городом: теория и практика, 4(38): 53–56.
- Зайцева Н.В., Май И.В. 2023. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух». Анализ риска здоровью, 1: 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Зиньковская И.И., Сафонов А.И., Юшин Н.С., Неспирный В.Н., Гермонова Е.А. 2024. Ингредиентный фитомониторинг в Донбассе для идентификации новых геохимических аномалий. Экологическая химия, 33(1): 19–32.
- Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В., Кречетников В.В. 2024. Экологическое состояние объектов окружающей среды в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации. Экология и промышленность России, 28(9): 45–51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>
- Овчинникова Е.Л., Никитин С.В., Колчин А.С., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Крига А.С., Плотникова О.В., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г., Шмакова Н.П. 2022. Методические подходы к обработке результатов лабораторного мониторинга качества атмосферного воздуха для целей проведения оценки риска здоровью. Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО, 30(3): 36–43. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>
- Седых В.А., Куролап С.А., Кондауров Р.А. 2021. Геоэкологическая оценка аэротехногенного загрязнения воздушной среды города Липецка. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 15(1): 96–103. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.



- Сафонов А.И. 2024. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций. Донецк, ИД «ЭДИТ», 289 с.
- Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Влияние синоптических условий на содержание загрязняющих веществ в атмосфере г. Белгорода. Региональные геосистемы, 45(1): 107–117. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Resent Literature. *Current Environmental Health Reports*, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Cothern C.R., Coig-lio W.A., Marcus W.L. 1986. Estimating Risk of Human Health. *Environmental Science & Technology*, 20(2): 111–116. <https://doi.org/10.1021/es00144a001>.
- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. *Health Nexus*, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. *Sustainability*, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. *Toxin Reviews*, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yeprintsev S., Kurolap S., Klepikov O., Vinogradov P. 2023. Remote Monitoring of Factors Determining the Environmental Safety of Urban Areas. *E3S Web of Conferences. Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023)*: 03030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903030>.
- Zinicovscaia I., Safonov A., Kravtsova A., Chaligava O., Germonova E. 2024. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 21(2): 186–200. <https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>.

References

- Autushka M.I., Matveyev A.V., Isachenko S.A. 2021. Recent Data on Radon Entry into the Human Environment. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 65(3): 355–360 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360>
- Borovlev A.E., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Zelenskaya E.Ya. 2023. On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod. *Regional Geosystems*, 47(4): 619–629 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629>.
- Borovlev A.E. 2020. Problematic Issues of Health Risk Assessment in the Belgorod Region Based on Summary Calculations of Air Pollution. *Upravleniye gorodom: teoriya i praktika*, 4(38): 53–56 (in Russian).
- Zaitseva N.V., May I.V. 2023. Ambient Air Quality and Health Risks as Objective Indicators to Estimate Effectiveness of Air Protection in Cities Included Into the ‘Clean Air’ Federal Project. *Health Risk Analysis*, 1: 4–12 (in Russian). <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01>.
- Zinicovscaia I.I., Safonov A.I., Yushin N.S., Nesporny V.N., Germonova E.A. 2024. Ingredient Phytomonitoring in Donbass for Identifying New Geochemical Anomalies. *Russian Journal of General Chemistry*, 33(1): 19–32 (in Russian).
- Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementieva N.V., Novikova N.V., Krechetnikov V.V. 2024. Ecological State of Environmental Facilities in the Zone of Influence of the Lipetsk Industrial Agglomeration. *Ecology and Industry of Russia*, 28(9): 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-9-45-51>
- Ovchinnikova E.L., Nikitin S.V., Kolchin A.S., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Kriga A.S., Plotnikova O.V., Cherkashina M.N., Vinokurova I.G., Shmakova N.P. 2022. Methodological Approaches to Processing Laboratory Results of Ambient Air Quality Monitoring for the Purposes of Human Health Risk Assessment. *Public Health and Life Environment – PH&LE*, 30(3): 36–43 (in Russian). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-36-43>.



- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Kondaurov R.A. 2021. Geocological Assessment of Technogenic Air Pollution of Atmospheric Environment in Lipetsk. Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences, 15(1): 96–103 (in Russian). <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103>.
- Safonov A.I. 2024. Ecological Phytomonitoring of Anthropogenic Transformations. Donetsk, Publ. EDIT, 289 p. (in Russian).
- Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. Influence of Synoptic Conditions on the Content of Pollutants in the Atmosphere of Belgorod. Regional Geosystems, 45(1): 107–117 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117>.
- Allen R.W., Barn P. 2020. Individual and Household-Level Interventions to Reduce Air Pollution Exposures and Health Risks: a Review of the Recent Literature. Current Environmental Health Reports, 7(4): 424–440. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00296-z>.
- Cothern C.R., Coig-lío W.A., Marcus W.L. 1986. Estimating Risk of Human Health. Environmental Science & Technology, 20(2): 111–116. <https://doi.org/10.1021/es00144a001>.
- Kiaei R., Pardakhti A., Zahed M.A. 2024. The Role of Health Risk Assessment Techniques in Controlling Air Pollution: a Mini Review. Health Nexus, 2(3): 60–70. <https://doi.org/10.61838/kman.hn.2.3.8>.
- Myeong S., Shahzad Kh. 2021. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities. Sustainability, 13(13): 7168. <https://doi.org/10.3390/su13137168>.
- Shahriyari H.A., Nikmanesh Y., Jalali S., Tahery N., Zhiani Fard A., Hatamzadeh N., Zarea K., Cheraghi M., Mohammadi M.Ja. 2022. Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Diseases. Toxin Reviews, 41(2): 606–617. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1887261>.
- Yeprintsev S., Kurolap S., Klepikov O., Vinogradov P. 2023. Remote Monitoring of Factors Determining the Environmental Safety of Urban Areas. E3S Web of Conferences. Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023): 03030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903030>.
- Zinicovscaia I., Safonov A., Kravtsova A., Chaligava O., Germonova E. 2024. Neutron Activation Analysis of Rare Earth Elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the Diagnosis of Ecosystems of Donbass. Physics of Particles and Nuclei Letters, 21(2): 186–200. <https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>.

*Поступила в редакцию 28.01.2025;
поступила после рецензирования 21.02.2025;
принята к публикации 06.03.2025*

*Received January 28, 2025;
Revised February 21, 2025;
Accepted March 06, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Епринцев Сергей Александрович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Шекоян Сюзанна Вазгеновна, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey A. Yeprintsev, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Syuzanna V. Shekoyan, Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia



Виноградов Павел Михайлович, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Pavel M. Vinogradov, Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia



УДК 502.7:581.526

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-169-183

Площадь и фрагментированность природного каркаса в Краснолиманском, Славянском и Константиновском районах Донецкой Народной Республики

Блакберн А.А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Донецкий ботанический сад»
Россия, 283023, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр-т Ильича, 110
blackburn.fox@mail.ru

Аннотация. Сравнительный анализ Краснолиманского, Славянского и Константиновского административных районов ДНР в направлении север – юг, от дальней периферии республики к ее центру, показал существенное различие в площади и фрагментированности их природного каркаса. Оценивалось наличие на территории районов природных и квазиприродных участков, представляющих основные типы растительного покрова региона: степные, лесопокрытые участки, «лесостепные» и участки с болотно-луговой растительностью. В целом наблюдается четкая тенденция уменьшения относительной доли площади природных территорий в направлении от дальней периферии к центру республики, что отчасти подтверждает концепцию поляризованного ландшафта по Б.Б. Родоману. Показатели фрагментации природных участков также отражают пространственный аспект их размещения на территории районов: наличие крупных лесных массивов на границе Краснолиманского и Славянского районов и более высокую долю степного компонента на юге рассматриваемого полигона.

Ключевые слова: Донецкая Народная Республика, природный каркас, природные и квазиприродные территории, показатели фрагментации, поляризованный ландшафт

Благодарности: работа выполнена по теме государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад «Исследование современного состояния растительного покрова на Донецкой возвышенности и в Северном Приазовье» (Регистрационный № 123101300195-2).

Для цитирования: Блакберн А.А. 2025. Площадь и фрагментированность природного каркаса в Краснолиманском, Славянском и Константиновском районах Донецкой Народной Республики. Региональные геосистемы, 49(1): 169–183. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-169-183

The Area and Fragmentation of the Natural Framework in the Krasny Liman, Slavyansk, and Konstantinovka districts of the Donetsk People's Republic

Andrey A. Blackburn

Federal State Budgetary Scientific Institution “Donetsk Botanical Garden”,
110 Ilyich Ave., Donetsk, Donetsk People’s Republic 283023, Russia
blackburn.fox@mail.ru

Abstract. The comparative analysis of the structure of the natural framework in three administrative districts of the DPR selected in the north – south direction showed a clear tendency toward a reduction in natural and quasi-natural sites’ area – from the far periphery toward the region’s center. In the course of the study, we assessed the presence of sites representing the main types of regional vegetation cover in these districts: steppes, forests, forest-steppes, and sites with marsh-meadow vegetation, as well as their areas and indicators of their fragmentation. To some extent, this trend proves the concept of a “polarized landscape”. The indicators of natural framework fragmentation also reflect the spatial aspect of their location within the districts: the presence of large forests in the north and a higher proportion of the steppe component in the south. In terms of the ecological network of the studied sites, we can state that there are large and very large natural cores represented mainly by forests in the Krasny Liman and Slavyansk districts. There are practically no large natural cores in the Konstantinovka district, with the exception of a few steppes.

© Блакберн А.А., 2025



Keywords: Donetsk People's Republic, ecological framework, natural and quasi-natural territories, fragmentation indicators, polarized landscape

Acknowledgements: the work was carried out on the topic of the state assignment of the Donetsk Botanical Garden Federal State Budgetary Institution "Study of the current state of vegetation cover in the Donetsk upland and in the Northern Azov region" (Registration number 123101300195-2).

For citation: Blackburn A.A. 2025. The Area and Fragmentation of the Natural Framework in the Krasny Liman, Slavyansk, and Konstantinovka Districts of the Donetsk People's Republic. Regional Geosystems, 49(1): 169–183 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-169-183

Введение

Сохранение природного каркаса любой территории требует, прежде всего, точного знания, где, в каком виде и в каком состоянии он имеется и какие условия необходимы для его охраны и/или оптимизации его структуры. Особенно это актуально для таких густонаселенных и промышленно концентрированных регионов, как Донбасс. Согласно Международной Стратегии сохранения биологического разнообразия Земли, необходимо к 2050 году обеспечить представленность не менее 50 % территории суши природными и полуприродными (квазиприродными) экосистемами [Explore the Worlds Protected Areas, 2021]. Это условие, в свою очередь, предполагает достаточно точную оценку на разных уровнях геосистемной организации (планетарном (глобальном), региональном и локальном) наличия таких территорий – природных и квазиприродных – и, по возможности, их качественного состава [Стишов, Дадли, 2018].

В настоящее время исследования пространственной структуры территорий различного ранга опираются в основном на методы дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ), охватывая как целые страны и регионы [Захаров, 2015; Гусев и др., 2021; Терехин, 2021; Брагина, 2024; Давидович, Яцухно, 2024], так и отдельные локальные объекты [Верхотуров, 2020; Истомина, Холоденко, 2021; Jabrayilov, 2021; Зенгина и др., 2022]. Однако, при несомненно высоких технических возможностях, методы ДЗЗ пока еще не способны заменить визуальное дешифрирование растительного покрова и методы экспертной оценки объектов земной поверхности [Савин, Березуцкая, 2024]. Это обстоятельство становится особенно актуальным в свете сохранения природных и квазиприродных участков территории как основы ее природного каркаса и ландшафтного разнообразия [Мирзеханова, Климина, 2023].

В Донецкой Народной Республике (ДНР) нами уже проводились исследования по оценке ее природного каркаса в границах, существовавших еще до вхождения ДНР в Российскую Федерацию [Блакберн, 2022]. После этого были проведены такие же исследования и других частей (районов) республики. Как и на предыдущем этапе, *цель* исследования – оценка пространственной структуры природного каркаса Донецкого региона (в рамках Донецкой Народной Республики) в виде первичной инвентаризации природных и квазиприродных участков его территории как единого полигона. На данном этапе исследования была поставлена задача оценить структуру природного каркаса трех административных районов (далее районов) ДНР – Краснолиманского, Славянского и Константиновского, расположенных в указанном порядке с севера на юг – от крайне северной границы региона (Краснолиманский район) до границы с его центральной частью (Константиновский район). Если все три указанных района мысленно «вписать» в прямоугольник, то его высота в направлении север – юг составит 107 км, а в направлении запад – восток – 66 км (рис. 1).

Выполнение основной задачи данного этапа исследования включало:

- получение сравнительной характеристики исследуемых районов по наличию в них основных типов природных и квазиприродных участков, а именно – их число, общую и среднюю площадь, относительную долю площади (в %) от общей площади исследуемых районов;
- оценку степени фрагментации всех типов природных и квазиприродных территорий;

• сравнительную оценку исследованных районов по вышеназванным количественным характеристикам, а также по диапазонам занимаемых площадей рассматриваемых природных и квазиприродных участков.

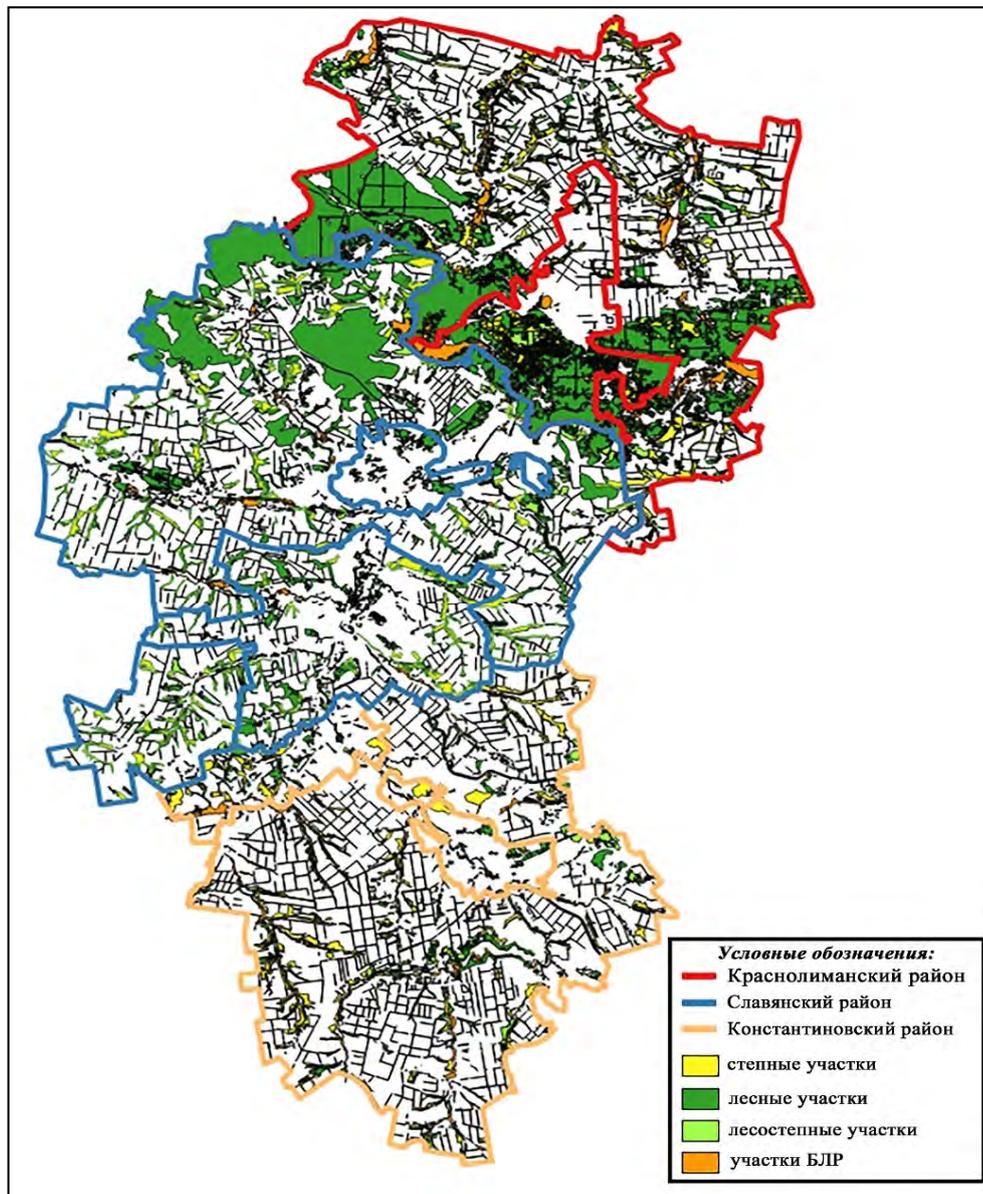


Рис. 1. Картосхема исследованных районов ДНР[‡]
Fig. 1. Cartography of the explored areas of the DPR

Объекты и методы исследования

В качестве основных элементов экологического каркаса исследуемых районов рассматриваются основные типы природных и квазиприродных территорий (далее природных участков), которые характерны для Донецкого региона:

– условно степные и квазистепные участки (далее степные), под которыми понимаются территории с преимущественно травяной растительностью (*grassland habitat*), не распашанные на данный момент, не имеющие селитебных, промышленных и других инфраструктурных элементов антропогенного ландшафта. На данном этапе исследования выделенные нами степные участки не дифференцировались на подтипы степей (степной растительности),

[‡] Границы муниципальных городов включены в общие границы рассматриваемых районов.



равно как и по их происхождению (природного или антропогенного), стадии восстановительной сукцессии (возрастные категории залежей и/или пастбищной дигрессии);

– лесопокрытые участки (далее лесные) – участки территории с преобладанием древесно-кустарниковой растительности, также независимо от их происхождения (природного или антропогенного), подтипа и класса растительной формации, размера, конфигурации, местонахождения;

– участки с болотно-луговой растительностью (БЛР) – участки территории с явно выраженной гидрофильной растительностью, главным образом тростниковые заросли, а также прилегающие к ним участки с луговой растительностью.

Кроме трех выше указанных типов растительности, нами был взят еще один, условно названный как «лесостепной». Под этим типом были приняты участки, которые сложно идентифицировать как «степные» или «лесные», поскольку в большинстве случаев они представлены территориями, покрытыми разреженной древесной и древесно-кустарниковой растительностью на фоне явного преобладания травяных сообществ.

Выбор трех выше названных административных районов ДНР продиктован тем, что они, располагаясь один за другим в направлении север – юг, отражают своего рода «географический срез» Донецкого региона от крайнего его севера (удаленная периферия) до центральной его части. В данном аспекте можно проследить, как меняется структура природного каркаса этой части Донецкого региона и в некоторой степени проверить, насколько она соответствует концепции «поляризованного ландшафта» по Б.Б. Родоману [2021], на примере конкретных территорий.

Аналізу пространственной структуры земной поверхности посвящено большое количество исследований [Turner, Gardner, 1991; Forman, Moore, 1992; Brown, Fagerholm, 2015; Waters, 2018; Самсонов, 2019; Grekousis, 2020; Колбовский, 2022; Hansen et al., 2022]. Многие из них касаются проблем охраны природы или конкретных природных объектов [Noss et al., 2013; Gibson, 2015; Velázquez et al., 2017; EcoServ-GIS ..., 2018; Ergüner et al., 2019]. Ряд источников посвящен вопросам сравнительной оценки визуального и автоматизированного дешифрирования ДЗЗ при решении картографических задач [Lowell, 1990; Nijhuis et al., 2011; Jiang, 2015; Forman, 2016].

В данном исследовании природный каркас выделялся на основе визуального дешифрирования космических снимков (мозаики снимков сверхвысокого пространственного разрешения из GoogleMap 2018–2019 года) с их векторизацией в программе QGIS 3.4.18 [QGIS Development Team, 2019]. В качестве дешифровочных признаков использовался цвет и текстура изображения анализируемых участков.

Показатели фрагментации выделенных природных участков определялись по методикам, широко распространенным в подобных исследованиях [Jaeger, 2000; Esswein, Schwarz von Raumer, 2006; Jaeger et al., 2011; Walz, 2011].

Результаты и их обсуждение

Значения количественных характеристик природных участков территории исследованных районов приведены в таблице.

Поскольку основным показателем природного каркаса территории являются площади составляющих его природных участков, то логично по этому же параметру давать сравнительную характеристику исследуемых районов. Диаграммы площадей каждого типа растительного покрова – природных и квазиприродных участков Краснолиманского, Славянского и Константиновского районов и их совокупности представлены на рис. 2. Сравнительный анализ по значениям занимаемых площадей показывает, что по площади степных участков Краснолиманский и Славянский районы практически равны между собой (7650,22 га и 7643,15 га, соответственно). Константиновский район в этом отношении несколько уступает им (6167,68 га).

По лесопокрытым территориям их площадь в Краснолиманском районе уже существенно превышает аналогичный показатель в Славянском районе (34064,18 га и 29549,05 га, соответственно), и значения этих двух районов в несколько раз (в 4,7 и 4 раза) превышают аналогичный показатель Константиновского района (7253,55 га).

Количественные характеристики природных и квазиприродных участков в Краснолиманском, Славянском и Константиновском районах ДНР и показатели их фрагментации
Quantitative characteristics of natural and quasi-natural sites in the Krasny Liman, Slavyansk, and Konstantinovka districts of the DPR and indicators of their fragmentation

Тип территории	Количественные показатели						
	N	S _{об} (га) / в % от площади АТП	S _{ср} (га)	C	m _{eff}	m _{eff} / S _{ср}	LDI
Краснолиманский район (121082,12 га)							
<i>Участки:</i>							
степные	949	7650,22 / 6,32	8,06	0,000028	3,36	0,42	0,0032
лесные	5338	34064,18 / 28,13	6,38	0,00152	183,85	28,81	–
БЛР	725	3778,97 / 3,12	5,21	0,000046	5,57	1,07	0,0022
лесостепные	926	3756,81 / 3,10	4,06	0,0000089	1,08	0,27	0,0035
<i>Все участки:</i>	7938	49250,18 / 40,68	6,20	–	–	–	–
Славянский район (169316,73 га)							
<i>Участки:</i>							
степные	405	7643,15 / 4,51	18,87	0,000018	3,06	0,16	0,0020
лесные	6728	29549,05 / 17,45	4,39	0,001260	213,43	48,60	0,0051
БЛР	541	1695,04 / 1,00	3,13	0,0000019	0,33	0,105	0,0022
лесостепные	175	2216,23 / 1,31	12,66	0,0000032	0,53	0,042	0,0012
<i>Все участки:</i>	7818	40855,84 / 24,13	5,23	–	–	–	–
Константиновский район (121028,86 га)							
<i>Участки:</i>							
степные	377	6167,68 / 5,1	16,36	0,000029	3,55	0,22	0,0021
лесные	3739	7253,55 / 6,0	1,94	0,000013	1,54	0,80	0,0074
БЛР	589	2158,78 / 1,78	3,67	0,000007	0,84	0,23	0,0029
лесостепные	66	1071,84 / 0,89	16,24	0,000003	0,36	0,02	0,0008
<i>Все участки:</i>	4771	16651,85 / 13,76	3,49	–	–	–	–

Условные обозначения: N – количество участков; S_{об} – общая площадь участков; S_{ср} – средняя площадь участков; C – когерентность; m_{eff} – эффективный размер ячейки; LDI – индекс изрезанности ландшафта.

Сравнение площадей участков БЛР по исследованным районам показывает опять-таки существенное их превышение у Краснолиманского района (3778,97 га) по сравнению с двумя остальными. В Константиновском районе площадь участков БЛР составляет всего 2158,78 га, а в Славянском районе еще меньше – 1695,04 га.

Значения площадей «лесостепных» участков укладываются на диаграмме практически в прямую наклонную линию их уменьшения в ряду Краснолиманский район – Славянский район – Константиновский район (3756,81 га – 2216,23 га – 1071,84 га) (см. рис. 2).

Картина значений всей совокупности природных участков очень близка к таковой по лесопокрытым территориям, что и ожидаемо, учитывая тот факт, что количество лесопокрытых участков составляет абсолютное большинство среди всей совокупности природных участков всех трех исследованных районов.

Тем не менее, можно констатировать, что по всем без исключения типам природных территорий как по их числу, так и по занимаемым ими площадям, явно лидирует Краснолиманский район. За ним с небольшим отрывом по этим показателям следует Славянский район. На последнем месте и большим отставанием по совокупности всех природных территорий находится Константиновский район. Лишь по количеству и площади участков с БЛР этот район превосходит Славянский, но, тем не менее, сильно уступает Краснолиманскому району.

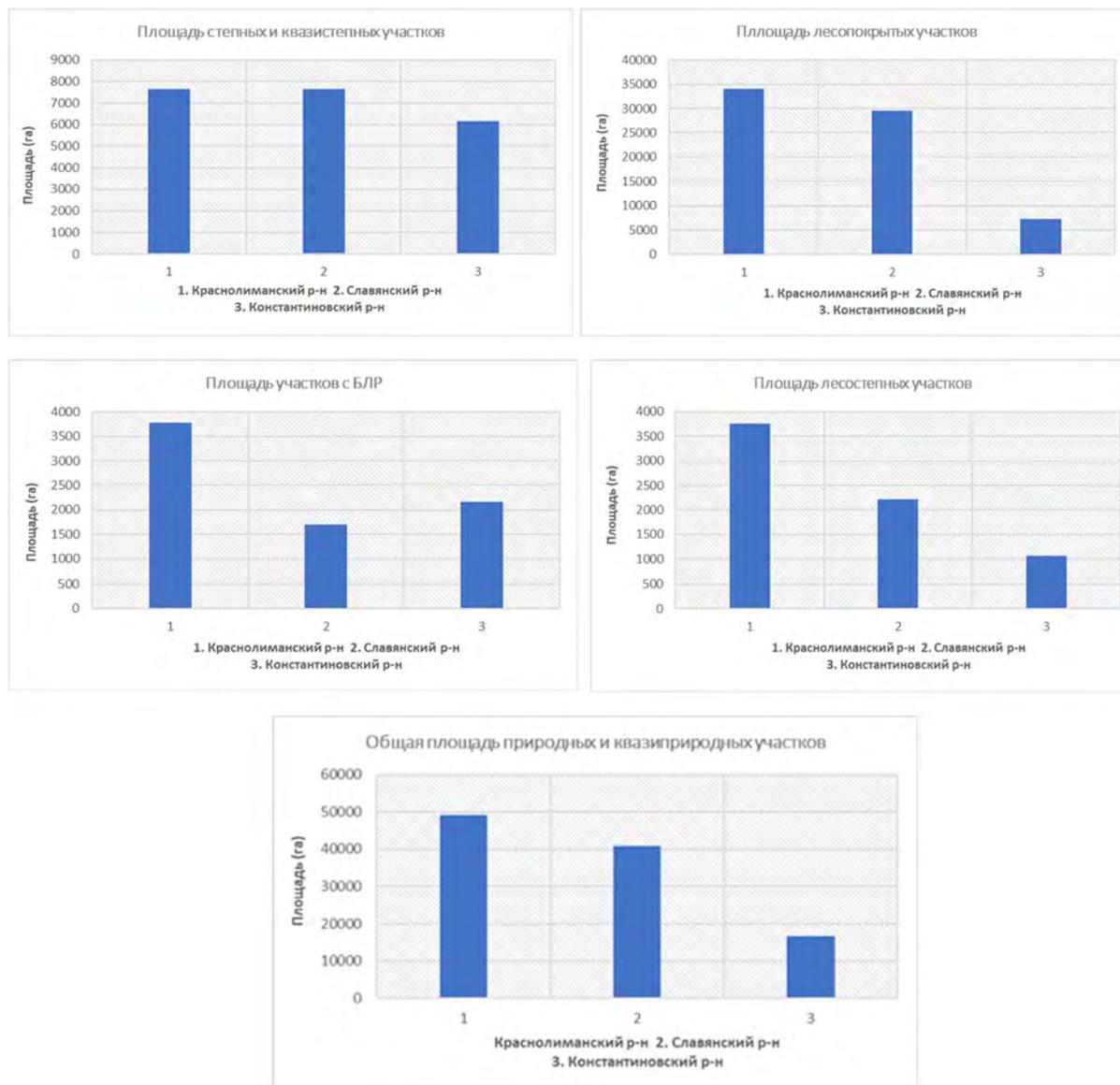


Рис. 2. Значения площадей (га) природных территорий Краснолиманского (1), Славянского (2) и Константиновского (3) районов

Fig. 2. Area values (ha) for the natural territories of the Krasny Liman district (1), the Slavyansk district (2), and the Konstantinovka district (3)

Еще более информативными являются значения по занимаемым площадям природных территорий в различном размерном их диапазоне. Это позволяет оценить, какие типы природных территорий и в каком количестве имеются в том или ином размерном классе в каждом из исследованных районов.

На рисунках 3, 4, 5 представлены диаграммы размерных классов (размерных диапазонов) по каждому типу природных территорий и их совокупности, соответственно в Краснолиманском, Славянском и Константиновском районах.

В Краснолиманском районе по всем типам природных территорий имеет место убывание количества природных участков в направлении увеличения диапазона их площади. Однако характер этого убывания в различных типах природных территорий разный. Так, например, по степным участкам в этом районе (см. рис. 3) убывание их количества в размерном ряду 0–1 га – 1–3 га – 3–10 га имеет вид почти что наклоненной вниз прямой линии, но уже следующий размерный диапазон (10–100 га) имеет почти что такое количество степных участков, как и предыдущий (170 и 173 соответственно).

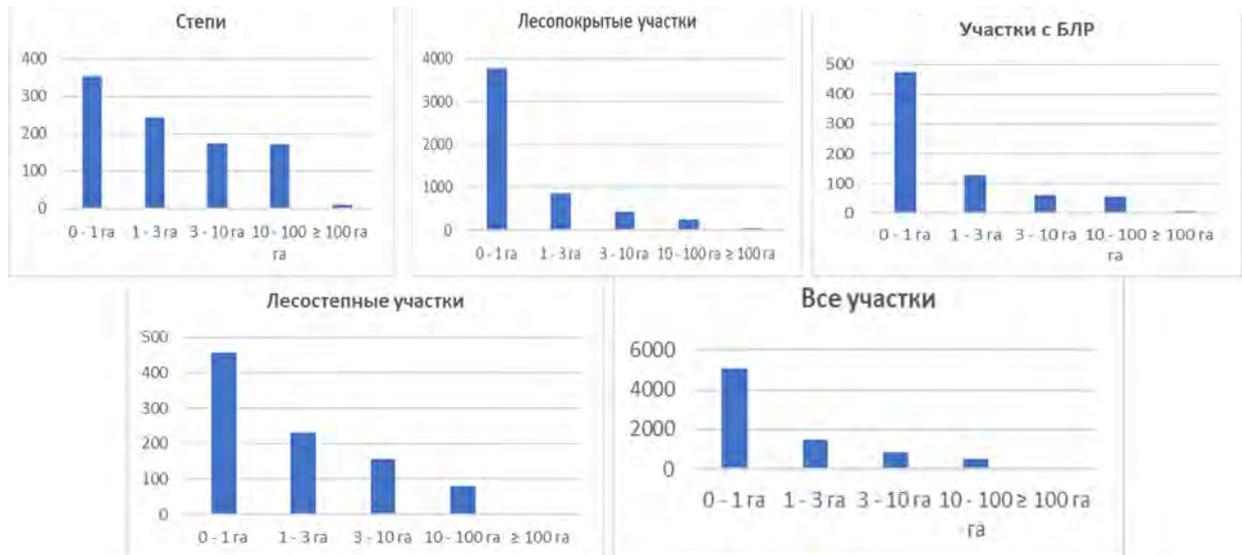


Рис. 3. Количественное распределение природных и квазиприродных участков Краснолиманского района по диапазону занимаемых площадей
 Fig. 3. Quantitative distribution of natural and quasi-natural sites in the Krasny Liman district by the range of occupied areas

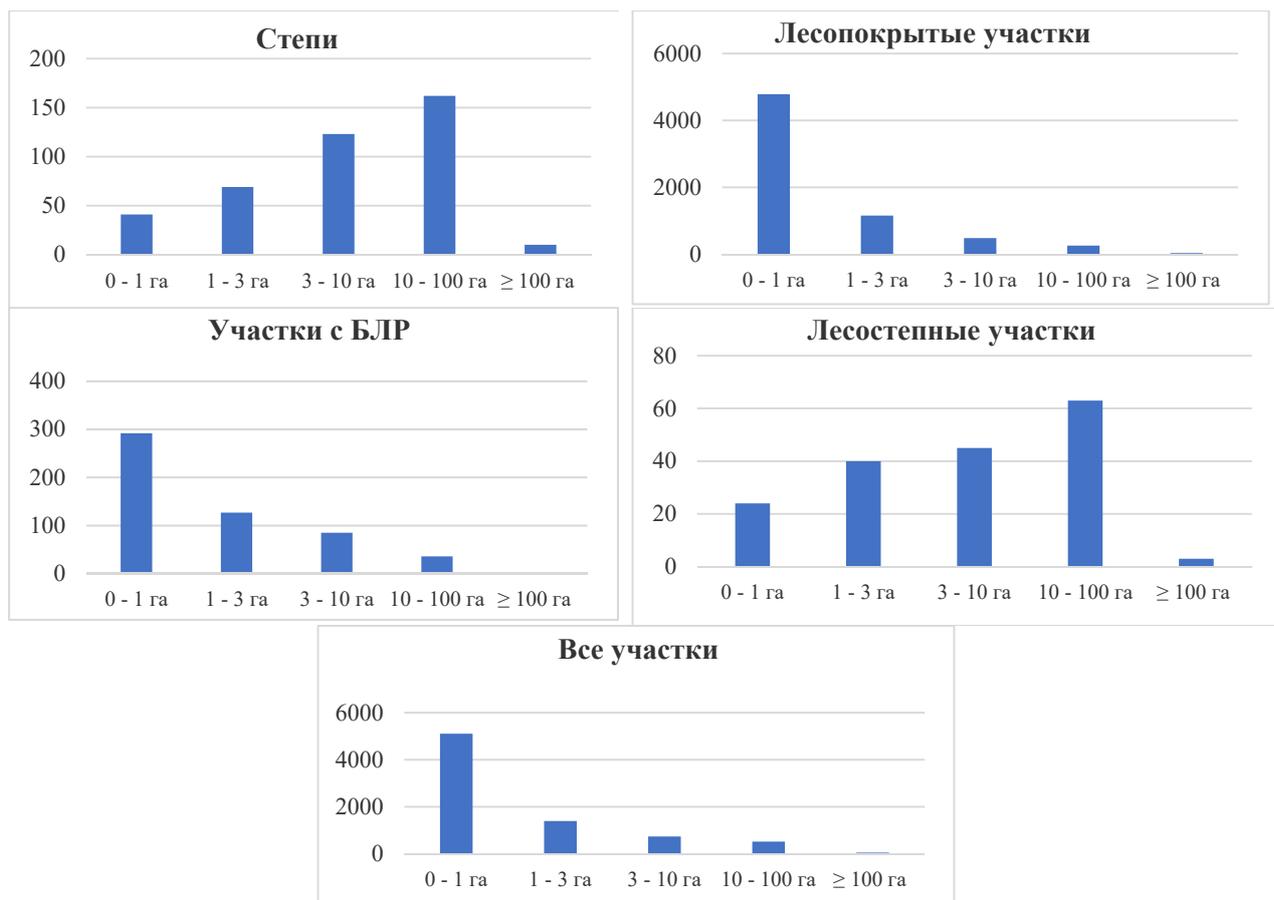


Рис. 4. Количественное распределение природных и квазиприродных участков Славянского района по диапазону занимаемых площадей
 Fig. 4. Quantitative distribution of natural and quasi-natural sites in the Slavyansk district by the range of occupied areas

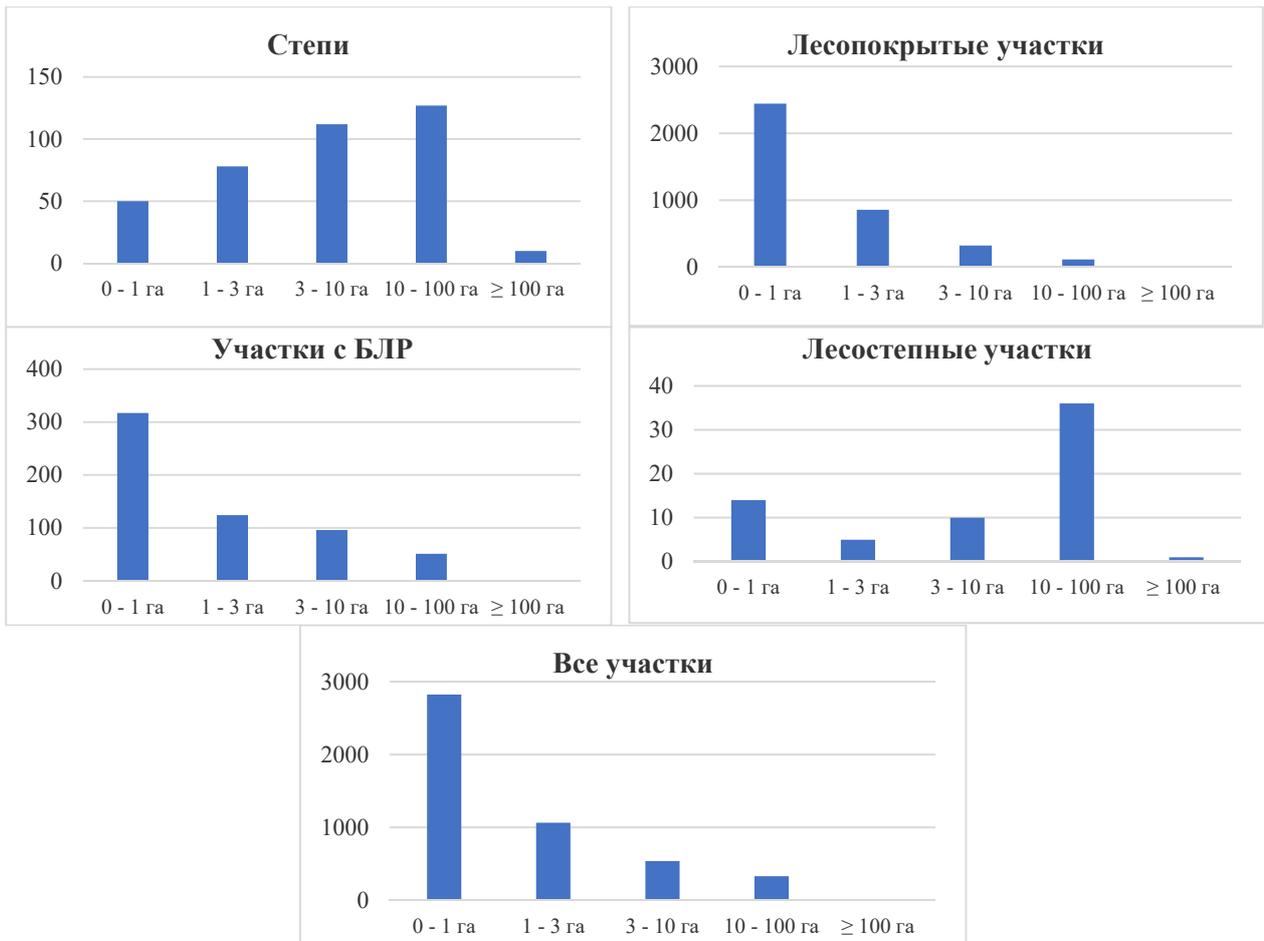


Рис. 5. Количественное распределение природных и квазиприродных участков Константиновского района по диапазону занимаемых площадей
 Fig. 5. Quantitative distribution of natural and quasi-natural sites in the Konstantinivka district by the range of occupied areas

Это говорит о том, что среди степных участков в Краснолиманском районе, при явном преобладании количества малоразмерных территорий, относительно велика доля средне-размерных участков. По остальным типам природных территорий наблюдается (за исключением «лесостепных» территорий) отрицательный экспоненциальный рост числа их участков с увеличением диапазона их площади. Для «лесостепных» территорий эта зависимость имеет скорее линейный характер. В целом в Краснолиманском районе наблюдается четкая тенденция уменьшения количества природных участков при увеличении диапазона их площади, только по степным и в меньшей степени по лесостепным участкам эта тенденция не так резко выражена, как у лесопокрытых территорий и участков с БЛР.

Совершенно иная картина в долевом распределении природных участков разного размерного диапазона наблюдается в Славянском районе (см. рис. 4). Здесь, напротив, количество степных участков почти что пропорционально растет с увеличением их размерного диапазона, и только на последнем размерном диапазоне (≥ 100 га) их число резко падает (до 10). Подобный, хотя и не такой резкий рост количества участков с увеличением их площади имеет место и для «лесостепных» территорий Славянского района. Для лесопокрытых участков и участков с БЛР в этом районе их относительное распределение по размерным диапазонам площадей имеет похожий вид, как и в Краснолиманском районе. Таким образом, можно заключить, что в пространственной структуре природных и квазиприродных территорий Славянского района относительная доля степных и «лесостепных»

(которые в своей основе являются степными по генезису) участков существенно выше, чем в Краснолиманском, поскольку среди них преобладают средне-размерные и крупно-размерные участки.

Похожая картина в количественном распределении природных территорий имеет место и в Константиновском районе. В нем также наблюдается прямолинейный рост числа степных участков с увеличением их размерного диапазона (см. рис. 5). Наибольшее количество степных участков в этом районе, так же как и в Славянском, имеет место в диапазоне площадей – 10–100 га (162 и 127, или 40 % и 33,7 % от их общего количества, соответственно). И затем резкое сокращение их числа в диапазоне ≥ 100 га. Что касается «лесостепных» участков Константиновского района, то характер их количественного распределения по диапазонам занимаемых площадей неоднороден. Наибольшее их количество также приходится на размерный диапазон 10–100 га (36 участков, или 54,5 % от общего их количества). Остальные два типа природных территорий – лесопокрываемые участки и участки с БЛР, как и вся совокупность всех природных территорий Константиновского района, показывают отрицательный экспоненциальный рост их количества в направлении увеличения диапазона их площадей.

В отношении показателей фрагментации природных территорий исследованных районов можно констатировать, что, за исключением лесопокрываемых территорий, они довольно высокие у всех типов природных территорий во всех трех районах (см. таблицу). Значения индексов фрагментации (C , m_{eff} , LDI) мало изменяются в зависимости от увеличения диапазонов площадей природных территорий. Однако обращает на себя внимание факт резкого уменьшения показателя отношения эффективного размера ячейки к средней площади размера природного участка данного типа территории (m_{eff} / S_{cp}) с увеличением ее размерного диапазона, что, собственно, закономерно, поскольку в каждом последующем размерном диапазоне их средние площади увеличиваются. Но в отношении *лесопокрываемых территорий* показатель m_{eff} / S_{cp} существенно больше 1,0 для Краснолиманского и Славянского районов (в таблице выделены полужирным шрифтом) для всех размерных диапазонов, кроме диапазона ≥ 100 га. Для всех остальных типов природных территорий, а также и для лесопокрываемых территорий Константиновского района данный показатель меньше 1,0. Это, на наш взгляд, говорит о неравномерном пространственном распределении лесопокрываемых территорий в Краснолиманском и Славянском районах. Действительно, если посмотреть на карту этих районов (см. рис. 1), то видно скопление крупных и относительно крупных лесных массивов на юге и западе Краснолиманского района и севере Славянского района, то есть вдоль физической их границы по руслу реки Северский Донец. Очевидно, что отношение m_{eff} / S_{cp} показывает пространственную неоднородность расположения того или иного типа природных территорий (в данном случае лесопокрываемых участков) на исследуемом пространстве (в данном случае в Краснолиманском и Славянском районах).

Таким образом, первичная инвентаризация природных и квазиприродных территорий Краснолиманского, Славянского и Константиновского районов показала существенную разницу в их количестве, занимаемой площади и пространственном распределении в этих административно-территориальных подразделениях (АТП) ДНР. По всем типам природных территорий по всем перечисленным количественным показателям явно лидирует Краснолиманский район. Славянский район несколько уступает Краснолиманскому. Константиновский район практически по всем показателям существенно уступает первым двум районам.

Среди четырех типов природных территорий в Краснолиманском и Славянском районах абсолютно преобладают лесопокрываемые территории (соответственно 28,13 % и 17,45 % от площади этих АТП). Напротив, в Константиновском районе лесопокрываемые территории по занимаемой общей площади лишь незначительно превышают степные участки (6,0 % и 5,1 % от площади района, соответственно). На втором месте по занимае-



мой площади во всех районах находятся степные территории. Доля «лесостепных» участков и участков с болотно-луговой растительностью существенно меньше, чем двух первых типов территорий.

Изменение количества природных участков в ряду увеличения диапазона занимаемой ими площади показывает отрицательный экспоненциальный рост или близкий к нему для лесопокрываемых территорий и участков с БЛР во всех исследованных АТП. Напротив, для степных и «лесостепных» участков наблюдается обратная тенденция увеличения их количества с увеличением их размерного диапазона в Славянском и в Константиновском районах. Это свидетельствует о том, что в двух последних районах существенна «степная компонента» в их ландшафтной структуре по сравнению с Краснолиманским районом.

Тем не менее, более полную картину о пространственной структуре природных и квазиприродных территорий в исследованных АТП могут дать показатели их фрагментации. В частности, отношение m_{eff} / S_{cp} для лесопокрываемых участков, имеющее значение в Краснолиманском и Славянском районах существенно больше единицы, свидетельствует о наличии в этих районах крупных и очень крупных лесных массивов, которые неравномерно распределены по их территории.

С точки зрения экосетевого характера природного каркаса исследованных АТП можно констатировать наличие крупных и очень крупных природных ядер, представленных главным образом лесопокрываемыми и в меньшей степени степными и «лесостепными» участками в Краснолиманском и Славянском районах. В Константиновском районе крупные природные ядра практически отсутствуют, за исключением небольшого числа степных участков.

Кроме того, характер пространственного распределения природных и квазиприродных участков в исследованных районах также отчасти подтверждает концепцию «поляризованного ландшафта» – увеличение количества и площади природных территорий в направлении «центр – периферия» (в данном случае от центральной части ДНР и ее столицы города Донецка – к дальней его периферии – Краснолиманскому району). Это в первую очередь связано с наличием в этой части региона крупнейшего природного ядра – реки Северский Донец, с самой крупной в регионе концентрацией лесных массивов, которые и образуют в совокупности с прилегающими природными участками крупнейшие ООПТ республики – национальный природный парк «Святые Горы» и природный государственный заповедник «Степь Донецкая» (его отделение «Меловая флора»).

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Первичная инвентаризация природных и квазиприродных участков территории методом визуальной их идентификации на космоснимках позволяет достаточно достоверно оценивать структуру ее природного каркаса.

2. Сравнительный анализ состава природного каркаса части Донецкого региона в направлении север – юг (от дальней его периферии к центру) показал существенное различие в составе природных территорий трех исследуемых административных районов – Краснолиманского, Славянского и Константиновского, а именно: по всем типам природных территорий наблюдается тенденция уменьшения их совокупной площади в данном направлении, за исключением степных участков и участков с болотно-луговой растительностью. Особенно эта тенденция заметна для лесопокрываемых территорий. Этот факт отчасти подтверждает на конкретном примере концепцию «поляризованного ландшафта» в первую очередь в виде относительной доли (в %) природных и квазиприродных территорий в ряду трех выше названных районов – 40,7 : 24,1 : 13,7.

3. Анализ изменения количества природных участков в ряду увеличения диапазона занимаемой ими площади показал отрицательный экспоненциальный или близкий к нему

рост для лесопокрываемых территорий и участков с болотно-луговой растительностью во всех исследованных районах. Напротив, для степных и «лесостепных» участков наблюдается обратная тенденция увеличения их количества с увеличением их размерного диапазона в Славянском и в Константиновском районах. Это свидетельствует о том, что в двух последних районах существенна «степная компонента» в их ландшафтной структуре по сравнению с Краснолиманским районом.

4. Показатели фрагментации природных территорий дополняют оценку пространственной структуры природного каркаса региона. В частности, отношение m_{eff} / S_{cp} для лесопокрываемых участков, существенно превышающее единицу в Краснолиманском и Славянском районах, свидетельствует о наличии в этих районах крупных и очень крупных лесных массивов, которые неравномерно распределены по их территории.

5. С позиции экосетевого характера природного каркаса исследованных районов можно констатировать наличие крупных и очень крупных природных ядер, представленных главным образом лесопокрываемыми и в меньшей степени степными и «лесостепными» участками в Краснолиманском и Славянском районах. В Константиновском районе крупные природные ядра практически отсутствуют, за исключением небольшого числа степных участков.

Список источников

- Колбовский Е.Ю. 2022. Пространственный анализ в геоэкологии. М., МГУ, 820 с.
Самсонов Т.Е. 2019. Основы геоинформатики. М., Географический факультет МГУ, 543 с.
Explore the Worlds Protected Areas. Electronic resource. URL: <http://protectedplanet.net> (date of the application: 20.09.2021).
EcoServ-GIS v.3.3: A toolkit for mapping ecosystem services. 2018. A review of the tool's capabilities and possible applications. Scottish Natural Heritage.
QGIS Development Team. 2019. Electronic resource. URL: <https://qgis.org>. (date of the application: 20.09.2021).

Список литературы

- Блакберн А.А. 2022. Оценка экологического каркаса Донецкого региона на основе первичной инвентаризации его природных и квазиприродных территорий. Региональные геосистемы, 46(2): 267–283. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-267-283>.
Брагина Т.М. 2024. Развитие степной экологической сети Казахстана (2013–2023). В кн.: Степи Северной Евразии. Материалы X международного симпозиума, Оренбург, 27 мая – 02 июня 2024. Оренбург, Институт степи УрО РАН Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН: 205–209. <https://doi.org/10.24412/cl-37200-2024-205-209>.
Верхотуров А.А. 2020. Анализ изменений состояния экосистем на острове Атласова (Курильские острова). Вестник СГУГиТ, 25(3): 139–150. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150>.
Гусев А.П., Шпилевская Н.С., Филончик Н.Н. 2021. Нормализованный дифференцированный вегетационный индекс охраняемых ландшафтов юга Беларуси. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 13–19. <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3442>.
Давидович Ю.С., Яцухно В.М. 2024. Исследование и оценка фрагментации ландшафтов Беларуси с использованием методов дистанционного зондирования. В кн.: Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтоведения. Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апреля 2024. Минск, БГУ: 81–87.
Захаров К.В. 2015. Оценка степени фрагментации местообитаний диких животных искусственными рубежами на примере Московского региона. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 120 (2): 3–10.



- Зенгина Т.Ю., Пакина А.А., Муканова Н.Н. 2022. Геоинформационный анализ изменения показателей фрагментированности городских лесов Алматы. *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 28(1): 204–218. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-1-28-204-218>.
- Истомин С.А., Холоденко А.В. 2021. Изменение территориальной организации природного парка «Волго-Ахтубинская пойма» с ростом антропогенной нагрузки в период с начала 2000-х годов до 2020 года. *Природные системы и ресурсы*, 11(3) 26–33. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2021.3.4>.
- Мирзеханова З.Г., Климина Е.М. 2023. Сохранение ландшафтного разнообразия для региональной экологической политики: значимость и проблемы применения. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 1: 113–121. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/113-121>.
- Родоман Б.Б. 2021. «Поляризованный ландшафт»: полвека спустя. *Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая*, 85(3): 467–480. <https://doi.org/10.31857/S2587556621030122>.
- Савин И.Ю., Березуцкая Э.Р. 2024. Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель. *Региональные геосистемы*, 48(1): 77–90. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90>.
- Стишов М.С., Дадли Н. 2018. *Охраняемые природные территории Российской Федерации и их категории*. Москва, Всемирный фонд дикой природы (WWF), 248 с.
- Терехин Э.А. 2021. Особенности многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель на территории Центрального Черноземья. *Региональные геосистемы*, 45(4): 505–515. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-505-515>.
- Brown Gr. Fagerholm N. 2015. Empirical PPGIS/PGIS Mapping of Ecosystem Services: A Review and Evaluation. *Ecosystem Services*, 13: 119–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.007>
- Ergüner Y., Kumar J., Hoffman F.M., Dalfes H.N., Hargrove W.W. 2019. Mapping Ecoregions Under Climate Change: a Case Study from the Biological “Crossroads” of Three Continents. *Turkey. Landscape Ecology*, 34: 35–50. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0743-8>
- Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. 2006. Effektive Maschenweite und Unzerschnittene Verkehrsarme Räume über 100 km² als Umweltindikatoren für die BRD – GIS-Einsatz und vergleichende Analyse. In: *Angewandte Geoinformatik: Beiträge zum. Heidelberg, AGIT-Symposium Salzburg*, 18: 135–144.
- Forman R.T. 2016. Urban Ecology Principles: Are Urban Ecology and Natural Area Ecology Really Different? *Landscape Ecology*, 31: 1653–1662.
- Forman R.T.T., Moore P.N. 1992. Theoretical Foundations for Understanding Boundaries in Landscape Mosaics. Hansen A., di Castri F., eds. *Landscape boundaries*. New York, Springer, 236–258.
- Gibson J.J. 2015. *The Ecological approach to Visual Perception*. New York, NY. Psychology Press. Taylor & Francis: 347 p.
- Grekousis G. 2020. *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain Through GIS*. New York, NY'Cambridge University Press, 518 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A., Tyukavina A., Hernandez Sern A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., Song X-P. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat data. *Environmental Research Letters*, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>
- Jabrayilov E.A. 2021. Ecological Network Model in Shahdagh National Park. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2: 61–69. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3449>.
- Jaeger J. 2000. Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation. *Landscape Ecology*, 15: 115–130.
- Jaeger et al., 2011; Jaeger J., Soukup T., Madriñán L.F. 2011. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report. 2. Veröffentlicht von der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (FOEN). Luxembourg, Publications Office of the European Union: 87 p.
- Jiang B. 2015. Geospatial Analysis Requires a Different way of Thinking: the Problem of Spatial Heterogeneity. *GeoJournal*, 80(1): 1–13.
- Lowell K.E. 1990. Differences Between Ecological Land Type Maps Produced Using GIS or Manual Cartographic Methods. *Photogrammetric. Engineering and Remote Sensing*, 56: 169–173.

- Nijhuis S., van Lammeren R.J. A., van der Hoeven F. 2011. Exploring the Visual Landscape: Advances in Physiognomic Landscape Research in the Netherlands. *Research in urbanism series*, 2. <https://doi.org/10.7480/rius.2>.
- Noss R.F., Cooperrider A., Schlickeise R. 2013. *Saving Nature's Legacy: Protecting And Restoring Biodiversity*. Island Press, 443 p.
- Turner M.G., Gardner R.H. 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, Springer, 536 p.
- Velázquez J., Gutiérrez J., Hernando A., García-Abril A. 2017. Evaluating Landscape Connectivity in Fragmented Habitats: Cantabrian Capercaillie (*Tetrao Urogallus Cantabricus*) in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 389: 59–67.
- Walz U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. *Living Reviews in Landscape Research*, 5(3): 1–35.
- Waters N. 2018. Tobler's First Law of Geography. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg1011>.

References

- Blackburn A.A. 2022. The Assessment of Ecological Framework of the Donetsk Region Based on Primary Inventory of Its Natural and Quasi-Natural Territories. *Regional Geosystems*, 46(2): 267–283 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-267-283>.
- Bragina T.M. 2024. Development of the Steppe Ecological Network of Kazakhstan (2013–2023). In: *Steppes of Northern Eurasia. Proceedings of the X International Symposium, Orenburg, 27 May – 02 June 2024*. Orenburg, Publ. Institut stepi UrO RAN Orenburgskogo federalnogo issledovatel'skogo tsentra UrO RAN: 205–209 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/cl-37200-2024-205-209>.
- Verkhoturov A.A. 2020. Analysis of Changes in the State of Ecosystems on Atlasova Island (Kuril Islands). *Bulletin of the SSUGT*, 25(3): 139–150 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-139-150>.
- Gusev A.P., Shpilevskaya N.S., Filonchik N.N. 2021. Normalized Difference Vegetation Index in Specially Protected Natural Areas of Southern Belarus. *Bulletin of the VSU. Series: Geography. Geoecology*, 2: 13–19 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3442>.
- Davidovich Y.S., Yatsukhno V.M. 2024. Research and Assessment of Fragmentation of Landscapes of Belarus Using Remote Sensing Methods. In: *Current Issues of Geoecology and Landscape Science. Proceedings of the First Belarusian Geographical Congress: dedicated to the 90th anniversary of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University and the 70th anniversary of the Belarusian Geographical Society, Minsk, 8–13 April 2024*. Minsk, Publ. BSU: 81–87 (in Russian).
- Zaharov K.V. 2015. Landscape Fragmentation in the Moscow Region. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 120(2): 3–10 (in Russian).
- Zengina T.Y., Pakina A.A., Mukanova N.N. 2022. Geoinformation Analysis of Changes in Indicators of Almaty City's Forests Fragmentation. *InterCarto. InterGIS*, 28(1): 204–218 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-1-28-204-218>.
- Istomin S.A., Kholodenko A.V. 2021. Changes in the Territorial Organization of the “Volga-Akhtuba Floodplain” Natural Park with an Increase in Anthropogenic Load in the Period from the Beginning of the 2000s to 2020. *Natural systems and resources*, 11(3): 26–33 (in Russian). <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2021.3.4>.
- Mirzekhanova Z.G., Klimina E.M. 2023. Conservation of Landscape Diversity for Regional Environmental Policy: the Importance and Application Problems. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1: 113–121 (in Russian). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/1/113-121>.
- Rodoman B.B. 2021. "Polarized Landscape": half a century later. *Regional Research of Russia*, 11 (3): 315–326 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S2079970521030102>.
- Savin I.Yu., Berezutskaya E.R. 2024. The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land. *Regional Geosystems*, 48(1): 77–90 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90>.
- Stishov M.S., Dudley N. 2018. *Okhranyayemyye prirodnyye territorii Rossiyskoy Federatsii i ikh kategorii* [Protected Natural Territories of the Russian Federation and Their Categories]. Moscow, Publ. World Wildlife Fund (WWF), 248 p.



- Terekhin E.A. 2021. Long-Term Dynamics of the Vegetation Index for Abandoned Farmlands in the Central Chernozem Region of Russia. *Regional Geosystems*, 45(4): 505–515 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-4-505-515>.
- Brown Gr. Fagerholm N. 2015. Empirical PPGIS/PGIS Mapping of Ecosystem Services: A Review and Evaluation. *Ecosystem Services*, 13: 119–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.007>
- Ergüner Y., Kumar J., Hoffman F.M., Dalfes H.N., Hargrove W.W. 2019. Mapping Ecoregions Under Climate Change: a Case Study from the Biological “Crossroads” of Three Continents. Turkey. *Landscape Ecology*, 34: 35–50. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0743-8>
- Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. 2006. Effektive Maschenweite und Unzerschnittene Verkehrsarme Räume über 100 km² als Umweltindikatoren für die BRD – GIS-Einsatz und vergleichende Analyse. In: *Angewandte Geoinformatik: Beiträge zum. Heidelberg, AGIT-Symposium Salzburg*, 18: 135–144.
- Forman R.T. 2016. Urban Ecology Principles: Are Urban Ecology and Natural Area Ecology Really Different? *Landscape Ecology*, 31: 1653–1662.
- Forman R.T.T., Moore P.N. 1992. Theoretical Foundations for Understanding Boundaries in Landscape Mosaics. Hansen A., di Castri F., eds. *Landscape boundaries*. New York, Springer, 236–258.
- Gibson J.J. 2015. *The Ecological approach to Visual Perception*. New York, NY. Psychology Press. Taylor & Francis: 347 p.
- Grekousis G. 2020. *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe – Explore – Explain Through GIS*. New York, NY Cambridge University Press, 518 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A., Tyukavina A., Hernandez Sern A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., Song X-P. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat data. *Environmental Research Letters*, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>
- Jabrayilov E.A. 2021. Ecological Network Model in Shahdagh National Park. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2: 61–69. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.2/3449>.
- Jaeger J. 2000. Landscape Division, Splitting Index, and Effective Mesh Size: New Measures of Landscape Fragmentation. *Landscape Ecology*, 15: 115–130.
- Jaeger et al., 2011; Jaeger J., Soukup T., Madriñán L.F. 2011. Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report. 2. Veröffentlicht von der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (FOEN). Luxembourg, Publications Office of the European Union: 87 p.
- Jiang B. 2015. Geospatial Analysis Requires a Different way of Thinking: the Problem of Spatial Heterogeneity. *GeoJournal*, 80(1): 1–13.
- Lowell K.E. 1990. Differences Between Ecological Land Type Maps Produced Using GIS or Manual Cartographic Methods. *Photogrammetric. Engineering and Remote Sensing*, 56: 169–173.
- Nijhuis S., van Lammeren R.J. A., van der Hoeven F. 2011. Exploring the Visual Landscape: Advances in Physiognomic Landscape Research in the Netherlands. *Research in urbanism series*, 2. <https://doi.org/10.7480/rius.2>.
- Noss R.F., Cooperrider A., Schlickeise R. 2013. *Saving Nature's Legacy: Protecting And Restoring Biodiversity*. Island Press, 443 p.
- Turner M.G., Gardner R.H. 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York, Springer, 536 p.
- Velázquez J., Gutiérrez J., Hernando A., García-Abril A. 2017. Evaluating Landscape Connectivity in Fragmented Habitats: Cantabrian Capercaillie (Tetrao Urogallus Cantabricus) in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 389: 59–67.
- Walz U. 2011. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. *Living Reviews in Landscape Research*, 5(3): 1–35.
- Waters N. 2018. Tobler's First Law of Geography. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg1011>.

*Поступила в редакцию 21.01.2025;
поступила после рецензирования 20.02.2025;
принята к публикации 05.03.2025*

*Received January 21, 2025;
Revised February 20, 2025;
Accepted March 05, 2025*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блакберн Андрей Альфредович, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела природной флоры и заповедного дела, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Донецкий ботанический сад», г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrey A. Blackburn, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Natural Flora and Conservation, Federal State Budgetary Scientific Institution "Donetsk Botanical garden", Donetsk, Donetsk people's Republic, Russia



УДК 911.3

DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-1-184-200

Географическая наука в зеркале феноменологии: междисциплинарные импульсы как угроза идентичности

Гладкий Ю.Н., Сухоруков В.Д.

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена
Россия, 191186, Санкт-Петербург, наб. Мойки, 48
Gladky43@rambler.ru

Аннотация. Внимание фокусируется на соотношении географической науки и феноменологического подхода, фундаментальные и эпистемологические недостатки которого, по мнению многих авторов, не позволяют воспринимать его в качестве полноценного научного подхода. Цель данного исследования состоит в обосновании и конкретизации причин растущей критики феноменологического подхода в географии, сужающего и без того слабо используемые возможности прикладной географической науки в объяснении причин и последствий опасного нарушения круговорота веществ и энергии в природе, а также в смягчении таких острых проблем, как засухи, наводнения, обезлесение, опустынивание, загрязнение сред и др. Отмечается всплеск исследований гуманистической географии на Западе, прежде всего, за счет активного включения в них человеческого сознания и когнитивных способностей индивидуумов. Аргументируется позиция, согласно которой растущий интерес к интуитивному и интерпретирующему методу распознавания и понимания явлений отличается тем, что многие его импульсы возникают за пределами географии. Делается вывод, что трактовку многими представителями гуманистической географии «феноменологии места» следует относить к теоретическому арсеналу скорее философии и психологии, чем географии, и что практика восприятия места через чувственный опыт и веру умалаяет ценность географии, как фундаментальной науки о ключевых сферах земного пространства. Главный вывод состоит в том, что, если географическая наука под напором «феноменологизма» будет и далее уступать свои позиции ортодоксальной «гуссерлианской географии» и ее новым вариантам, базирующимся на ненаблюдаемых, ненаучно проверяемых субъективным опытом фактах, ей станет труднее претендовать на статус научно-географического знания и прикладной науки.

Ключевые слова: гуманистическая география, феноменология, Гуссерль, мифологическое сознание, география места, иррациональное мышление, идентичность

Для цитирования: Гладкий Ю.Н., Сухоруков В.Д. 2025. Географическая наука в зеркале феноменологии: междисциплинарные импульсы как угроза идентичности. Региональные геосистемы, 49(1): 184–200. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-184-200

Geographical Science in the Mirror of Phenomenology: Interdisciplinary Impulses as a Threat to Identity

Yuri N. Gladkiy, Vyacheslav D. Sukhorukov

Herzen State Pedagogical University of Russia
48 Moika Embankment, Saint Petersburg 191186, Russia
Gladky43@rambler.ru

Abstract. Attention is focused on the relationship between geographical science and the phenomenological approach. According to many authors, the fundamental and epistemological

shortcomings of the latter do not allow it to be perceived as a full-fledged scientific approach. The purpose of this study is to substantiate and specify the reasons for its growing criticism in geography, which narrows the already poorly used possibilities of applied geographical science in explaining the causes and consequences of dangerous disturbances in the circulation of substances and energy in nature, as well as in mitigating such acute problems as droughts, floods, deforestation, desertification, environmental pollution, etc. There has been a surge in research on humanistic geography in the West, primarily due to the active inclusion of human consciousness and the cognitive abilities of individuals. The authors argue that the growing interest in intuitive and interpretive methods of recognizing and understanding phenomena is characterized by the fact that many of its impulses arise outside geography. It is concluded that the interpretation of the "phenomenology of place" by many representatives of humanistic geography should be attributed to the theoretical arsenal of philosophy and psychology rather than geography, and that the practice of perceiving a place through sensory experience and faith detracts from the value of geography as a fundamental science of key areas of the Earth's space. The main conclusion is that if geographical science, under the pressure of "phenomenologism", continues to give way to orthodox "Husserlian geography" and its new variants based on unobservable facts unscientifically verified by subjective experience, it will face more difficulties in claiming the status of scientific geographical knowledge and applied science.

Keywords: humanistic geography, phenomenology, Husserl, mythological consciousness, geography of place, irrational thinking, identity

For citation: Gladkiy Yu.N., Sukhorukov V.D. 2025. Geographical Science in the Mirror of Phenomenology: Interdisciplinary Impulses as a Threat to Identity. *Regional Geosystems*, 49(1): 184–200 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-184-200

Введение

Участившееся обращение к феноменологическому способу анализа «очеловеченной» действительности редко вызывает у профессионального сообщества географов чувство отторжения. Несмотря на вменяемые этому методу недостатки (субъективизм, приоритет философской антропологии, оторванность от реальной жизни, разрыв с методологией естественных наук, схоластичность, ограниченность области применения и т. д.), трудно абстрагироваться от того факта, что феноменология, по сути дела, стала одним из наиболее влиятельных направлений философии XX столетия. Однако более глубокого внимания заслуживает вопрос *о мере использования подобного способа анализа в современной географической науке* и предметной сущности самой «географической феноменологии», чему посвящена настоящая статья.

Отличительная черта феноменологического метода мышления, предложенная его главным «промоутером», «гуру» целой эпохи Э. Гуссерлем (1859–1938) в работе «Логические исследования» [2011] хорошо известна – это противопоставление сциентизму в философии, ориентация на субъективизм, на данные непосредственного созерцания и «стабильные очевидности». Имеется в виду, что все явления и процессы (феномены) в окружающем мире, ассоциирующиеся с собственными представлениями о них, каждым индивидуумом воспринимаются субъективно. И лишь в результате этого конструируется собственное видение мира, естественно, при условии использования «правильных» феноменов, важнейшим свойством которых является очевидность.

Считается, что почву для возникновения феноменологии подготовили как критика позитивизма (с его почти религиозной верой в науку), так и растущее недоверие к распространявшимся идеалистическим спекуляциям, навязывавшим запрограммированное видение мира. Особое внимание стало уделяться *сознанию и психическому опыту*. При этом сферами «локации» феноменов (сущностей), по мнению Гуссерля, являются природа, общество, мораль, религия, а их познанию должен предшествовать анализ сущностей, отражающих природные, общественные, моральные и религиозные феномены.



Философия феноменологии, всплеск интереса к которой наблюдался во второй половине XX века, внесла ощутимый вклад в формирование интеллектуальных позиций многих западных ученых, в том числе в связи с так называемым «*spatial turn*» («*пространственным поворотом*») в социальных науках. В той или иной мере, феноменологическим «духом» пропитаны не только гуманистическая география места и идентичности (И-Фу Туана, Э. Рельфа и др.), но и общая концепция социального пространства П. Бурдье, теория производства пространства А. Лефевра, труды теоретиков «пространства мест» (М. Кастельса, Р. Флориды, Й. Тернборна, А. Асман и др.), концепции «мест памяти» П. Нора и антропологии «неместа» М. Оже и т. д.

Естественно, что эта «фенологическая интервенция» (включая экзистенциализм и герменевтические методы) оказала влияние на традиционные области географической науки, особенно на *географию человека*. Речь идет, в частности, о социальной географии, экономической географии, георбанистике, городском дизайне и планировании, сельском планировании, политической и культурной географии и некоторых других областях, на развитии которых отразилось влияние философии и методологии феноменологии [Phenomenology. 2013].

Авторы статьи сознательно упрощают толкование феноменологии, и не только с учетом того, что даже один из самых выдающихся философов XX в. М. Хайдеггер в своем эссе «Мой путь в феноменологию» [Heidegger, 1969] признавался, что далеко не сразу смог уяснить суть феноменологического метода. (Признание ученого можно понять, учитывая сложнейшую систему терминологии, хотя и репрезентирующей изящный и «элегантный» стиль). Важно другое: современная феноменология стала опираться на несравненно более обширный круг идей, чем их сформулировали в свое время Гуссерль и его ученики, и уже нередко квалифицируется как *феноменологическое движение*, представленное не только исследователями интенциональности сознания (Э. Гуссерль), но и психических феноменов (Ф. Brentano и др.), бытия (М. Хайдеггер), восприятия и телесности (М. Мерло-Понти), человеческой реальности (Ж.-П. Сартр) и других феноменов человеческого мира. Уже по этой же причине авторы-географы отвергают идею «рядиться в одежды» высокомерных специалистов в многочисленных (подчас спорных) версиях феноменологии (не только Э. Гуссерля, но также и М. Хайдеггера, М. Мерло-Понти [Мерло-Понти, 1999], Ж.-П. Сартра [Sartre, 1936], Ж.-Л. Мариона, М. Ришира [по: Чернавин, 2013] и др., соединивших в себе во многом черты постгуссерлевской феноменологии и немецкого идеализма), и тем более не пытаются давать оценки применения феноменологической практики в психологии и психиатрии.

Встречающиеся уничижительные вердикты об основателе феноменологии Э. Гуссерле, как «последнем динозавре классической философии», «трансцендентальный идеализм» которого «заложил традицию умерщвления человека, растянувшуюся на весь XX век» [Нилогов, 2007] – это скорее субъективная, эмоциональная реакция софистски настроенных оппонентов как способ удовлетворения тщеславия. Будучи противниками современного логического позитивизма и отстаивая право творца (*индивидуума, не общества!*) на неповторимость, а человека – на восприятие и интерпретацию искусства, идеологи феноменализма, все-таки не игнорируют общественно значимые аспекты искусства – его этическую, моральную сторону, его гуманистическую направленность и т. д.

Следует отметить, что в России существует забытая предыстория распространения феноменологических идей, практически не имевших отношения к географии. Она связана с рецепцией идей того же Гуссерля, носителями которых в начале прошлого века выступали Н.О. Лосский, С.Л. Франк, Г.Г. Шпет, Б.В. Яковенко, А.Ф. Лосев, и затем была прервана по политическим причинам в начале 1920-х гг. С 1960-х гг. вновь появляются аналитические работы по феноменологии К.С. Бакрадзе, П.П. Гайдено, З.М. Какабадзе, Н.В. Мотрошилова и др., а также переводы феноменологических текстов. Ряд «покрови-

тельствственных» работ феноменологическому методу в географии принадлежит в последние десятилетия Д.Н. Замятину [Замятин, 2003, 2004а, б].

Первый же Центр феноменологической философии, основанный на философском факультете Российского государственного гуманитарного университета в 1998 году, во многом ассоциировался с идеями И-Фу Туана. С разной степенью успешности фенологические подходы стали пропагандироваться также на страницах журнал «Логос» (Москва, с 1991 года), «Ежегодника по феноменологической философии» (Москва, с 2008 года), журнала «Horizon. Феноменологические исследования» (Санкт-Петербург, с 2012 года) и т. п. Но в данной статье речь идет о месте феноменологического подхода в развитии конкретно географической науки.

Методология исследования

Несмотря на обилие известных нам работ, особенно зарубежных, которые условно можно отнести к «феноменологической географии» (Йи-Фу Туан, Э. Релф, Э. Банксе, Э. Баттимер, Дж. Дункан, Дж. Энтрикин, Д. Лей, Д. Левенталь, Д. Покок, Дж. Дуглас Портеус, Г. Роулз, Р. Д. Сак, М. Сэмюэлс, Д. Симон, С. Смит, Дж. Вестерн, У. Уайкоф и др.), трудно идентифицировать хотя бы одну из них (даже с учетом ссылок) в качестве инструктивного пособия, в котором систематизированно излагались бы методологические пути имплементации идей философской феноменологии в географию и обоснована идентичность самой «феноменологической географии».

В качестве наиболее «консенсусных» объектов феноменологии как философского учения предстают основные феномены человеческого мира: сознание и рефлексия, познание и суждение, любовь и ненависть, воля и желание, совесть и страх и др. Они же суть психические феномены, одновременно являющиеся исходными понятиями основных феноменологических учений. Предметом исследования в данном случае выступают «каналы» влияния феноменологического метода на традиционную географическую науку, на ее способность оставаться праксиологической сферой научного знания.

Анализ феноменологического подхода в географии трудно представить без опоры на уже наработанные методические средства – генезис идей, логику вывода, трансформацию смысла, терминологический аппарат. Поскольку феноменологический метод, по общему признанию, дескриптивный, ориентирующий на отстранение от причинных и функциональных связей между сознанием и предметным миром, его продолжающаяся «экспансия» в географию грозит снижением ее *научного статуса и прикладных функций*.

О «феноменологической интервенции» в географии

Активная рецепция западными географами феноменологических идей, породившая в конце XX века «феноменологическую экспансию» в гуманитарные науки, по своему резонансу сравнима с проникновением в географию идей *поведенческой* (бихевиористской) *психологии*. В этих двух событиях нетрудно угадать некие общие параллели, ассоциирующиеся, в частности, с фокусированием внимания на формализованном исследовании субъективного осмысления человеком пространства, а также с концепциями и эмпирическими результатами междисциплинарного изучения человеческого разума и деятельности в пространстве. Особенностью обоих направлений является их междисциплинарный характер, который, в ряде случаев, неоправданно «теснит» позиции географии, отдаляя ее от наук о Земле и лишая ее «законной» роли в пользу психологии, философии и социологии.

Конечно, стремление представителей других областей знания творчески проявить себя в междисциплинарном зазоре не только не «напрягает», а, напротив, воодушевляет географов-теоретиков – ведь все грани в науке (равно как в природе и обществе) тонки и «прозрачны». Однако далеко не все творческие порывы в этом отношении можно воспринимать безоговорочно, особенно, когда типичная область философии или психология



личности, исследующая все многообразие проявлений психического функционирования личности и развития человека (в т. ч. мотивацию, эмоции, память, волю, способности) интерпретируется как географическая дисциплина.

Во-первых, «пространственные» рассуждения феноменологов очень часто фокусируются на ограниченное топографическое место, локацию («локус», то есть, «здесь и сейчас»). Во-вторых, главным феноменом у них остается не местный ландшафт, не геосреда, а человек как целое (*Homo sapiens*), являющийся общепризнанным объектом *психологии личности* или *философии личности* (т. е. проекцией истинного «я» в окружающее пространство). Игнорируется тот факт, что системный подход в географии (в отличие от философии, психологии или медицины) не ограничивается индивидуумом, приписанным к конкретному месту «уединенного размышления».

Не случайно, среди основных понятий феноменологии фигурируют вовсе несвойственные классической географической науке термины: *рефлексия* (акт переживания, с помощью которого человек постигает предметы, явления, формирует мысли и ценности), *интенциональность* (перманентная направленность сознания на феномен), *нóэма* (мысленный феномен, который является проекцией объекта в сознании человека), *нóэзис* (процесс постижения феномена), *эпохэ* (наложение запрета на объективную позицию, т. е. изучение мира, представленного исключительно в сознании человека) и пр.

Тем не менее, еще раз выразим уважительное отношение как к поведенческой географии, так и феноменологическому подходу (не «феноменологической географии», где кавычки обязаны распространенному метафорическому выражению, поскольку речь идет о методе, а не научной дисциплине). Они обогатили традиционную *объект-субъектную точку зрения* на взаимоотношения человека и среды его окружения [Голд, 1990; Montello, 2018]. В этой связи можно присоединиться к позиции автора вводной статьи к знаковой книге Дж. Голда «Основы поведенческой географии»: «Предлагаемый вниманию читателя текст – это как бы «кликбез» и по социологии, и по общей и социальной психологии, и по истории науки, и по социальной психологии, и по психологии экологической, и по эстетике, и по семиотике, и по физиологии» [Голд, 1990].

Несмотря на появившуюся со стороны радикальных представителей общественной географии резкую критику поведенческой географии за формализованное изучение субъективного осмысления человеком пространства и дезагрегированный подход к человеческому поведению, курс поведенческой географии давно появился в ряде университетов мира (в том числе в РФ), широко используются методы агентного моделирования и теории игр для системного анализа стратегий поведения и т. д. Но при этом традиционно игнорируется «затушеванный» вопрос о дисциплинарной принадлежности многих когнитивно-пространственных процессов в этой отрасли знания, где, по нашему убеждению, наблюдается некорректная «делimitация» предметного поля географии.

Еще более ощутимую роль в проявившихся процессах «эрозии идентичности» географической науки в 60–80 гг. прошлого столетия сыграл всплеск интереса к феноменологической методологии, которая уже к моменту смерти Э. Гуссерля (1938 год) получила признание не только в философии, но и в антропологии, социологии, психологии и т. д. До поры до времени география оставалась как бы в стороне, в то время как в упомянутых науках она стала общепринятым подходом. Ситуация заметно изменилась в связи с попытками И-Фу Туана тесного соединения философии и психологии с географией, и популяризации идей о важности мест для человека, а также публикацией в 1974 году известной феноменологической работы «Топофилия». В ней детальным образом анализируются вопросы связи человека и места, восприятия мест людьми, любви человека к месту, и, как считается, ценностных характеристик ландшафта [Tuan, 1975].

Позже в статье «Пространство и место: перспектива опыта» [Tuan, 1977] он предложил авторские определения фундаментальных географических понятий: пространства и

места. Однако эти определения, отражающие физиологические переживания восприятия пространства, изложенные в предыдущем своем труде, и более утонченные формы его восприятия, обогатили, прежде всего, *психологию, философию и социологию*. Еще во время работы над «Топофилией» Туан пришел к выводу, что люди постигают места не только через чувственный опыт, но и через веру. Последняя идея легла в основу его следующих книг «Ландшафты веры» [Tuан, 1979] и «Сегментированные миры и самость: групповая жизнь и индивидуальное сознание» [Tuан, 1982].

Обратимся к смыслу и дисциплинарной сущности введенного И-Фу Туаном термина «*топофилия*», трактуемого как приязнь к соответствующему месту, обусловленная его уютностью, душевной теплотой, эстетизацией. В одноименной работе рассматриваются индивидуальные «нюансы» восприятия места: физиологические характеристики индивидуума, темперамент, пол, возраст, которые в дальнейшем углублены исследованиями его последователей в области гендерной и возрастной психологии. Нельзя не восторгаться блистательным обзором оттенков восприятия места, формирования чувства приязни и любви к нему, а также глубоким авторским анализом особенностей конкретных органов чувств – обоняния и слуха, в наибольшей степени способствующих восприятию. Кстати, по Туану, одним из вариантов топофилии является и патриотизм – как любовь к пенатам, но без «примеси» всякой идеологии.

Вместе с тем, непредубежденному географу-профессионалу понятно, что в подобных работах речь идет о *психологии* восприятия места [Seamon, 2000; 2018; 2023], которая в географии, безусловно, может служить полезным инструментом анализа, а также в краеведении или этногеографии, но вряд ли обладает убедительными основаниями считаться каркасной единицей географического мейнстрима и претендовать на резкую коррекцию сформировавшейся парадигмы классической географии. (Кстати, на это часто претендуют авторы, подчас не имеющие даже географического образования и ассоциирующие серьезную науку с «восприятием конкретного места»).

Другой популярный неологизм, своего рода бинарная оппозиция к топофилии – *топофобия*. Как подмечают авторитетные исследователи творчества И-Фу Туана (в частности, россиянка О.А. Лавренова, состоявшая в переписке с ученым), в своих работах этот термин он нигде не использовал, но в многочисленных исследованиях, отражающих чувства людей по отношению к месту, отсылку делают именно на выше упомянутую книгу «Топофилия». В нашем контексте уместно подчеркнуть тот факт, что термин топофобия широко используется в *психиатрии*, как беспричинная боязнь конкретного места. Отмечая, что И-Фу Туан, исследуя разные варианты детских страхов, «связанных больше с людьми, чем с местом», Лавренова справедливо делает вывод, что «эти исследования оказались больше историческими, чем культурно-географическими» [Лавренова, 2023]. А психологическими разве нет?

Представителю академической географической науки нужно обладать невиданным воображением, чтобы названия нижеследующих сюжетов из книги «Landscapes of Fear» не только занести в содержательный арсенал географии, но и расценить как весомый вклад в развитие теории именно географической науки: «*Страх у растущего ребенка*», «*Страх в средневековом мире*», «*Страх болезней*», «*Страх перед природой человека: ведьмы*», «*Страх перед природой человека: призраки*», «*Насилие и страх в сельской местности*», «*Страх в городе*», «*Публичное унижение и казнь*», «*Изгнание и заключение в тюрьму*» [Tuан, 1979].

Кстати, используемое в статье метафорическое выражение «феноменологическая интервенция» в географии в большой степени связано с именем уроженца Вены, основателем *феноменологической социологии* А. Шюца, который безуспешно пытался соотнести мысли Гуссерля с социальным миром и социальными науками [Shutz, 1964]. Задавшись целью разработать «феноменологическую психологию внутреннего опыта», он фо-



кусировал внимание на инвариантных чертах жизненного мира, к которым рефлексивно потянулись многочисленные теоретики: социологи, экономисты, психологи, историки, и с некоторым запозданием – географы. Последние годы жизни А. Шюц посвятил подготовке всеобъемлющей феноменологии естественного отношения, идеи которой отражены, в частности, в совместной работе с Т. Лакманом «Структуры жизненного мира» [Shutz, Luskmann, 1973]. Нет ни возможности, ни необходимости приводить ее структуру, но которая опять-таки апеллирует к философским основам социологии, психологии и экономики Макса Вебера (с которым Шюц был знаком лично), но не наук о Земле.

Сторонники феноменологического подхода в географии, полагают, что его использование ведет к самосознанию и обостренному чувству ответственности за окружающую среду, помогает людям более полно оценить свой мир и свою жизнь. Очень даже возможно. Но разве эта мотивация противоречит аналогичным функциям некоторых других отраслей научного знания? И неужели ее достаточно для идентификации нового научного направления в географической науке?

Отмечая недостатки феноменологического подхода, не позволяющие воспринимать его в качестве полноценного научного метода в географической науке, авторы все же исходят из того, что широко распространенный вердикт о «полной несовместимости» феноменализма и науки носит излишне радикальный характер. Во-первых, позднеклассическая рациональность включает в себя *иррациональное*, т. е. несоизмеримое с рациональным мышлением или даже противоречащее ему (можно сказать – феноменологическое). Известно, что поиску истины нередко предшествует интуиция – период подсознательной деятельности, время которой вызревает новая идея. В этой связи можно также упомянуть о *патернализме* в географической науке, явлении иррациональном, питающемся харизмой, данной от природы исключительностью ученого. Во-вторых, история многих стран накопила богатую *мифологию*, которая иногда ассоциируется с «феноменологическим окном», через которое можно «заглянуть в головы» тех, кто их создал [Лосев, 2021]. Мифы и мифология народов – это значимая ступень в их развитии, учитываемая этнологами, историками, социологами.

Отраженные в мифах пространственно-временные представления особенно важны для *исторической географии*, призванной отделить реальное от мнимого, с учетом неоднозначного мнения Р. Декарта – одного из «отцов» философии Нового времени, о том, что история, неизбежно прибегая к вымыслу, занимает в человеческой культуре место более близкое к вымыслу, нежели к науке [Декарт, 1989]. Подобное мнение для историков, разумеется, неприемлемо, но далеко ведь не каждый из них подвержен отмеченному «греху» своей науки! Историческое познание в той или иной мере, иногда, действительно, деформирует («феноменологизирует») прошлое, и в этом случае не всегда может претендовать на научную объективность (из-за неverifiedируемости наших убеждений о явлениях прошлого). Однако праксеологическая ценность исторических событий для географии неоспорима.

Гуманистическая география как дискуссионный фронт социальной географии

Процесс зарождения и формирования своеобразных «анклавов» междисциплинарного знания вдоль фронтов географической науки (на стыке с геологией, экологией, экономикой, социологией, философией и т. д.), представляется вполне естественным, тем самым подтверждая аксиоматический факт об условности границ в науке. Это обстоятельство породило своеобразную «трансграничную методологию», основу которой составляют как общенаучные подходы и методы исследования, так и частнонаучные методы (способы, процедуры, принципы познания) [Gladkiy et al., 2019; Sukhorukov, Gladkiy, 2019], используемые авторами, работающими в междисциплинарном «зазоре».

Эта мысль важна для оценки роли так называемой «гуманистической географии», органический «симбиоз» которой с феноменологическим методом «удостоверяется» тем, что ее философской основой признается именно феноменология. Иногда понятия «гуманистическая» и так называемая «феноменологическая» география вообще отождествляются, хотя некоторые авторы соотносят первую также с экзистенциализмом и некоторыми другими философскими течениями [Ley, Samuels, 1978]. В любом случае, диверсифицированную гуманистическую географию вряд ли корректно приравнивать к одной из форм «феноменологической географии», равно как и феноменология далеко не всегда может прямо ассоциироваться с гуманизмом. В данном случае важно то, что феноменологический метод стал ключевым объединяющим фактором в развитии всех течений гуманистической географии, относящейся нами к дискуссионному фронтиру социальной географии.

В качестве официальной концептуализации гуманистическая география была «обнародована» после публикации И-Фу Туаном работы «Топофилия», в которой он обозначил свой подход как *географическое изучение места и человеческого опыта*. По мнению многих авторов, такой подход в философском плане, если и не копировал феноменологию Гуссерля, противостоявшую сциентизму, то тесно ассоциировался с ней. В книге детальным образом освещались вопросы связи индивидуума и места, восприятия человеком места, а также ценностных характеристик ландшафта. (Последний аспект формально вписывался в проблематику классической географии, но был отмечен очень «специфической» трактовкой). Кульминацией гуманистических исследований стала публикация (1978) знакового труда «Гуманистическая география: перспективы и проблемы» под редакцией Д. Лея и М. Самюэlsa [Ley, Samuels, 1978].

Но если согласиться с тем, что особенность гуманистической географии кроется в специфике ее метода, то справедливо отметить более раннюю («накопительную») роль французской школы В. де Блаша, представители которой, следуя антропоцентризму, традиционно ставят Человека в центр исследований. Можно упомянуть также другого знакового географа уже немецкой школы антропогеографии – А. Геттнера, который отмечал правомерность существования версии географии подобной «гуманистической» [Геттнер, 2025]. Он полагал, что «наряду с теоретической географией, существует эстетическая география; наряду с географией-наукой, существует география-искусство» (там же, с. 139). В специальной литературе интерес к гуманистическим подходам, темам и методам географического характера можно обнаружить также у А. Гумбольдта (к пейзажной живописи, которая в состоянии повысить осведомленность человека о природных регионах планеты); финского географа, исследователя Сибири и Монголии Й. Гранё (к исследованию сенсорных и перцептивных аспектов природных и созданных человеком ландшафтов) [Granö, 1979]; В.П. Семенова-Тян-Шанского (к антропоцентрической сущности географической науки [Семенов-Тян-Шанский, 1928, с. 35 и 260]); французского историка Э. Дардела (к эмпирическим связям, экологически и географически поддерживавшим человеческие коллективы, включая связи с ландшафтами) и т. д. [Dardel, 2022].

Поэтому, можно утверждать, что именно эти научные школы предуготовили почву для развития «гуманистической» географии в XX веке. Но, по мнению западных географов В. Лея, Дж. Джонсона и У. Фаррелла, ее реальными основателями являются Дж. Райт и К. Зауэр [Johnston, Farrell, 1979; Ley, 1981]. Не совпадающие и подчас противоречащие друг другу оценки творчества этих авторов (исполнявших в разное время обязанности президентов Ассоциации американских географов) лишь «подрывают доверие» к теоретическим основам нового направления.

Анализ западных источников показывает, что становление гуманистической географии с именем Дж. Райта связывает гораздо большее количество географов, чем с идеями К. Зауэра (которые носили менее «еретический» характер). Так, президентский



доклад Райта Ассоциации американских географов в 1946 году под интригующим названием «*Terrae incognitae: место воображения в географии*», частью географов считается вообще квинтэссенцией его теоретических поисков. В одном случае теоретические идеи доклада провозглашаются «поистине *революционными*» [Bowden, 1978], в другом утверждается, что они положили начало исследования восприятия в географии [Wright, 1947].

Осознание человека, его восприятие мира, по Райту – важнейшие фокусы географического познания, то есть предмет географии. При этом первостепенное место уделяется воображению – интуитивному и эстетическому, что подсказывает географам изучать не столько реальный мир, сколько идеальный. Ведь «большая часть человеческой мудрости, – полагает он, – была получена не строгим применением научного метода, а благодаря искусному интуитивному воображению, или инсайту философов, артистов, ученых» [Wright, 1947].

К этому следует добавить, что именно Райту принадлежит идея, так называемой *геософии* (союз слов «*гео*» и «*софия*» – мудрость по-гречески), согласно которым знания профессиональных географов чрезвычайно важны для гуманистической географии. В значительной степени связанная с субъективными представлениями, она аккумулирует как истинные, так и ложные географические представления – не только профессиональных географов, но рыбаков и фермеров, руководителей предприятий и поэтов, романистов и художников, бедуинов и готтентотов – и по этой причине она обязательно в значительной степени связана с субъективными представлениями [Райт, 1988].

Примечательно, что опубликованная в 1988 году в русском переводе книга Дж. Райта «Географические представления в эпоху крестовых походов», была отнесена к историческому жанру, хотя «номинировалась» на интерпретацию гуманистической географии. По мнению А.Я. Гуревича (автора предисловия к ней), Райт вовсе не различает понятия науки и ненауки, смешивает богословие, поэзию, географию и т. п. [Райт, 1988]. Свои философские и методологические позиции он декларирует, но ничего не доказывает и не обосновывает. Можно не соглашаться с автором предисловия (как «ангажированным коммунистом»), но труды Райта (как и многих «гуманистических» географов), с интересом читаемые представителями разных специальностей, действительно сложно интерпретировать не только с философской, но и методологической точек зрения из-за смешения «коктейлеобразных» феноменологических смыслов. Конечно, нелепо возражать против тезиса о полезности географических мнений «фермеров» и «рыбаков», но разве подобная трактовка географии, как серьезной отрасли *научного знания*, не символизирует попытки всячески принизить роль фундаментальной географической науки? И что мешает до сих пор энтузиастам феноменологического подхода учредить, например, «гуманистическую квантовую физику» как науку, пользуясь мнением «фермеров» и «рыбаков»?

Именно «философские страсти» вокруг понятия «место», вскипевшие после публикации в 1976 году работы Э. Релфа «Место и безместность» [Relph, 2008], во многом способствовали становлению (первоначально в умах философов и психологов) новой дисциплины «гуманистическая география». Философский «бум» в западной географии сделал очень модными ссылки на философов. Не случайно среди идеологов и сторонников гуманистической географии оказались именно философы – сам основатель феноменологии Э. Гуссерль, а также А. Шюц, М. Мерло-Понти, М. Фуко, Ж. Делёз, Ж. Деррида. Было немало представителей и других предметных областей, подчас имевших усеченное, а то и «смутное» представление о теоретических основах и мейнстриме географических (особенно, *естественно-географических*) исследований. Не исключено, что именно это обстоятельство побуждало отдельных аналитиков сетовать на, дескать, невысокий уровень философской эрудиции географов, вследствие чего связь «субъект-объект» рассматривается ими, дескать, крайне примитивно и происходит неверная интерпретации процес-

са познания на основании феноменологической версии теории отражения. И якобы лишь гуманистическая география способна оценить реальность через фильтр сознания [Bowden, 1978].

В сознание научного сообщества исподволь внедрялась мысль, что в географии это понятие, дескать, сводится лишь к «*элементарному местоположению*» на основе критики его редукции, и лишь благодаря географам-гуманистам, прежде всего, таким, как Э. Релф, И-Фу Туан, Д. Лей, А. Баттиммер, Д. Симон, добавившим «*человека*», «*опыт*» и «*значение*» к своим определениям, произошла настоящая *революция* в понимании понятия «феноменология места» [Talebian, Uraz, 2018]. В этом месте напрашивается естественный вопрос: «революция» в чем понимании? В сравнении с атомистами древности и Платоном, отождествлявшим пространство с пустотой или материей, или Аристотелем, введшим понятие «место», составлявшим одну из предпосылок для объяснения движения? Новую экспликацию понятия с акцентом на сознание и когнитивные способности человека, действительно, можно отнести к определенному достижению *философской* и *психологической* мысли, но вряд ли *географической*, даже с учетом того новая трактовка понятия, благодаря герменевтике и потенциалу феноменологии, помогает обоснованию изучения жизненных взаимоотношений человека и с окружающей средой. А разве, например, медицине и некоторым другим областям знания подобная трактовка чужда и не способствует углублению знаний о таких взаимоотношениях?

Со временем феноменологическое понимание места стало основным подходом в западной географии. В отличие от феноменологии Гуссерля, которая известна как трансцендентальная (то есть, выходящая за рамки чувственного опыта), экзистенциально-онтологическая феноменология Хайдеггера в значительной степени основана на месте, и именно поэтому его подход проложил путь для географов-гуманистов к обсуждению концепции места с точки зрения феноменологии. В ряде случаев концепция места стала использоваться в весьма востребованных, но маргинальных сферах географического знания: в городском дизайне, архитектуре и т. д. Например, архитектурное понимание места было сформировано под влиянием публикации книги «Дух места: на пути к феноменологии архитектуры» К. Шульца [1980], в которой разъясняется концепция места в объяснении феноменологической архитектуры: «Место – это пространство, обладающее особым характером. С древних времен *genius loci*, или дух места, был признан конкретной реальностью, с которой человеку приходится сталкиваться в своей повседневной жизни. Архитектура означает визуализацию гениальных мест, и задача архитектора – создавать значимые места, в которых он помогает человеку жить» [Schulz, 1980]. Но наблюдающиеся различия в феноменологической интерпретации места, включая взгляды постструктуралистов (постфеноменологов), критически переосмысливших феноменологию, несколько не поколебали ее фундаментальные принципы – интенциональность, отказ от позитивизма и сциентизма, абсолютизацию опыта и т. д. Кстати, замечание Дж. Леа о том, что постфеноменологи хотя и сохранили опыт в качестве основы своей философии, но попытались «переосмыслить то, каким может быть опыт, где он может быть локализован, как он возникает и как мы, социологи, можем его объяснить» [Lea, 2009], явно свидетельствует о том, что внесение феноменологической экспликации места «полностью» в предметное поле географической науки является в известной мере искусственным шагом. В этой связи нельзя не согласиться с известным французским философом и социологом Ф. Лефевром, который обвинил феноменологию в том, что она изолирует место от его социальных структур и сводит человека посредством абстракции к простому субъекту индивидуального опыта [Lefebvre, 1974].

Напомним также о том, что основоположник феноменологической социологии, австрийский социолог и философ А. Шюц исходит из того, что в ее центре находится не мир



в целом, а человек в его специфическом измерении, при этом социальная реальность «конструируется» посредством *образов и понятий*. Соответственно, фокусом внимания социологии служит человеческая субъективность, отсюда конструируется микросоциологический подход, представленный феноменологией. Исследователь, изучая человека с помощью методологии феноменологической социологии, познает смыслы и представления субъекта, вообще абстрагируясь от окружающих реалий [Слобода, 2021].

Изобретательной попыткой «перезаформировать» онтологические основы традиционной географии под напором феноменологических идей явилась в свое время статья профессора Амстердамского университета, соратника Т. Хагерстранда, Х. Паассена, видного адепта гуманистического географии [Paassen, 1976]. В ней он предлагает вместо традиционной дихотомии двух миров – «природа – нематериальный мир (культура)», использовать концепцию трех миров, дополнив эту конструкцию миром «*психофизической материальности*», названным им «*рефлексивной экзистенциальной системой*» отражающей сущность человека. При этом он исходит из необходимости смены пространственной парадигмы, якобы, в «старой одежде» на парадигму «социального онтологизма», «социальной материальности» в новой.

Трудно не удивиться позиции профессора географии (не психолога, социолога или психотерапевта) столь самоуспоительно отстаивающего экзистенциальную антропологию в качестве опорной конструкции географической науки. Разве не очевидно, что социально-научный характер научной дисциплины, хотя и проявляется через «физический субстанциональный характер человеческой индивидуальности», но этот фактор по отношению к географии играет лишь вспомогательную роль. Поэтому можно утверждать, что экзистенциальные принципы новой методологии географии Х. Паассена для географов могут быть полезными, но лишь в качестве междисциплинарных средств анализа.

Некоторые авторы (Р. Мюгерауер, Г. Баренберг и др.) трактуют гуманистическую географию как герменевтическую (экзегетическую) дисциплину, концентрируя внимание на проблеме понимания и смысла [Mugerauer, 1995]. Но ведь герменевтика, как средство анализа географической реальности, опять-таки представляет собой феноменологическую «проекцию» объяснения явлений и, тем более, не может быть идентифицирована в качестве самостоятельной. И уж совсем «экзотическим» вариантом трактовки гуманистической географии можно считать позицию Р. Дэти, согласно которой лишь религия может обеспечить истинное понимание культуры и значимости природы [Mugerauer, 1995]. Ясно, что попытки обоснования «гуманистической» географии на основе религии носят декларативный характер.

Феноменализм иррационального мышления и науки о Земле

Особый структурный пласт феноменологического мышления связан с иррациональным, в том числе магическим мышлением. Последнее является иррациональным конструктом, призванным справиться с той или иной пугающей или непреодолимой проблемой. В таких случаях на помощь приходят астрология, гадания, вера в непогрешимость авторитетов и т. п. Ориентированное объект-субъектно магическое осмысление социальной реальности, актуальное не только для традиционных, но и современных обществ, в той или иной мере присуще практически всем народам. Поэтому его географическая проекция и установление специфики очень затруднительны.

Иррациональное мышление предполагает интуитивный и сенсорный подходы к постижению неизведанного, ориентируя при этом не на факты, а на всевозможные «шестые чувства», что вполне отвечает «духу» феноменализма. Так, анализируя теоретические позиции многих современных экологов (в том числе «высокореيتينговых»), понимаешь, что они опираются на весьма шаткий фундамент, поскольку не в состоянии дать четкие отве-

ты на многие принципиальные вопросы, относящиеся к проблеме возможного экологического коллапса.

Речь идет, например:

– о значениях параметров моделей температурных аномалий на Земле, с обязательным учетом достоверной информации об исторической динамике температуры Мирового океана и стратосферы;

– об истинной роли влияния на глобальный климат человека и длинных климатических циклов по отдельности;

– о реальных уровнях концентрации парниковых газов и, прежде всего, CO₂ и т. д.

Не имея убедительных ответов на эти и другие вопросы, трудно избавиться от мысли, что как климатология в целом, так и историческая динамика уровней концентрации углекислого газа, по-прежнему, остаются если не «сумеречными», то недостаточно изученными зонами науки. В этой связи возникает нестандартный вопрос: можно ли в таких условиях характеризовать человеческие действия в сфере изменений глобального климата как сугубо рациональные в силу их сомнительной осмысленности? И не является ли отсутствие осознанности происходящего причиной наблюдающегося господства интуитивного и сенсорного подходов (по существу – иррациональных, феноменологических) к постижению процессов, отражающих нынешний климатический кризис?

Трудно поверить, что известная во всем мире шведская климатическая активистка Грета Тунберг (дважды претендовавшая на Нобелевскую премию и выступавшая с трибуны ООН с пламенно-язвительной речью) имеет хоть малейшее представление не только об ответах на эти вопросы, но и их содержании. Ее «научный» арсенал заключен в тирадах типа: «Вы украли мои мечты и мое детство своим пустословием. Люди страдают. Люди умирают. Рушатся целые экосистемы. Мы находимся в начале массового вымирания. И все, о чем вы можете говорить, – это деньги и сказки о вечном экономическом росте» [Стенограмма ..., 2019]. Можно по-разному относиться к оценкам ее деятельности [Blanke, 2025], но это обстоятельство вовсе не ставит под сомнение ее точку зрения на характер изменений в мире, угрожающих жизням огромного количества людей. При этом иррациональность может пониматься как «свое-иное» рациональности, будучи неотъемлемой частью человеческого мышления вообще. То есть, постнеклассическая рациональность одновременно представлена и иррациональным, т. е. феноменологическим.

Когда речь идет об экологии, следует помнить, что рациональное и иррациональное в развитии общества и природы – не простое соотношение разумного и стихийного в социоприродном процессе. Наблюдающееся в публикациях отождествление понятий «рациональность» и «разумность» ущербно, хотя бы по причине игнорирования ценностно-ориентированных компонентов, особенно при развитии экономики. Современный техногенез, целью которого является создание техногенного социума с его наукотехникой и техносферой, ведет к неизбежной деградации регенерационных механизмов биосферы и обострению экологического кризиса.

При этом игнорируется тот факт, что искусственный мир и естественный – элементы единой системы земной жизни, следовательно, их генезис должен происходить в форме сотворчества человека и природы, а не противостояния. Когда же современная наука отстает в разработке перспективных сценариев такой коэволюции, на «тропу» борьбы за установление приемлемых социоприродных форм бытия выходят представители иррационального экологического движения, одержимые желанием внести посильную помощь человечеству, «погружающемуся в бездну».

Заключение

Содержание статьи ни в коей мере не отрицает важности использования феноменологического подхода не только в философии, психологии и социологии, но и в географиче-



ческой науке в качестве *вспомогательного, эмпирического метода* при анализе природных и природно-общественных геосистем. Речь может идти, например, о мифическом сознании. Место и значение географических представлений в мифологическом сознании особенно важно при анализе истории, хранящей архетипы полузабытых конкретных историко-географических реалий. Однако для предотвращения деформации онтологических основ географической науки важно соблюдение меры использования феноменологического подхода.

Идея гуманизации географической науки, родившаяся задолго до официальной концептуализации гуманистической географии в 70-е годы прошлого столетия, подтверждается трудами А. Гумбольдта, А. Геттнера, В.П. Семенова-Тян-Шанского, Э. Дардела и других мыслителей. Оставаясь в предметном поле географии, они предпочитали изучать реальный мир природных и природно-общественных геосистем, не фокусируя внимание на субъективном, воображаемом мире, воспринимаемом с помощью чувств и эмоций. Есть много оснований полагать, что обращение к интуитивному, интерпретирующему методу восприятия явлений больше относится к арсеналу психологической науки, особенно когда речь идет о месте проживания индивидуума, где геосистемный анализ просто ограничен.

Общественный и дисциплинарный статус каждой науки зависит от состояния предмета, смысловых глубин, наличия (или отсутствия) парадигмального эффекта, метода, угла зрения, прикладной роли и, конечно, степени заблуждения ученого. Кроме этого, многое зависит от потенциала абстрактности, которым обладает наука. Феноменологические (описательные, эмпирические) теории, как правило, не используют сколько-нибудь сложные абстрактные объекты и применяются на первых ступенях развития науки, когда происходит накопление, обобщение и систематизация фактологического материала. Лишь по мере развития познания феноменологические идеи уступают место нефеноменологическим, отражающим глубинный внутренний механизм явлений и процессов и использующим широкий ряд абстрактных понятий и моделей. Таким образом, слишком высокая доля феноменологических идей может свидетельствовать о недостаточном качестве теоретико-методологического базиса географической науки.

Изложенное позволяет утверждать, что в рамках научного географического анализа большинство постулатов Э. Зауэра, Дж. Райта, И-Фу Туана и др., разделяемых современными «гуманистическими» географами Запада, не способны усилить праксиологический характер географической науки и обеспечить ей статус прикладной дисциплины. Речь идет о таких основных положениях, как перенос внимания на интуицию и воображение, мифомышление, уравнивание научных и ненаучных подходов, замена географических «объективов» идиографической субъективизацией и т. д.

Список источников

- Нилогов А. 2007. Осторожно, феноменология! Независимая газета. Электронный ресурс. URL: https://www.ng.ru/koncept/2007-11-01/10_fenomen.html (дата обращения: 04.01.2025)
- Стенограмма: речь Греты Тунберг на Саммите ООН по мерам в области изменения климата. 2019. National Public Radio, США. Электронный ресурс. URL: <https://inosmi.ru/20190925/245886965.html> (дата обращения: 04.01.2025)
- Blanke S. Who's Afraid of Greta Thunberg? Электронный ресурс. URL: <https://www.commondreams.org/views/2019/11/04/whos-afraid-greta-thunberg> (дата обращения: 04.01.2025)
- Phenomenology. 2013. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Electronic resource. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/phenomenology> (date of access: 04.01.2025)

Список литературы

- Геттнер А. 2025. География: ее история, сущность и методы. М., Юрайт, 490 с.
- Голд Дж. 1990. Основы поведенческой географии. М., Прогресс, 302 с.

- Гуссерль Э. 2011. Логические исследования. Прологомены к чистой логике. М., Академический Проект, 253 с.
- Декарт Р. 1989. Рассуждение о методе, чтобы верно направлять свой разум и отыскивать истину в науках. М., Мысль, 296 с.
- Замятин Д.Н. 2003. Гуманитарная география: Пространство и язык географических образов. СПб., Алетейя, 331 с.
- Замятин Д.Н. 2004а. Метагеография: Пространство образов и образы пространства. М., Аграф, 512 с.
- Замятин Д.Н. 2004б. Власть пространства и пространство власти: Географические образы в политике и международных отношениях. М., РОССПЭН, 352 с.
- Лавренова О.А. 2023. Любовь и место. Памяти И-Фу-Туана. Географическая среда и живые организмы, 2: 58–67. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-2-58-67>
- Лосев А.Ф. 2021. Диалектика мифа. М., ЯСК, 695 с.
- Мерло-Понти М. 1999. Феноменология восприятия. СПб., Ювента; Наука, 595 с.
- Райт Дж.К. 1988. Географические представления в эпоху крестовых походов: Исследование средневековой науки и традиции в Западной Европе. М., Наука, 478 с.
- Семенов-Тянь-Шанский В.П. 1928. Район и страна. М, Государственное издательство, 311 с.
- Слобода Н.М. 2021. А. Шюц и его роль в формировании феноменологической социологии. Вестник молодых учёных и специалистов Самарского университета, 1(18): 136–144.
- Чернавин Г.И. 2013. Новая феноменология во Франции: проекты Ж.-Л. Мариона и М. Ришира. Журнал Петербургского философского общества, 15: 71–77.
- Bowden M.J. 1978. The Cognitive Renaissance in American Geography: the Intellectual History of Movement. Organon Warszawa, 14: 199–204.
- Dardel E. 2022. Man and the Earth: the Nature of Geographical Reality. (Published in 1952, translated by E. Relph with revisions in 2022). USA, University of Toronto, 30 p.
- Heidegger M. 1969. Zur Sache des Denkens. Tübingen, Niemeyer, 90 p.
- Gladkiy Yu.N., Sukhorukov V.D., Kornekova S.Ur. 2019. The Social Morphology of the Geographical Space. In: 6th SWS International Scientific Conferences on social sciences 2019. Conference proceedings, Albena, Bulgaria, 26 August – 01 September 2019. Albena, Bulgaria, STEF92 Technology: 283–288.
- Granö J. 1979. Mongolische Landschaften und Örtlichkeiten. Finland. Helsinki, 1941.
- Johnston J.H., Farrell W.C. 1979. Phenomenology in Geography. Geographical Survey, 8: 5.
- Lea J. 2009. Post-phenomenology / Post-phenomenological geographies. In: International Encyclopedia of Human Geography. Ed. by Kitchin R., Thrift N. Elsevier, Oxford: 373–378.
- Lefebvre H. 1974. La production de l'espace. L'homme et la société, 31(1): 15–32.
- Ley D., Samuels M. 1978. Humanistic Geography: Prospects and Problems. London, Maaroufa Press, 337 p.
- Ley D. 1981. Cultural/Humanistic Geography. Progress in Human Geography, 9(3): 249–257.
- Montello D.R. 2018. Handbook of Behavioural and Cognitive Geography. Cheltenham, Northampton, 432 p.
- Mugerauer R. 1995. Interpreting Environments: Tradition, Deconstruction, Hermeneutics. USA, Austin, 186 p.
- Paassen Chr. Van. 1976. Human Geography in Terms of Existential Anthropology. Tijdschrift Economische en Sociale Geografie, 67(6): 324–341. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.1976.tb00039.x>
- Relph E. 2008. An Inquiry into the Relations between Phenomenology and Geography. Canadian Geographer, 14(3): 193–201. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1970.tb01567.x>
- Sartre J.-P. 1936. Imagination: A Psychological Critique. Ann Arbor, University of Michigan Press, 162 p.
- Seamon D.A. 2018. Life Takes Place: Phenomenology, Life World, and Place Making. New York, Routledge, 230 p.
- Seamon D.A. 2023. Phenomenological Perspectives on Place, Lifeworlds, and Lived Emplacement. London, Routledge, 294 p. <https://doi.org/10.4324/9781003328223>



- Seamon D.A. 2000. Way of Seeing People and Place: Phenomenology in Environment-Behavior Research. In: Theoretical Perspectives in Environment-Behavior Research. Boston, Springer: 157–178. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4701-3_13
- Schulz C.N. 1980. Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture. New York, Rizzoli, 213 p.
- Shutz A. 1964. Collected papers. 2, Studies in Social Theory. The Hague, M. Nijhoff, 300 p.
- Shutz A., Luskmann T. 1973. Structures of the Life-World. Evanston, Northwestern University Press, V. 1. ,335 p.
- Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N. 2019. Semantic Outlines of Modern Geography. European Journal of Geography, 10(3): 24–32.
- Talebian N., Uraz T.U. 2018. The Post-Phenomenology of Place: Moving Forward from Phenomenological to Post-Structural Readings of Place. Open House International, 43(2): 13–21. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2018-B0003>
- Tuan Yi-Fu. 1975. Topophilia: a Study of Environmental Perception, Attitudes, and Values. Journal of Aesthetics and Art Criticism, 34(1): 99–100.
- Tuan Yi-Fu. 1977. Space and Place: The Perspective of Experience. Minneapolis, University of Minnesota Press, 235 p.
- Tuan Yi-Fu. 1979. Landscapes of Fear. New York, Pantheon books, 262 p.
- Tuan Yi-Fu. 1982. Segmented Worlds and Self: Group Life and Individual Consciousness. Minneapolis, University of Minnesota Press, 248 p.
- Wright J. 1947. Terrae Incognita: the Place of Imagination in Geography. Annals of the Association Geographers, 37(1): 1–15.

References

- Hettner A. 2025. Die Geographie, ihre Geschichte, ihr Wesen und ihre Methoden. Moscow, Publ. Urait, 490 p. (in Russian).
- Gold J. 1990. Foundations of Behavioural Geography. Moscow, Publ. Progress, 302 p. (in Russian).
- Husserl E. 2011. Logical research. Prolegomena zur reinen Logik. Moscow, Publ. Akademicheskii prospect, 253 p. (in Russian).
- Descartes R. 1989. Discours de la methode pour bien conduire sa raison, and chercher la verité dans les sciences. Moscow, Publ. Mysl, 296 p. (in Russian).
- Zamyatin D.N. 2003. Gumanitarnaya geografiya: Prostranstvo i yazyk geograficheskikh obrazov [Humanitarian Geography: Space and Language of Geographical Images]. St. Petersburg, Publ. Aletya, 331 p.
- Zamyatin D.N. 2004a. Metageografiya: Prostranstvo obrazov i obrazy prostranstva [Metageography: Space of Images and Images of Space]. Moscow, Publ. Agraf, 512 p.
- Zamyatin D.N. 2004b. Vlast prostranstva i prostranstvo vlasti: Geograficheskiye obrazy v politike i mezhdunarodnykh otnosheniyakh [The Power of Space and the Space of Power: Geographical Images in Politics and International Relations]. Moscow, Publ. ROSSPEN, 352 p.
- Lavrenova O.A. 2023. Love and Place. In Memory of Yi-Fu Tuan. Geographical Environment and Living Systems, 2: 58–67 (in Russian). <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-2-58-67>
- Losev A.F. 2021. Dialectic of myth. Moscow, Publ. YaSK, 695 p. (in Russian).
- Merlo-Ponti M. 1999. Fenomenologiya vospriyatiya [Phenomenology of Perception]. St. Petersburg, Publ. Juventa; Nauka, 595 p.
- Rayt Dzh. K. 1988. Geograficheskiye predstavleniya v epokhu krestovyykh pokhodov: Issledovaniye srednevekovoy nauki i traditsii v Zapadnoy Evrope [Geographical Concepts in the Age of the Crusades: A Study of Medieval Science and Tradition in Western Europe]. Moscow, Publ. Nauka, 478 p.
- Semenov-Tyan-Shanskiy V.P. 1928. Rayon i strana [Region and Country]. Moscow, Publ. Gosudarstvennoye izdatelstvo, 311 c.
- Sloboda N.M. 2021. A. Shutz and His Role for Emergence of Phenomenological Sociology. Proceedings of young scientists and specialists of the Samara University, 1(18): 136–144 (in Russian).
- Chernavin G.I. 2013. New Phenomenology in France: J.-L. Marion's and M. Richir's Projects. Zhurnal Peterburgskogo filosofskogo obshchestva, 15: 71–77 (in Russian).
- Bowden M.J. 1978. The Cognitive Renaissance in American Geography: the Intellectual History of Movement. Organon Warszawa, 14: 199–204.



- Dardel E. 2022. Man and the Earth: the Nature of Geographical Reality. (Published in 1952, translated by E. Relph with revisions in 2022). USA, University of Toronto, 30 p.
- Heidegger M. 1969. Zur Sache des Denkens. Tübingen, Niemeyer, 90 p.
- Gladkiy Yu.N., Sukhorukov V.D., Kornekova S.Ur. 2019. The Social Morphology of the Geographical Space. In: 6th SWS International Scientific Conferences on social sciences 2019. Conference proceedings, Albena, Bulgaria, 26 August – 01 September 2019. Albena, Bulgaria, STEF92 Technology: 283–288.
- Granö J. 1979. Mongolische Landschaften und Örtlichkeiten. Finland. Helsinki, 1941.
- Johnston J.H., Farrell W.C. 1979. Phenomenology in Geography. Geographical Survey, 8: 5.
- Lea J. 2009. Post-phenomenology / Post-phenomenological geographies. In: International Encyclopedia of Human Geography. Ed. by Kitchin R., Thrift N. Elsevier, Oxford: 373–378.
- Lefebvre H. 1974. La production de l'espace. L'homme et la société, 31(1): 15–32.
- Ley D., Samuels M. 1978. Humanistic Geography: Prospects and Problems. London, Maaroufa Press, 337 p.
- Ley D. 1981. Cultural/Humanistic Geography. Progress in Human Geography, 9(3): 249–257.
- Montello D.R. 2018. Handbook of Behavioural and Cognitive Geography. Cheltenham, Northampton, 432 p.
- Mugerauer R. 1995. Interpreting Environments: Tradition, Deconstruction, Hermeneutics. USA, Austin, 186 p.
- Paassen Chr. Van. 1976. Human Geography in Terms of Existential Anthropology. Tijdschrift Economische en Sociale Geografie, 67(6): 324–341. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.1976.tb00039.x>
- Relph E. 2008. An Inquiry into the Relations between Phenomenology and Geography. Canadian Geographer, 14(3): 193–201. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1970.tb01567.x>
- Sartre J.-P. 1936. Imagination: A Psychological Critique. Ann Arbor, University of Michigan Press, 162 p.
- Seamon D.A. 2018. Life Takes Place: Phenomenology, Life World, and Place Making. New York, Routledge, 230 p.
- Seamon D.A. 2023. Phenomenological Perspectives on Place, Lifeworlds, and Lived Emplacement. London, Routledge, 294 p. <https://doi.org/10.4324/9781003328223>
- Seamon D.A. 2000. Way of Seeing People and Place: Phenomenology in Environment-Behavior Research. In: Theoretical Perspectives in Environment-Behavior Research. Boston, Springer: 157–178. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4701-3_13
- Schulz C.N. 1980. Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture. New York, Rizzoli, 213 p.
- Shutz A. 1964. Collected papers. 2, Studies in Social Theory. The Hague, M. Nijhoff, 300 p.
- Shutz A., Luskmann T. 1973. Structures of the Life-World. Evanston, Northwestern University Press, V. 1. ,335 p.
- Sukhorukov V.D., Gladkiy Y.N. 2019. Semantic Outlines of Modern Geography. European Journal of Geography, 10(3): 24–32.
- Talebian N., Uraz T.U. 2018. The Post-Phenomenology of Place: Moving Forward from Phenomenological to Post-Structural Readings of Place. Open House International, 43(2): 13–21. <https://doi.org/10.1108/OHI-02-2018-B0003>
- Tuan Yi-Fu. 1975. Topophilia: a Study of Environmental Perception, Attitudes, and Values. Journal of Aesthetics and Art Criticism, 34(1): 99–100.
- Tuan Yi-Fu. 1977. Space and Place: The Perspective of Experience. Minneapolis, University of Minnesota Press, 235 p.
- Tuan Yi-Fu. 1979. Landscapes of Fear. New York, Pantheon books, 262 p.
- Tuan Yi-Fu. 1982. Segmented Worlds and Self: Group Life and Individual Consciousness. Minneapolis, University of Minnesota Press, 248 p.
- Wright J. 1947. Terrae Incognita: The Place of Imagination in Geography. Annals of the Association Geographers, 37(1): 1–15.

*Поступила в редакцию 17.01.2025;
поступила после рецензирования 03.02.2025;
принята к публикации 19.02.2025*

*Received January 17, 2025;
Revised February 03, 2025;
Accepted February 19, 2025*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гладкий Юрий Никифорович, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАО, заведующий кафедрой экономической географии, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

Сухоруков Вячеслав Дмитриевич, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой методики обучения географии и краеведению, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuriy N. Gladkiy, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Head of the Department of Economic Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

Vyacheslav D. Sukhorukov, Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Teaching Methods of Geography and Local History, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia