

ISSN 2712-7613 (print)
ISSN 2712-7621 (online)



ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT and LIVING SYSTEMS

Отклик древесной
растительности западного
макросклона Приполярного
Урала на современное
потепление климата

Результаты многолетних
исследований размыва берегов
рек Удмуртии

Сравнительное исследование
динамики концентраций
диоксида азота в атмосферном
воздухе городов Северо-
Запада России по данным разных
информационных источников

Малые исторические города
как часть культурного ландшафта
Союзного государства

Туризм на востоке России:
динамика и территориальные
сдвиги в 2003–2024 гг.

2025 № 4



ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT and LIVING SYSTEMS

Рецензируемый научный журнал

Журнал включён в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук» Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (см.: Список журналов на сайте ВАК при Минобрнауки РФ) по следующим научным специальностям: 1.6.12 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки); 1.6.13 – Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (географические науки); 1.6.21 – Геоэкология (географические науки).

Журнал индексируется в международной базе Scopus.

The peer-reviewed journal

The journal is included by the Supreme Certifying Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation into “the List of leading reviewed academic journals and periodicals recommended for publishing in corresponding series basic research thesis results for a PhD” (See: the online List of journals at the site of the Supreme Certifying Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation). The journal features articles that comply with the content of such scientific specialities: 1.6.12 – Physical Geography and Biogeography, Geography of Soils and Geochemistry of Landscapes (Geographic Sciences); 1.6.13 – Economic, Social, Political and Recreation Geography (Geographic Sciences); 1.6.21 – Geoecology (Geographic Sciences).

The journal is Scopus -indexed

ISSN 2712-7613 (print)

ISSN 2712-7621 (online)

2025 № 4

Учредитель журнала
«Географическая среда и живые системы»
Государственный университет просвещения

— Выходит 4 раза в год —

Редакционная коллегия

Главный редактор:

МЕДВЕДКОВ А. А. — канд. геогр. наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Ответственный секретарь:

КРЫЛОВ П. М. — канд. геогр. наук, Государственный университет просвещения

Члены редакционной коллегии:

Алексеев А. И. — д-р геогр. наук, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;

Арешидзе Д. А. — канд. биол. наук, Научно-исследовательский институт морфологии человека имени академика А.П. Авцына;

Анвар М. М. — д-р наук, Гуджаратский университет (Пакистан);

Васильев Н. В. — д-р хим. наук, Государственный университет просвещения;

Галацкий Л.-Д. — д-р наук, Университет Овидиус (Румыния);

Гордеев М. И. — д-р биол. наук, Государственный университет просвещения;

Демин Д. В. — канд. биол. наук, ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»;

Емельянова Л. Г. — канд. геогр. наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;

Заборцева Т. И. — д-р геогр. наук, Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН;

Захаров К. В. — канд. биол. наук, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К. И. Скрябина;

Катровский А. П. — д-р геогр. наук, Смоленский государственный университет;

Красовская Т. М. — д-р геогр. наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;

Кузнецов А. В. — д-р экон. наук, чл.-корр. РАН, Институт научной информации по общественным наукам РАН;

Литвиненко Т. В. — канд. геогр. наук, Институт географии РАН;

Москаев А. В. — канд. биол. наук, Государственный университет просвещения;

Мурадов П. З. — д-р биол. наук, чл.-корр. НАН Азербайджана, Институт микробиологии Национальной академии наук Азербайджана (Азербайджан);

Петренко Д. Б. — канд. хим. наук, Геологический институт РАН;

Рязанова Н. Е. — канд. геогр. наук, Международный государственный институт международных отношений (Университет) МИД РФ;

Сава Д. — д-р наук, Университет Овидиус (Румыния);

Сизов О. С. — канд. геогр. наук, Институт проблем нефти и газа РАН;

Тимченко Л. Д. — д-р ветеринар. наук, Северо-Кавказский федеральный университет;

Тушар Л. — д-р наук, Орлеанский университет (Франция);

Фёдоров Р. Ю. — д-р ист. наук, Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН;

Шумилов Ю. В. — д-р геол.-минерал. наук;

Якуцени С. П. — канд. геол.-минерал. наук, АО «Гео-экспертиза»

«Географическая среда и живые системы» является международной площадкой, консолидирующей усилия учёных по изучению проблемы «человек и среда». В журнале публикуются оригинальные научные статьи (исследовательские и обзорные) на русском и английском языках, посвящённые теоретическим вопросам географии и экологии, проблемам охраны ландшафтов, объектов геологического и культурного наследия, живой природы, оценке состояния окружающей среды и климатически зависимых природных ресурсов, анализу качества жизни населения и тенденций пространственного развития стран и территорий (в т.ч. с учётом экологического фактора и возможностей по адаптации к изменениям климата).

Содержание журнала строится на динамической системе рубрик:

Теоретические проблемы географии и экологии;

Природные процессы и динамика геосистем;

Отклик ландшафтов и экосистем на глобальные изменения климата;

Природно-антропогенные процессы и охрана ландшафтов; Биоразнообразие ландшафтов и биоиндикация окружающей среды;

Индикаторы экологического развития;

Качество жизни населения и окружающая среда;

Региональное измерение глобальных проблем;

Тенденции и факторы пространственного развития;

Территориальные туристско-рекреационные системы;

Образование для устойчивого развития;

Приглашение к дискуссии

Журнал адресован российским и зарубежным учёным и всем, интересующимся достижениями наук о Земле и экологии в России и за рубежом.

Журнал «Географическая среда и живые системы» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер ПИ № ФС 77-73331 от 24.07.2018.

Индекс журнала «Географическая среда и живые системы / *Geographical Environment and Living Systems*» по Объединённому каталогу «Пресса России» — 40564

Журнал индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и международной базе рецензируемой научной литературы (Scopus). Полнотекстовая сетевая версия издания представлена в Интернете на платформе Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru), с августа 2017 г. — на платформе Научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» (www.cyberleninka.ru), а также на сайте журнала (www.geo-ecosreda.ru).

При цитировании ссылка на журнал «Географическая среда и живые системы» обязательна. Публикация материалов осуществляется в соответствии с лицензией Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY).

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Географическая среда и живые системы / *Geographical Environment and Living Systems*. 2025. № 4. 172 с.

© Государственный университет просвещения, 2025.

Адрес редакции:

105005, г. Москва, ул. Радио, д.10А, стр. 1, каб. 98

тел. +7 (495) 780-09-42 (доб. 6101)

e-mail: sj@guppros.ru

сайты: www.geoecosreda.ru

Founder of journal
"Geographical Environment and Living Systems"
State University of Education

— Issued 4 times a year —

Editorial board

Editor-in-chief:

A. A. MEDVEDKOV – PhD (Geography), Lomonosov Moscow State University

Executive secretary:

P. M. KRYLOV – PhD (Geography), State University of Education

Members of Editorial Board:

A. I. Alekseev – Dr. Sci. (Geography), Lomonosov Moscow State University;

D. A. Areshidze – PhD (Biology), Research Institute of Human Morphology;

M. M. Anwar – Dr. Sci., University of Gujrat (Pakistan);

N. V. Vasil'ev – Dr. Sci. (Chemistry), State University of Education;

L. D. Galatchi – Dr. Sci. (Biology), Ovidius University of Constanta (Romania);

M. I. Gordeyev – Dr. Sci. (Biology), State University of Education;

D. V. Demin – PhD (Biology), Federal Research Center 'Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS;

L. G. Emalyanova – PhD (Geography), Lomonosov Moscow State University;

T. I. Zabortseva – Dr. Sci. (Geography), V. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch RAS;

K. V. Zakharov – PhD (Biology), Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin;

A. P. Katrovskii – Dr. Sci. (Geography), Smolensk State University;

T. M. Krasovskaya – Dr. Sci. (Geography), Lomonosov Moscow State University;

A. V. Kuznetsov – Dr. Sci. (Economics), Corresponding Member of the RAS, Institute of Scientific Information for Social Sciences RAS;

T. V. Litvinenko – PhD (Geography), Institute of Geography RAS;

A. V. Moskaev – PhD (Biology), State University of Education;

P. Z. Muradov – Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the ANAS, Institute of Microbiology ANAS (Azerbaijan);

D. B. Petrenko – PhD (Chemistry), Geological Institute RAS;

N. E. Ryazanova – PhD (Geography), MGIMO University;

D. Sava – Dr. Sci., Ovidius University of Constanta (Romania);

O. S. Sizov – PhD (Geography), Oil and Gas Research Institute RAS;

L. D. Timchenko – Dr. Sci. (Veterinary Sciences), North-Caucasus Federal University;

Touchard L. – Dr. Sci., Orleans University (France);

R. Y. Fedorov – Dr. Sci. (History), Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center, Siberian Branch RAS;

Yu. V. Shumilov – Dr. Sci. (Geological and Mineralogical Sciences);

S. P. Yakutseni – PhD (Geological and Mineralogical Sciences), Geolekspertiza JSC

Geographical Environment and Living Systems is an international platform that consolidates the efforts of scientists studying the problem of "man and the environment." The journal publishes original scientific articles (research and review) in Russian and English devoted to theoretical issues of geography and ecology, issues of landscape protection, geological and cultural heritage sites, wildlife, assessment of the state of the environment and climate-dependent natural resources, analysis of the quality of life of the population and trends in the spatial development of countries and territories (including taking into account environmental factors and opportunities for adaptation to climate change). The content of the journal is based on a dynamic system of sections:

Theoretical problems of geography and ecology;

Natural processes and dynamics of geosystems;

Response of landscapes and ecosystems to global climate change;

Natural and anthropogenic processes and landscape protection;

Landscape biodiversity and environmental bioindication;

Environmental development indicators;

Quality of life and the environment;

Regional dimensions of global problems;

Trends and factors in the spatial development;

Territorial tourism and recreation systems;

Education for sustainable development;

Invitation to discussion

The journal is addressed to Russian and foreign scientists and all those interested in the achievements of Earth sciences and ecology in Russia and abroad.

The journal "**Geographical Environment and Living Systems**" is registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (mass media registration certificate No. FS 77-73331).

Index of the journal "**Geographical Environment and Living Systems**" according to the Union catalog «Press of Russia» 40564

The journal is indexed in the database of the Russian Science Citation Index (RSCI) and the international database of peer-reviewed scientific literature (Scopus). Full-text online version of the publication is available online on the platform of the Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), since August 2017. – on the platform of the Scientific Electronic Library "CyberLeninka" (www.cyberleninka.ru), as well as on the website of the journal (www.geo-ecosreda.ru).

At citing the reference to journal "**Geographical Environment and Living Systems**" is obligatory. Scientific publication of materials is carried out in accordance with the license of Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY).

The authors bear all responsibility for the content of their papers.

Geographical Environment and Living Systems. 2025. no. 4. 172 p.

© State University of Education, 2025.

The Editorial Board address:

10A Radio st., office 98, Moscow 105005, Russia

Phones: +7 (495) 780-09-42 (add. 6101)

e-mail: sj@guppros.ru;

sites: www.geocosreda.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Редакционная статья 6

ОТКЛИКИ ЛАНДШАФТОВ И ЭКОСИСТЕМ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Григорьев А. А., Вьюхин С. О., Шубницина Е. И., Шалаумова Ю. В.,
Басманов А. А., Богачев М. И. Отклик древесной растительности западного
макросклона Приполярного Урала на современное потепление климата. 7

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

Рысин И. И., Григорьев И. И. Результаты многолетних исследований
размыва берегов рек Удмуртии 35

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛАНДШАФТОВ И БИОИНДИКАЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Каплевский А. А., Уланова Н. Г. Динамика травяно-кустарничкового яруса
фитоценоза ельника зеленчукового в течение 9 лет после вспышки
численности короеда-типографа 58

До Х. Т. Т., Нгуен Т. К. Т., Фунг Т. Д., Фан Х. Т. Исследование биологических
характеристик аммоний-окисляющих бактерий, выделенных из осадка сточных
вод некоторых деревообрабатывающих предприятий Вьетнама 70

ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Стурман В. И. Сравнительное исследование динамики концентраций диоксида
азота в атмосферном воздухе городов Северо-Запада России по данным разных
информационных источников. 82

Гахрамани Л., Пир Бавагар М. Оценка базальной площади древостоя в порослевых
дубравах с применением геостатистического метода обыкновенного кригинга 92

ТЕНДЕНЦИИ И ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

Катровский А. П. Малые исторические города как часть культурного ландшафта
Союзного государства. 106

Даньшин А. И. Сельскохозяйственные функции малого города в условиях
низких показателей природно-ресурсного потенциала 127

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Литвиненко Т. В. Туризм на востоке России: динамика и территориальные сдвиги
в 2003–2024 гг. 142

Паранина А. Н. Навигационные основы развития территориальных рекреационных
систем 158

CONTENTS

Introduction (by the editors)	6
--	---

RESPONSES OF LANDSCAPES AND ECOSYSTEMS TO GLOBAL CLIMATE CHANGE

A. Grigoriev, S. Vyukhin, Shubnitsina E.I., Y. Shalaumova, A. Basmanov, M. Bogachev. Response of the Treeline of the Western Ridges of the Subpolar Urals to Current Climate Change	7
--	---

NATURAL PROCESSES AND DYNAMICS OF GEOSYSTEMS

I. Rysin, I. Grigoriev. Results of Long-Term Observations Erosion of River Banks in Udmurtia	35
--	----

LANDSCAPE BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL BIOINDICATION

A. Kaplevsky, N. Ulanova. Dynamics of the Herbaceous Layer of Spruce Forest Phytocoenosis for Nine Years after a Bark Beetle Outbreak	58
H. T. T. Do, T. K. T. Nguyen, T. D. Phung, X. T. Phan. Study on Biological Characteristics of Ammonia Oxidizing Bacteria Isolated from Wastewater Sludge at Some Wood Processing Facilities in Vietnam	70

ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT INDICATORS

V. Sturman. Comparative Exploration of the Dynamics of Nitrogen Dioxide Concentrations in the Atmospheric Air of Cities in Northwestern Russia According to Various Information Sources	82
L. Ghahramany, M. PirBavaghar. Estimation of Basal Area in Coppice Oak Forests Using Geostatistical Kriging	92

TRENDS AND FACTORS OF SPATIAL DEVELOPMENT

A. Katrovsky. Small Historical Towns as Part of the Cultural Landscape of the Union State	106
A. Danshin. Agricultural Functions of Town in Conditions of Low Indicators of Natural Resource Potential	127

TERRITORIAL TOURIST-RECREATIONAL SYSTEMS

T. Litvinenko. Tourism in the East of Russia: Dynamics and Spatial Shifts in 2003–2024 . .	142
A. Paranina. Navigational Basis for the Development of Territorial Recreational Systems . .	158

РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ

Уважаемые коллеги!

Текущий номер журнала посвящён актуальным проблемам экологии и устойчивого развития. Он подготовлен по итогам XXVI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования», состоявшейся в апреле 2025 г. в Институте экологии Российского университета дружбы народов (РУДН) имени Патриса Лумумбы.

Оргкомитет с удовлетворением отмечает высокий интерес к ежегодно проводимой конференции как со стороны российских, так и зарубежных участников. Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования», уже более четверти века объединяет ведущих специалистов. Это научное мероприятие в очередной раз подтвердило свой высокий статус: в его работе приняли участие около 500 ученых, включая 130 зарубежных исследователей из 34-х стран мира.

В этот номер вошли избранные статьи, которые, по мнению программного комитета, не только соответствуют тематике журнала «Географическая среда и живые системы», но и наиболее полно отражают разнообразие научных направлений, представленных на конференции.

Обращаем внимание читателей, что в этом номере, по решению редакционной коллегии, мы представляем лишь часть отобранных материалов по итогам прошедшей конференции в РУДН. Статьи, подготовленные по материалам конференции, представлены в следующих рубриках журнала: «Отклик ландшафтов и экосистем на глобальные изменения климата», «Природные процессы и динамика геосистем», «Биоразнообразие ландшафтов и биоиндикация окружающей среды», «Индикаторы экологического развития».

Остальные статьи, рекомендованные программным комитетом и отобранные редакционной коллегией, будут опубликованы в следующих номерах журнала (№ 1 / 2026 и № 2 / 2026). Выбор принятых к печати статей будет осуществляться с учётом тематики предстоящих выпусков (номеров) научного журнала.

*Редакционная коллегия научного журнала «Географическая среда и живые системы»,
Оргкомитет Международной научно-практической конференции
«Актуальные проблемы экологии и природопользования»*

ОТКЛИКИ ЛАНДШАФТОВ И ЭКОСИСТЕМ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Научная статья

УДК 581.091:57.045(234.851)

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-7-34

ОТКЛИК ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАПАДНОГО МАКРОСКЛОНА ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА НА СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА

© СС ВУ Григорьев А. А.¹, Вьюхин С. О.², Шубница Е. И.³,
Шалаумова Ю. В.⁴, Басманов А. А.⁵, Богачёв М. И.⁶

¹ Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук
г. Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: grigoriev.a.a@iraе.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

² Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук
г. Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7173-4878

³ Национальный парк «Югыд ва»
Республика Коми, г. Вуктыл, Российская Федерация
e-mail: shub07@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6198-7281

⁴ Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук
г. Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: jyshalautova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

⁵ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: alex.basmanov00@gmail.com; ORCID: 0009-0009-8063-7987

⁶ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: mibogachev@etu.ru; ORCID: 0000-0002-0356-5651

Поступила в редакцию 17.03.2025

После доработки 16.08.2026

Принята к публикации 12.09.2025

Аннотация

Цель. Провести качественную и количественную оценку изменения лесопокрываемых площадей и трансформации древесной растительности на верхнем пределе её произрастания в пределах западного макросклона Приполярного Урала.

Процедура и методы. На постоянных пробных площадях, заложенных на склонах разных экспозиций в экотоне верхней границы леса, сделано описание 750 деревьев на общей площади 2,32 га. Выполнено повторное пейзажное фотографирование древесной растительности с той же точки. Проведён сравнительный анализ пространственного и высотного расположения верхней границы редколесий на аэрофотоснимках и спутниковых изображениях 1963 и 2022 г. С использованием геоинформационных технологий сделаны расчёты изменения пространственно-временного положения верхней границы редколесий. На основе данных ширины годичных колец и аллометрических уравнений зависимости фитомассы деревьев от их диаметра произведена реконструкция погодичного накопления фитомассы древостоев. Проведён анализ динамики радиального прироста деревьев в последнем столетии.

Результаты. Установлено, что за последние 50–70 лет на западном макросклоне Приполярного Урала произошёл сдвиг верхней границы распространения редколе-

сий в сообщества горных тундр. Показано, что наиболее интенсивное кумулятивное изменение общей надземной фитомассы происходило в последнем столетии, особенно после 1950-х гг. Установлено, что в последние десятилетия (с 1990-х гг. по настоящее время) происходило увеличение радиального прироста деревьев независимо от их возраста. Отмечено, что продвижение и трансформация древесной растительности в последнем столетии происходила более медленными темпами, чем в других ранее исследованных частях Урала (Южный Урал, Северный Урал, Полярный Урал). Это может объясняться увеличением количества осадков в твёрдом виде и более поздними сроками схода снежного покрова.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при создании сценарных моделей климатогенной трансформации высокогорных экосистем Приполярного Урала.

Ключевые слова: изменение климата, динамика растительности, фитомасса древостоев, верхняя граница леса, геоинформационные технологии, Уральские горы

Благодарности. Работа выполнена в рамках научного сотрудничества Института экологии растений и животных УрО РАН и национального парка «Югыд ва». Авторы статьи выражают искреннюю благодарность профессору, д.б.н. С. Г. Шиятову за научную идею и исследовательскую мотивацию, Ю. С. Трубникову за помощь в сборе экспериментального материала. Исследования выполнены при поддержке Государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № 122021000083-7. Методологические аспекты и инструменты анализа данных разработаны в рамках проекта Российского научного фонда (проект № 22-76-10042).

Для цитирования:

Григорьев А. А., Вьюхин С. О., Шубницина Е. И., Шалаумова Ю. В., Басманов А. А., Богачёв М. И. Отклик древесной растительности западного макросклона Приполярного Урала на современное потепление климата // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 7–34. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-7-34

Original Article

RESPONSE OF THE TREELINE OF THE WESTERN RIDGES OF THE SUBPOLAR URALS TO CURRENT CLIMATE CHANGE

© CC BY A. Grigoriev¹, S. Vyukhin², Shubnitsina E.I.³,
Y. Shalaumova⁴, A. Basmanov⁵, M. Bogachev⁶

¹ Institute of Plant and Animal Ecology (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)
Yekaterinburg, Russian Federation

e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

² Institute of Plant and Animal Ecology (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)
Yekaterinburg, Russian Federation

e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7173-4878

³ National Park «Yugyd Va»

Komi Republic, Vuktyl, Russian Federation

e-mail: shub07@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6198-7281

⁴ Institute of Plant and Animal Ecology (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)
Yekaterinburg, Russian Federation

e-mail: jyshalaumova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

⁵ St. Petersburg Electrotechnical University «LETI»

St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: aabasmanov00@gmail.com; ORCID: 0009-0009-8063-7987

⁶ St. Petersburg Electrotechnical University «LETI»

St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: mibogachev@etu.ru; ORCID: 0000-0002-0356-5651

Received 17.03.2025

Revised 16.08.2026

Accepted 12.09.2025

Abstract

Aim. This work aimed to qualitatively and quantitatively evaluate alterations in forest land cover and the transformation of woody vegetation at the upper limit of its growth within the western ridges of the Subpolar Urals.

Methodology. Permanent sample plots were established on different slopes within the upper forest ecotone, encompassing a total of 750 trees across an area of 2,32 ha. Repeated landscape photography of woody vegetation was carried out from the same point. A comparative analysis of the spatial and altitudinal distribution of the forest vegetation was conducted using aerial photographs and satellite multispectral imagery acquired between 1963 and 2022. Corresponding treeline positions were determined using GIS. Based on the tree-ring data and allometric equations relating tree phytomass to diameter, we reconstructed annual phytomass accumulation and analyzed tree radial growth dynamics over the past century.

Results. It has been established that a shift in the upper boundary of open forests into mountain tundra communities occurred on the western ridges of the Subpolar Urals over the past 50–70 years. The most intense cumulative change in total aboveground phytomass occurred during the last century, particularly after the 1950s. In recent decades (from the 1990s to the present), there has been an increase in radial growth of trees of all ages. However, the expansion and transformation of woody vegetation during the last century occurred at a slower pace than in other previously studied parts of the Urals (the Southern, Northern, and Polar Urals). This can be explained by an increase in the amount of solid precipitation and later dates for the melting of snow cover.

Research implications. Our results are indicative of the climate transformations in high-rise ecosystems of the Subpolar Urals.

Keywords: climate change, growth dynamics, tree phytomass, treeline, geoinformation technologies, Ural Mountains

Acknowledgements. This work was conducted as a part of a collaboration between the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and the Yugyd Va National Park. The authors express their sincere gratitude to Professor S. G. Shiyatov for the scientific concept and for inspiring this research, and to Yu. S. Trubnikov for assistance with collecting experimental data. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under State Assignment no. 122021000083-7. Methodological aspects and data analysis tools employed in this research were partly developed under the support of the Russian Science Foundation (project no. 22-76-10042).

For citation:

Grigoriev A. A., Vyukhin S. O., Shubnitsina E. I., Shalaumova Yu. V., Basmanov A. A., Bogachev M. I. Response of the treeline of the western ridges of the Subpolar Urals to current climate change. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 7–34. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-7-34

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения климата в последние десятилетия стала неотъемлемой частью научных дискуссий [11; 28]. Известно, что начиная с 1850 г. каждое из четырёх последних десятилетий было более тёплым по сравнению с любым предшествующим десятилетием. Масштабы происходящих изменений в климатической системе в целом, а также нынешнее состояние многих компонентов климатической системы,

являются беспрецедентными для периодов от многих столетий до многих тысяч лет [11]. Одним из последствий данного процесса является расширение ареалов древесных и кустарниковых видов в Арктике, криолитозоне и в горах [2; 30; 44]. Именно в этих экстремальных условиях растительность чутко реагирует на изменения условий среды и поэтому имеет индикаторное значение [2; 34; 43]. Неоднократно показано, что в последние десятилетия практически во всех горных системах мира и

на всех континентах планеты происходило стремительное продвижение древесной растительности в тундровые и альпийские сообщества [20; 22; 26]. Однако в отдельных горных регионах смещение границы леса не фиксируется даже при заметном потеплении, что связывают с сочетанием локальных топографических и микроклиматических ограничений [38].

Одним из наиболее исследованных и перспективных в данном отношении регионом являются Уральские горы [18; 49]. Эта горная страна протянулась с севера на юг от берегов студёного Карского моря до среднеазиатских степей и полупустынь практически на 3000 км, что позволяет исследовать процессы климатогенной трансформации высокогорных экосистем в разных широтах, но в пределах одной горной системы.

В пределах нескольких природных областей Урала (Южного, Северного, Приполярного и Полярного) существует важный биогеографический рубеж – климатически обусловленная верхняя граница древесной растительности, выше которой распространены горные тундры [4]. На Южном и частично Северном Урале граница леса сформирована из ели сибирской *picea obovata* L. Постепенно, по мере продвижения с юга на север, ель сменяется лиственницей сибирской *larix sibirica* L.; на Приполярном и Полярном Урале на верхнем пределе произрастания древостоя она уже является доминирующим видом [4; 49].

Значительный вклад в изучение динамики верхней границы леса и сопряжённых с этим природных процессов на Урале внесли профессор С. Г. Шиятов и его ученики – участниками созданной им уральской научной школы дендрохронологов [16]. По результатам многочисленных исследований, начиная с 1960-х гг., приведены убедительные доказательства значительных изменений в составе, структуре, фитомассе и высотном положении древостоев верхней границы леса в горах Урала, произошедших с начала XX в. по настоящее время [18; 49]. Установлены значительные сдвиги верхних пределов лесов в сообществах горных тундр на Южном, Северном, Приполярном и Полярном Урале [6; 16;

19; 49]. Показано, что существует тенденция ускорения данных процессов [27].

Известно, что значительное влияние на климат Уральских гор оказывают преобладающие северные – северо-западные ветра и осадки, особенно в северной части Урала, которых на западном макросклоне аккумулируется больше, чем на восточном [8]. Высказывались мнения, что именно по этим причинам положение верхней границы леса на западном макросклоне в среднем на 100 м ниже, чем на восточном [14]. До настоящего времени в основном все исследования динамики верхней границы леса проводились либо в центральных частях горной страны, либо на восточном макросклоне Урала. Западный макросклон Уральских гор и верхняя граница леса, особенно в северных широтах, на большей части Урала не исследовались, либо проведённые исследования носили исключительно описательный характер.

Одним из наименее изученных районов Урала до сих пор является Приполярный Урал. Эта горная провинция наиболее труднодоступна, и имеет свои отличительные природные (как геоморфологические, так и климатические) особенности.

Цель работы: выявление и количественная оценка пространственно-временных сдвигов верхних границ распространения древесной растительности и её трансформации на западном макросклоне Приполярного Урала (на примере хр. Сабля и г. Сундук).

Приполярный Урал – наиболее высокая, труднодоступная, характеризующаяся большим количеством осадков (до 1500 мм на западном макросклоне) горная провинция Урала. Благодаря своеобразию орографии и ландшафтно-климатических особенностей, Приполярный Урал в 1927 г. был выделен Североуральской экспедицией Академии наук в особый район Уральских гор. В настоящее время к Приполярному Уралу относят участок Уральских гор, протяжённостью около 240 км между верховьями р. Хулга и широтным участком течения р. Щугор (65°40' – 64°00'). В административно-территориальном отношении Приполярный Урал является частью Республики Коми (западный склон) и Ханты-Мансийского автономного окру-

га (восточный склон). Приполярный Урал в значительной степени отличается от других районов Урала (максимальными для всего Урала высотами основных горных хребтов, шириной горной полосы и количеством выпадающих осадков). Вследствие, своей сильной расчленённости территории (с колебаниями относительных высот до 500–1000 м), ярусности рельефа и широкого развития альпийских форм, в зимнее время здесь происходит неравномерное распределение снега по элементам рельефа. В пределах Приполярного Урала находятся самые высокие вершины Уральских гор. Ещё одно важное отличие Приполярного Урала от Полярного, и особенно от Северного, состоит в том, что это не узкая полоса с горным рельефом, а настоящая горная страна, в центральной части которой Уральский хребет расширяется до 150 км [10].

Упомянутые в введении горный массив – хр. Сабля (максимальная высота – 1425 м) и г. Сундук (максимальная высота – 1137 м) расположены в западной части Приполярного Урала (64,932436°, 58,818724°; 64,713086°, 59,295942°). Особенностью этих массивов является то, что они представлены первыми меридиональными гребнями на пути западных воздушных масс, а в геоморфологическом отно-

шении отличаются несвойственным для Уральских гор альпинотипичным характером рельефа и крайней труднодоступностью [3; 5; 15; 34].

Район исследований входит в заповедную (Саблинский хребет) и особо охраняемую (г. Сундук) зоны Национального парка «Югыд ва». Здесь ранее не велась промышленная деятельность: геологоразведка и/или добыча полезных ископаемых. Расстояние до ближайшего города по прямой (г. Печора) составляет более 60 км.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе реализации данного исследования применялся комплекс методов: анализ материалов дистанционного зондирования, повторное сравнение фотоснимков, лесотаксационный, дендрохронологический и статистическая обработка собранных данных.

Данные дистанционного зондирования

Оценка сдвигов верхней границы редколесий (ВГР) с сомкнутостью крон 10–20% проводилась путём сравнительного анализа аэрофотоснимков 1963 г. и спутникового изображения 2025 г. В геоинформаци-

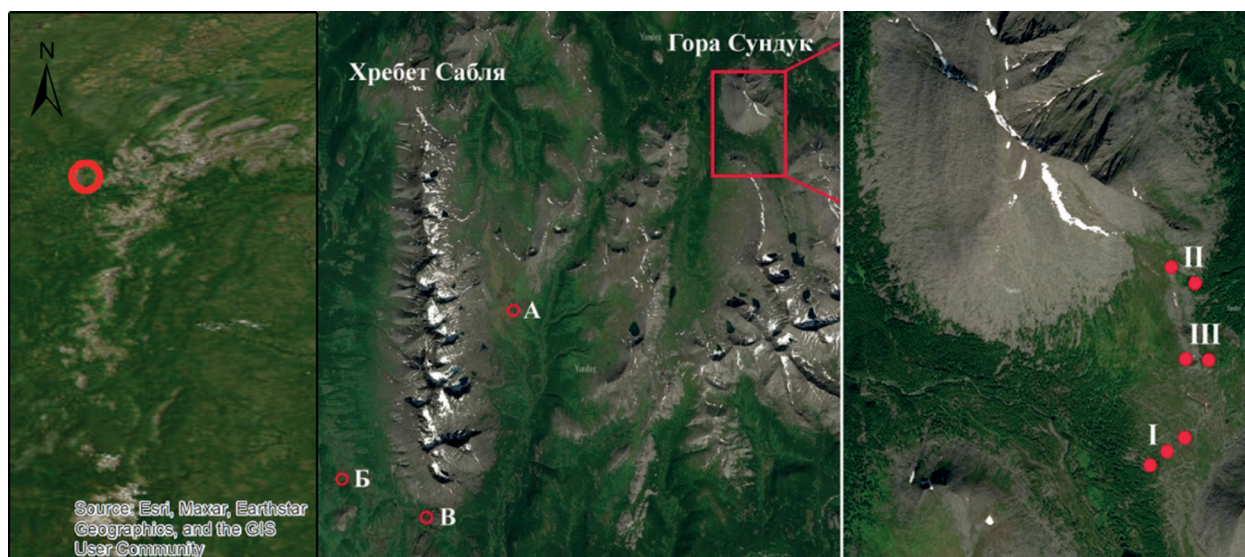


Рис. 1 / Fig. 1. Карта-схема района исследования: А, Б, В – места расположения разновременных пейзажных фотоснимков; I, II, III – места расположения высотных профилей / Map of the study area: A, B, B – locations of landscape photographs taken at different times; I, II, III – locations of elevation transects

Источник: составлено авторами

онной системе ArcGIS (ESRI Inc., США) эти данные были совмещены с цифровой моделью рельефа разрешения 2×2 м (ArcticDEM v.4.1), после чего вручную оцифрованы исторические и современные границы распространения редколесий. Область сдвига ВГР была разделена на участки с сильным и слабым влиянием эдафических ограничений (заболачивание, отсутствие почвенного покрова). Высотное положение ВГР (минимальное, максимальное, среднее ± среднее квадратическое отклонение) оценивалось по значениям ячеек цифровой модели рельефа, находящихся на линиях, очерчивающих распространение редколесий. Разница средних значений для исторической и современной ВГР рассчитывалась в каждом анализируемом сегменте, учитывающем разделение по распространению каменистых россыпей, для которой затем вычислялось взвешенное среднее по площади. При анализе горизонтального продвижения ВГР использовалась функция оценки евклидова расстояния. Расстояние измерялось от линии, очерчивающей границу редколесий в начале исследуемого периода, до линии их современного распространения. На основе полученных результатов определяли медиану величины сдвига. При этом участки без выраженных эдафических ограничений позволяют получить более точную оценку скорости сдвига ВГР, обусловленную преимущественно климатическими изменениями. Оценка площади экспансии редколесий выполнена по данным цифровой модели рельефа с применением метода билинейной интерполяции (при вычислении используются значения четырёх ближайших ячеек).

С целью выявления наиболее благоприятных условий для продвижения ВГР в высокогорьях были рассмотрены факторы среды, которые могут оказывать существенное влияние. Область сдвига ВГР разделили на участки в соответствии с грациями морфометрических (рассчитанных по цифровой модели рельефа) и климатических (полученных с платформы Google Earth Engine) параметров. Экспозиция склонов подразделялась на группы по 45°: северная (С, 337,5–22,5°), северо-восточная (СВ, 22,5–67,5°) и т. д. Кру-

тизна склонов была разбита на категории в диапазоне от 0 до 90° с шагом 10°. Для оценки продолжительности залегания снега использовался нормализованный разностный индекс снега – NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) [37] (набор данных MODIS/061/MOD10A1). За период с 01.01.2018 по 01.06.2023 рассчитывались медианные значения NDSI, а затем полученный диапазон был разделён на интервалы, начиная со значения ≤ 44 до 72 с шагом 4. Оценка распределения облачности, оказывающей заметное влияние на величину поступающей солнечной радиации для древесной растительности, проводилась с помощью индекса облачности (набор данных COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CLOUD). Индекс оценивался по медианам за тот же период, что и NDSI, но в данном случае диапазон значений с 0,61 до 0,66 был разделён на группы с шагом 0,01.

Информация о состоянии растительного покрова получена по данным дистанционного зондирования Земли со спутников Landsat 4...9 [47], доступным для района г. Сундук с 1985 г. за июль и август. Использовались данные отражения верхней границы атмосферы (TOA), прошедшие относительную радиометрическую коррекцию, а также данные температуры поверхности (LST). Спектральные каналы и производные индексы применялись для оценки межгодовой динамики вегетационного состояния, тогда как LST рассматривалась как дополнительная характеристика поверхности, отражающая различия в тепловом и влажностном режиме экотона. Для относительной коррекции в качестве эталона было выбрано одно атмосферно скорректированное изображение Landsat 7 с минимальным содержанием облаков (ID: LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_168015_20010717), относительно которого были скорректированы все остальные с использованием метода сопоставления псевдоинвариантных признаков (Pseudo-Invariant Feature Matching, PIF) [39]. Псевдоинвариантные пиксели отбирались с помощью меры сходства между спектрами Spectral Angle Mapper (SAM) по порогу ниже 10-го перцентиля [40]. Обработка данных выполнялась на платформе Google Earth Engine [33].

Повторная ландшафтная фотосъёмка

Предварительно была проведена работа по поиску исторических снимков в архивах, у исследователей, в музеях Института экологии растений и животных УрО РАН, Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Института геологии Коми НЦ УрО РАН. В данном исследовании были использованы исторические снимки экспедиций прошлых лет, сделанные в окрестностях южной части хребта Сабля и у ледника Гофмана: 1929 г. — А. Н. Алешков, 1951 г. — М. В. Фишман, 1954 г. — П. Л. Горчаковский и С. Г. Шиятов. Обязательными условиями для данных работ было соответствие времени года и нахождение точного места прежней съёмки, с которого производился повторный снимок. В общей сложности было получено более 20 пар повторных снимков.

Морфологическая и возрастная структура древостоев

Осенью 2023 г. на склонах г. Сундук было заложено 3 высотных профиля, ориентированных по следующим сторонам света: I — юго-западный, II — юго-восточный, III — восточный, на месте произрастания древесной растительности, не включающих участки каменистых россыпей (рис. 1). На каждом склоне было заложено от 2 до 3 высотных уровней, в зависимости от наличия древостоев определённой сомкнутости. Главным критерием при выделении высотных уровней являлись высота произрастания древостоев и сомкнутость крон.

На юго-западном склоне фиксировалось 3 высотных уровня: 1 — на границе отдельных деревьев в тундре, 2 — на границе распространения редколесий, 3 — на границе распространения сомкнутых лесов. На юго-восточном (профиль II) и восточном (профиль III) склонах фиксировалось 2 высотных уровня: 1 — на границе отдельных деревьев в тундре, 2 — на границе распространения сомкнутых лесов. На каждом высотном уровне закладывались либо круговые пробные площади размером 0,0227 га, либо, если деревья были сильно разрежены (верхние высотные уровни) — прямоугольные полигоны размером от 0,18 до 1,1 га. На каждой

пробной площади и полигоне фиксировалось точное местоположение каждого дерева, диаметр у основания, диаметр на высоте 1,3 м, диаметр кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, возраст, высота и жизненное состояние [27].

Возраст деревьев определялся путём взятия радиальных кернов древесины у основания ствола дерева с последующей их обработкой в лабораторных условиях. Керны древесины были наклеены на деревянные основы и зачищены опасным лезвием. Для лучшей визуализации годичных колец керны были пигментированы зубным порошком. Все образцы были измерены на полуавтоматической установке *Lintab 5* с точностью до 0.01 мм.

Дальнейшая обработка проводилась согласно общепринятым методам дендрохронологии [12]. Для выявления ложных и выпадающих колец была построена обобщённая древесно-кольцевая хронология для района исследований, в сравнении с которой проводилась датировка индивидуальных древесно-кольцевых хронологий. С целью определения поправки на высоту бурения были исследованы ход роста деревьев в молодом возрасте. При обследовании радиальных кернов древесины спилов деревьев, визуальном осмотре стволов деревьев было установлено, что исследуемые древостои за последние как минимум 450 лет не подвергались пожарам, так как следы от повреждения пожаром отсутствовали. В общей сложности на заложенных высотных профилях были исследованы 750 деревьев, на общей площади 2,32 га.

Поскольку наиболее распространённым древесным видом на исследованных пробных площадях была *Larix sibirica*, дальнейший анализ в настоящей статье приводится по этому виду. Менее распространённый древесный вид — *Betula tortuosa*, единично встречаются *Abies sibirica*, *Picea obovata*, в подлеске — *Juniperus sibirica* Burgsd.

Оценка динамики формирования надземной фитомассы и радиального роста деревьев и древостоев

Для оценки запасов надземной фитомассы лиственничного древостоя были использованы ранее полученные регрессионные уравнения зависимости надзем-

ной фитомассы от диаметра у основания ствола для экотона лес-горная тундра на Приполярном Урале [35]: для верхних уровней $y=0.016 x^{2.63}$; для средних уровней $y=0.014 x^{2.75}$; для нижних уровней $y=0.013 x^{2.75}$. Статистические параметры уравнений были рассчитаны отдельно для каждого высотного уровня: верхней границы редины, редколесий и сомкнутых лесов.

Для оценки погодичного изменения запасов надземной фитомассы были использованы значения ширины годичных колец отобранных образцов. При помощи полученных формул был рассчитан запас фитомассы для каждого календарного года в экотоне лес – горная тундра, переведённый на площадь. В дальнейшем был проведён расчёт накопленной фитомассы для каждого высотного профиля погодично в течение последнего столетия.

Поскольку изменение динамики прироста обусловлено множественными факторами, включая изменения возрастной структуры леса, климатические изменения, особенности локальных условий местообитания и др. [12], был выполнен детализированный анализ динамики относительных локальных трендов $x = \Delta y/\sigma$, где Δy – абсолютное увеличение годичного прироста, σ – стандартное отклонение годичного прироста за интервал анализа [25]. Оценки относительных трендов x , полученные для древесно-кольцевых хронологий каждого дерева, нормировались к аналогичным оценкам для модельных рядов данных равной длительности с типичными показателями инерционности прироста. При этом в качестве типичной модели инерционности использовалось консенсусное значение показателя Хёрста, полученное в предыдущих дендрохронологических исследованиях для многолетних наблюдений $H=1,0$ [46] по методике, аналогичной описанной в работах [29; 42].

Для уточнения климатически обусловленных факторов прироста в дальнейшем выполнялось декомпозиция динамики годичного прироста (TRW) и, соответственно, её локальных трендов на основные компоненты:

$$TRW = X_{age} + X_{clim} + X_{local},$$

представляющие возрастные изменения, климатически обусловленные и прочие, связанные с локальными условиями местообитания, которые не могут быть отнесены к первым двум группам факторов.

Для оценки возрастной кривой динамики использовалась стандартная методика с выравниванием древесно-кольцевых хронологий по возрасту и усреднением для каждого вида и местообитания. Для выделения климатически обусловленных флуктуаций динамики прироста выполнялась их реконструкция на основе частных корреляций с климатическими колебаниями по методике, описанной в [41]. Реконструкция выполнялась в форме непараметрической байесовской сети [13; 48] с помощью программного инструментария BANSHEE [24], разработанного специалистами Потсдамского института климатических исследований (PIK).

При построении реконструкции делались следующие допущения:

- возрастные изменения полагались универсальными для заданного вида деревьев, но пропорционально масштабируемыми (с сохранением формы возрастной кривой) в зависимости от иных факторов (локальных условий местообитания на разных площадках, а также климатических флуктуаций);

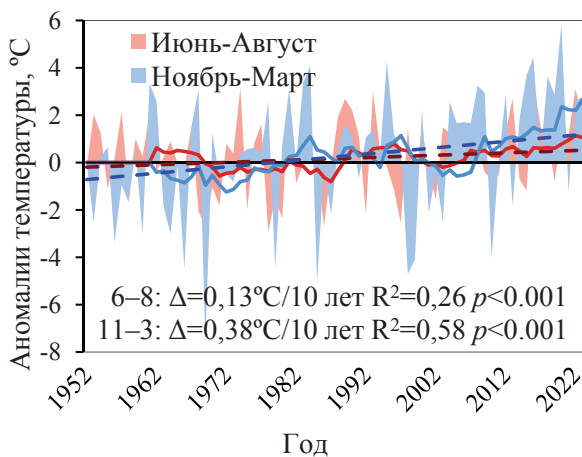
- в качестве входных параметров модели использовались показатели среднесезонной температуры и индекса засушливости Палмера за 10 сезонов, включающих и предшествующих сезону анализируемого прироста (всего 20 переменных), общие для всех исследованных участков;

- влияние климатических флуктуаций на относительную динамику прироста определялось взаимными корреляциями Спирмена, статистически накопленными для деревьев каждого из исследуемых видов. Подобный подход отражает возможное масштабирование абсолютного прироста на фоне различий локальных условий местообитания, но с сохранением относительного характера взаимосвязей.

Климатические данные

Оценка климатических условий в регионе исследования проводилась по данным АМСГ «Печора» (индекс 23418, 65°07' с.ш.,

57°06' в.д., абсолютная высота — 53 м), расположенной в 90 км от изучаемых объектов. Динамика температуры приземного воздуха проанализирована за период 1952–2023 гг., скорректированных суммарных осадков — за период 1944–2015 гг. Корректировка данных о количестве осадков учитывала поправки на смачивание и смену приборов. Исходные данные взяты из базы данных Росгидромета России¹. Для анализа климатических данных рассматривались тёплый (июнь–август) и холодный (ноябрь–март) сезоны. Выбор тёплого периода соответствовал фазе наиболее активного роста древесно-кустарниковой растительности на исследуемых участках, когда дневные температуры превышают 5°C. К холодному периоду относились месяцы со средней температурой воздуха ниже 0°C и относительно стабильной высотой снежного покрова. Аномалии климатических параметров в тёплый и холодный периоды каждого года определялись по отклонению текущего значения от среднего за базовый период 1961–1990 гг. Далее вычислялись ряды скользящих средних значений за 10-летний период, на основе которых были получены модели линейной регрессии для оценки трендов климатических параметров.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ климатических изменений

Анализ рядов инструментальных наблюдений на ближайшей к хр. Сабля и г. Сундук метеостанции за более чем 70-летний период показал выраженные тенденции потепления и увлажнения климата (рис. 2). В холодное время года повышение средней температуры воздуха было практически в 3 раза больше, чем в тёплый период (0,38°C / 10 лет и 0,13°C / 10 лет). Обратная тенденция наблюдается для показателя суммарного количества осадков, увеличение которого в тёплом сезоне двукратно превысило аналогичные значения холодного сезона (8,4 мм / 10 лет и 3,4 мм / 10 лет).

Количественная оценка пространственно-временного сдвига верхней границы редколесий

Анализ продвижения верхней границы редколесий на г. Сабля показал, что доля участков, выше которых наблюдается широкое распространение каменистых россыпей или заболоченных участков, составляет в 1963 и 2024 г. 39 и 32% (рис. 3) и оказывает сдерживающее воздействие на расселение деревьев. На склонах с таким

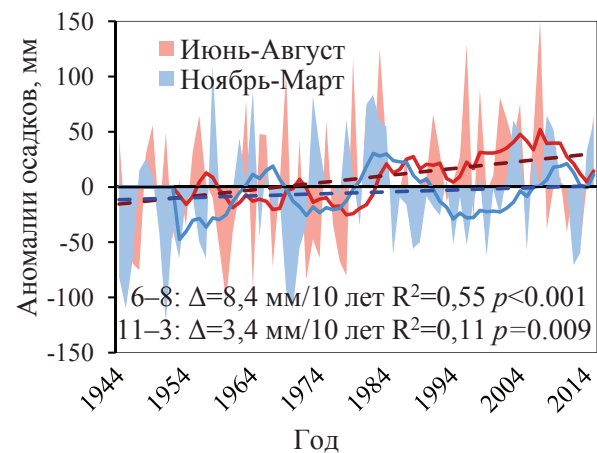


Рис. 2 / Fig. 2. Аномалии средней температуры воздуха и суммарных осадков для тёплого (июнь–август, показаны красным) и холодного (ноябрь–март, показаны синим) периодов на метеостанции «Печора» (а, б). Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1961–1990 гг. Сплошной линией обозначено 10-летнее скользящее среднее, пунктиром — тренд линейной регрессии / Anomalies of mean air temperature and total precipitation for the warm (June–August, shown in red) and cold (November–March, shown in blue) periods at the Pechora weather station (a, b). Anomalies are calculated relative to the base period of 1961–1990. The solid line indicates the 10-year moving average, and the dotted line represents the linear regression trend

Источник: составлено авторами

¹ Росгидромет России: [сайт]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/opendata> (дата обращения: 25.10.2025).

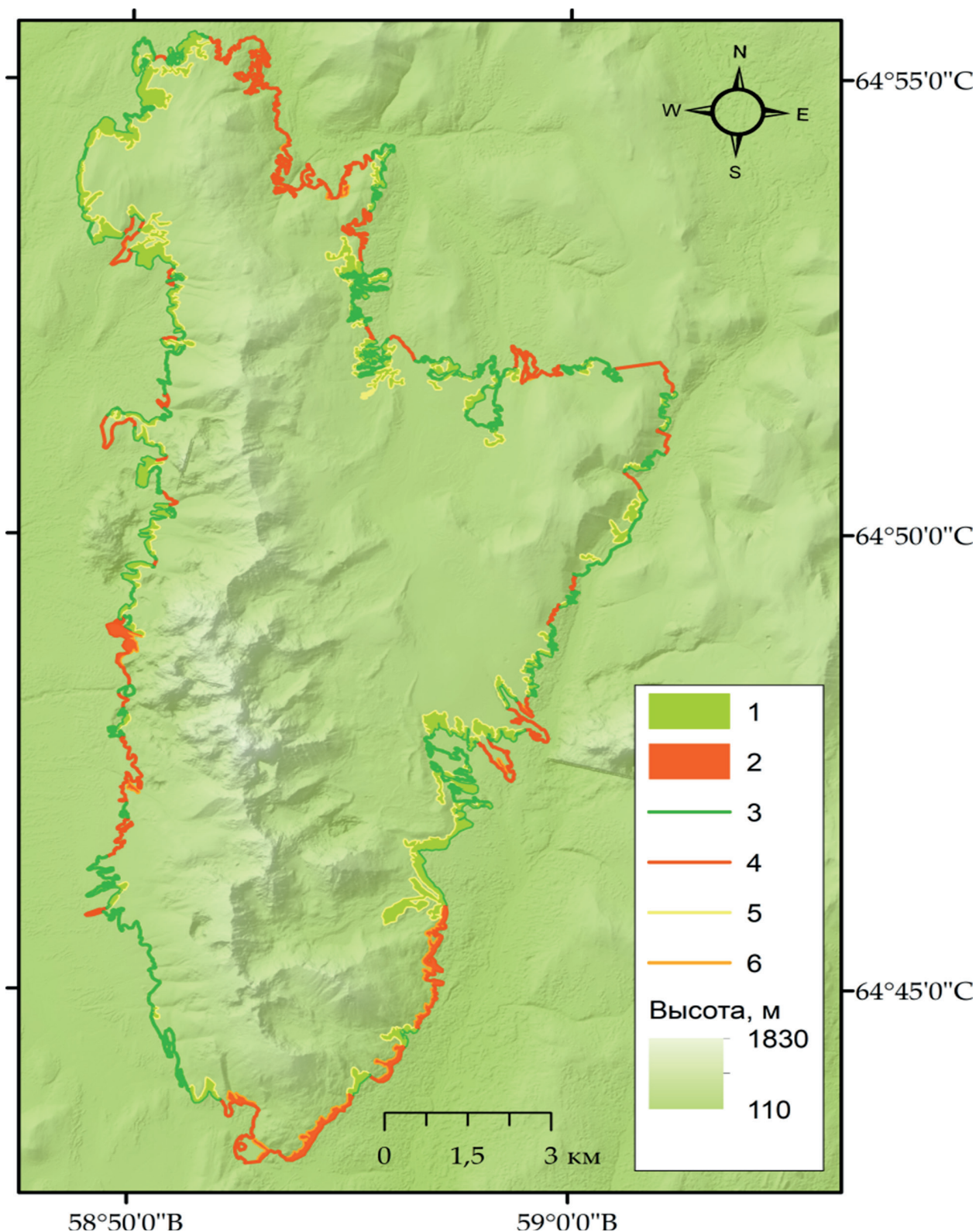


Рис. 3 / Fig. 3. Площадь продвижения верхней границы редколесий (1 и 2) и её высотное положение в 1963 (3 и 4) и 2024 гг. (5 и 6) на г. Сабля, Приполярный Урал (1, 3, 5 – на склонах без сильных эдафических ограничений; 2, 4, 6 – на склонах с сильными эдафическими ограничениями) / The area of shift of the upper open forest boundary (1 and 2) and its altitudinal position in 1963 (3 and 4) and 2024 (5 and 6) on Mount Sabylya, Subpolar Urals (1, 3, 5 – on slopes without strong edaphic restrictions; 2, 4, 6 – on slopes with strong edaphic restrictions)

Источник: составлено авторами

типом эдафических условий минимальное и максимальное значения высотного положения границы редколесий за прошедшие 63 года не изменилось, а среднее высотное положение ниже (до 38 м), чем на участках без заметных эдафических ограничений (табл. 1). При оценке динамики экспансии древостоев в горную тундру проведено сопоставление участков со слабой и сильной степенью распространения каменистых россыпей или заболоченности. Это сравнение показало, что на участках без выраженных эдафических ограничений превышение показателей сдвига по вертикали и горизонтали составило 9 и 1,6 раза соответственно. Скорость сдвига для типа ВГР без эдафических ограничений достигает 2,3 м / 10 лет по вертикали и 9,1 м / 10 лет по горизонтали. Общая площадь продвижения границы редколесий составила 471,8 га. На участках с незначительным распространением каменистых россыпей или заболоченных участков редколесья продвигались в основном по склонам южной и юго-западной экспозиции (34%), с крутизной $\leq 10^\circ$ (55%), значением NDSI (нормализованный разност-

ный индекс снега) 56–64 (72%), индексом облачности 0,64–0,65 (28%), тогда как при сильных эдафических ограничениях преобладали северные и северо-восточные склоны (42%), с большей крутизной 10–20° (38%), значением NDSI 52–60 (60%), индексом облачности 0,64–0,65 (45%).

Полученные повторные фотоснимки наглядно демонстрируют, что за последние 75–70 лет в районе Саблинского хребта произошли определённые изменения в распределении лесопокрываемых площадей (рис. 4). За рассматриваемый временной интервал произошло определённое смещение границы распространения древесной растительности вверх по склонам, а также увеличение плотности и морфометрических параметров произраставших ранее древостоев.

Наиболее заметные изменения произошли на относительно пологих, лучше дренированных, более сухих участках склонов и на возвышениях. Не произошло сдвига границы леса на сильно каменистых участках и распространённых в значительном количестве на хр. Сабля заболоченных участках склонов.

Таблица 1 / Table 1

Изменение высотной позиции верхней границы редколесий на г. Сабля, Приполярный Урал за период 1963–2024 гг. / Changes in the altitude of the upper boundary of sparse forests on Mount Sablya, in the Subpolar Urals, over the period 1963–2024

Параметр	Тип верхней границы		
	Склоны без сильных эдафических ограничений	Склоны с сильными эдафическими ограничениями	
Высотное положение	минимальное, м	с 299 до 336	с 307 до 307
	максимальное, м	с 610 до 624	с 680 до 680
	среднее, м	с 489±47 до 497±44	с 457±69 до 459±67
Вертикальный сдвиг	среднее, м	14,4	1,6
	скорость, м/ 10 лет	2,3	0,3
Горизонтальный сдвиг	медиана, м	56,6	35,4
	скорость, м/10 лет	9,1	5,7
Площадь продвижения границы редколесий	значение, га	391,5	80,3
	скорость, га/10 лет	63,2	13,0

Источник: составлено авторами

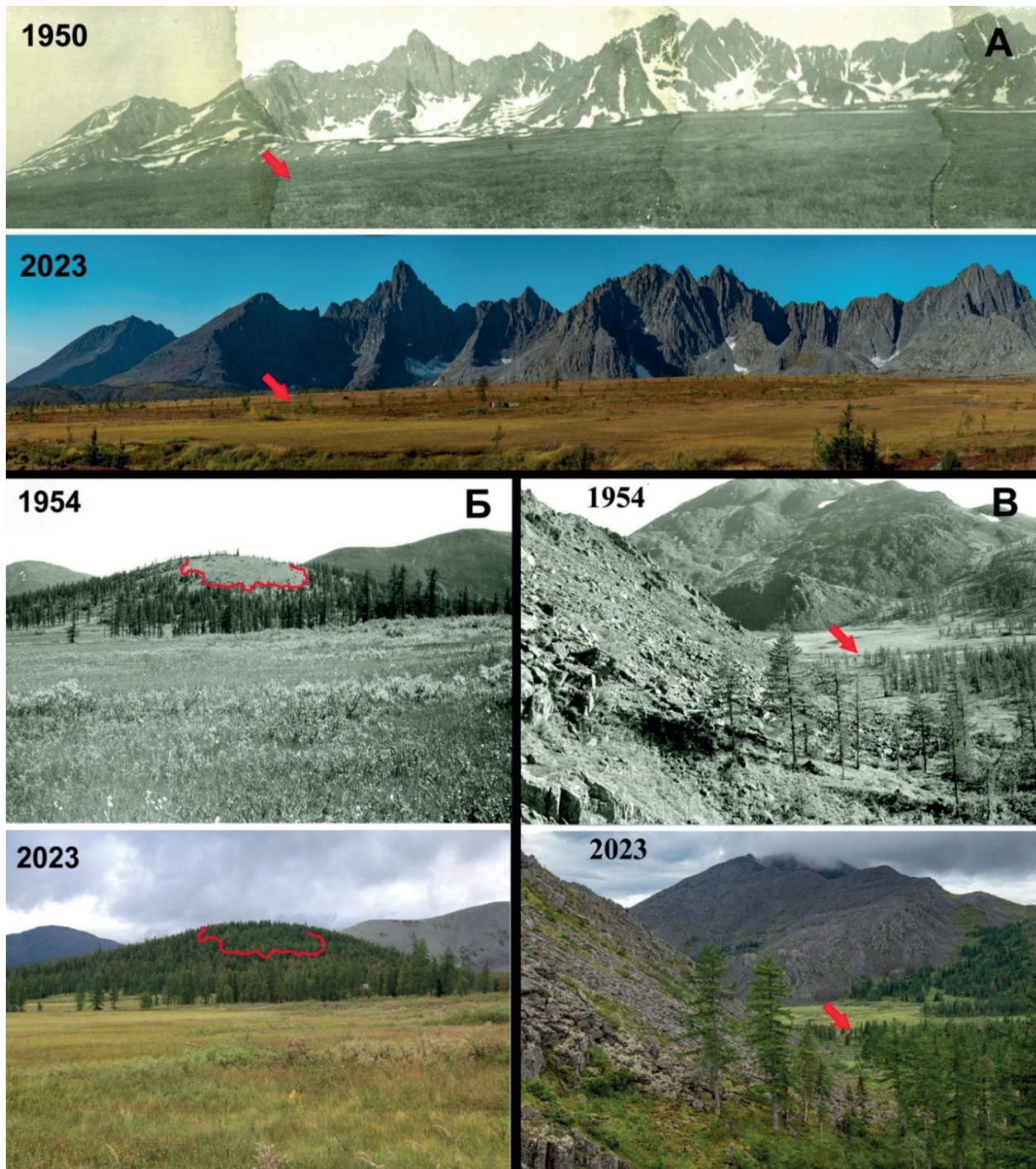


Рис. 4 / Fig. 4. Разновременные фотоснимки, сделанные на хр. Сабля / Photographs taken at different times on Mount Sablya, Subpolar Urals

Источник: 1950 г. — фото М. В. Фишмана, 1954 г. — фото П. Л. Горчаковского, 2023 г. — фото А. А. Григорьева, Ю. С. Трубникова

Морфологическая и возрастная структура древостоев

На заложенных высотных профилях по мере продвижения в гору (по мере ухудшения условий для роста) наблюдается закономерное уменьшение морфометрических параметров деревьев (табл. 2). Так,

средняя высота деревьев уменьшается в 2 раза, диаметр на 1,3 м в 2–3 раза, диаметр кроны в 1,5–2 раза. Особого внимания заслуживает уменьшение среднего и максимального возраста деревьев, причём наиболее значительные изменения наблюдаются при переходе от средней к верхней

Таблица 2 / Table 2

Средние морфометрические и площадные характеристики лиственничных древостоев на заложенных высотных профилях / Average morphometric and area characteristics of larch stands along established altitudinal profiles

Профиль и уровень	Экспозиция	Высота над ур.м.	Диаметр на 1.3 м (см)		Высота ствола (м)		Возраст (лет)		Диаметр кроны (м)		Проективное покрытие крон м ² /га	Отпад, шт./га	Густота, шт./га	
			Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.			<1.5м	>1.5м
1_1	SW	645	9.6±6.3	30.2	4.8±2.4	10.5	38±5	115	2.3±1.1	6.4	452	14	57	112
1_2		620	14.8±8.7	37.3	7.3±3.4	16.0	124±9	290	2.9±1.3	6.5	3973	18	44	625
1_3		610	18.6±7.7	41.7	8.8±3.3	15.0	167±12	347	3.0±1.2	6.0	5033	55	22	617
2_1	NE	660	8.5±1.1	22.9	4.3±2.1	8.7	45±5	117	2.2±1.1	6.2	126	2	32	25
2_2		584	27.4±14.1	57.3	11.9±4.6	19.0	153±12	371	4.7±2.2	9.5	12717	44	0	646
3_1	E	650	7.3±5.2	21	4.4±2.3	9.0	106±8	153	2.5±0.9	3.7	678	11	11	250
3_2		640	14.8±6.8	29.3	7.7±2.8	14.0	153±11	343	2.9±0.9	5.0	2579	79	f	510

Источник: составлено авторами

части экотона. Деревья, произрастающие на самых высоких позициях, отличаются значительно меньшим возрастом от деревьев, произрастающих на нижних уровнях. Площадные характеристики также изменяются (уменьшаются) по мере продвижения в гору – площадь проективного покрытия крон в 5–10 раз, густота деревьев в 2–20 раз.

Возрастная структура исследованных древостоев и история заселения склонов имеют значительные различия в зависимости от высоты их произрастания над уровнем моря и экспозиции (рис. 5). На юго-западном профиле на нижнем уровне первые лиственницы стали появляться ещё в середине XVII в. Этот процесс происходил без явных всплесков численности вплоть до XX в. На уровне «II» деревья стали появляться примерно на 100 лет позднее, а период наиболее массового возобновления деревьев пришёлся на вторую половину XX в. На верхнем уровне деревья стали появляться только в XX в., наиболее активно – во второй половине столетия.

На юго-восточном профиле на уровне «II» единичные деревья заселялись ещё в середине XVII в., более массово этот процесс стал происходить здесь в середине XVIII в. На верхнем уровне деревья появились в небольшом количестве только в XX в. Примерно схожим образом заселялись деревья лиственницы на III профиле.

Сделанные расчёты накопленной надземной фитомассы древостоев лиственницы свидетельствуют (рис. 6), что наибольший вклад в формирование надземной фитомассы в экотоне верхней границы леса г. Сундук вносят древостои, произрастающие на II уровне юго-восточного склона. Здесь к настоящему времени фитомасса достигает 250 т/га. Примерно равную (до 100 т/га) надземную фитомассу формируют древостои, произрастающие на III уровне юго-западного склона и II уровне восточного склона. Данные графического изображения свидетельствуют, что по мере продвижения с нижних уровней к верхним надземная фитомасса может различаться в 250 раз.



Рис. 5 / Fig. 5. Распределение количества деревьев по периодам их появления на заложенных высотных профилях / Distribution of the number of trees by periods of establishment along the elevation transects

Источник: составлено авторами

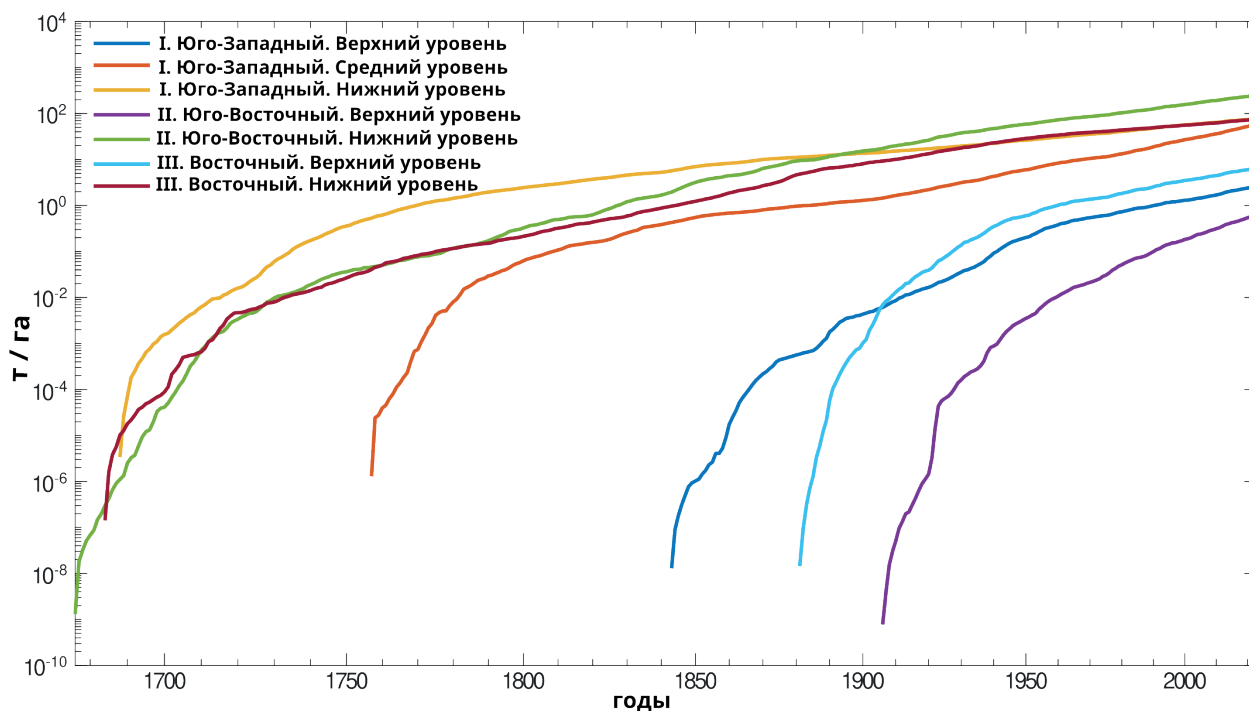


Рис. 6 / Fig. 6. Накопление надземной фитомассы лиственничных древостоев на заложенных высотных профилях / Accumulation of aboveground phytomass of larch stands on the elevation transects

Источник: составлено авторами

В целом, выявляется, что на исследованных склонах г. Сундук наиболее значительное увеличение фитомассы произошло в последнем столетии, причём накопление фитомассы за последние 4 десятилетия (1984–2023) было примерно в 2,5 раза выше, чем в 4 предыдущие десятилетия (1944–1983).

Изменение динамики радиального прироста на фоне возрастных и климатических изменений

Рассмотрим динамику среднего годового прироста деревьев по отдельным площадкам и в скользящем временном окне длительностью 5 лет (рис. 7). Для нижнего и среднего уровней залитыми символами отражены статистически значимые различия с верхним уровнем (U-тест Манна-Уитни, $p < 0,05$).

Из рисунка видно, что наблюдается увеличение интенсивности радиального прироста лиственницы с ~2000 г. по настоящее время, по крайней мере, для 2 из 3 профилей, причём интенсификация прироста статистически значимо более выражена на нижних уровнях. Также можно отметить циклический характер изменения динамики прироста, формирующий «пилообразный» сигнал с плечом порядка 5–10 лет, что в принципе достаточно часто наблюдается для хвойных пород [47].

Результаты оценки относительных трендов длительностью от 5 лет и более приведены на рисунке 8, при этом цветовая палитра ограничена $\pm 2/\sigma$, что соответствует 95% доверительному интервалу случайных флуктуаций процесса с $H=1,0$, соответствующего нулевой гипотезе (отсутствию статистически значимого внешнего фактора тренда). Из рисунка видно, что статистически значимые тренды наблюдаются для периодов прироста в начале XX в., предположительно обусловленные возрастными изменениями. В то же время визуальными выраженными трендами прироста в начале XXI в. лежат в пределах доверительного интервала, что предположительно обусловлено неоднородной возрастной структурой и связанным с этим значительным разбросом прироста отдельных деревьев.

Результаты анализа реконструкций климатически обусловленной составляющей относительных флуктуаций динамики годового прироста с использованием байесовского прогнозирования приведены на рисунке 9. Из рисунка видно, что из динамики прироста исключены ранее наблюдавшиеся возрастные тренды, однако проявляются выраженные климатически обусловленные тренды для большинства записей, захватывающих период начала XXI в. При этом для лиственницы на нескольких площадках наблюдается выход относительной динамики трендов за 95% доверительный интервал, что указывает на аномальное увеличение динамики прироста на фоне текущих климатических изменений по сравнению с консенсусными оценками, полученными по данным многолетних (в том числе палеодендрологических) исследований, отражающих типичную инерционность прироста хвойных пород деревьев с учётом их адаптивности к климатическим флуктуациям [42; 46].

Для сопоставления дендрохронологических оценок накопления надземной фитомассы с данными ДЗЗ использовали набор спектральных индексов, чувствительных к различным свойствам дневной поверхности. Как правило, спектральные индексы характеризуют экологически значимые свойства ландшафтов, индицируя биоклиматические условия [1]. В данной работе использованы такие индексы, как: *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) и *EVI* (*Enhanced Vegetation Index*) рассматривались как обобщённые показатели зелёной фитомассы и вегетационной активности; *NDMI* (*Normalized Difference Moisture Index*) – как показатель влагосодержания растительного покрова; *NBR* (*Normalized Burn Ratio*) и *NBR2* (*Normalized Burn Ratio 2*) – как индексы, чувствительные к древесной растительности и влажностным особенностям поверхности [50; 54]. *NDSI* использовали как индикатор снеговых условий; *MNDWI* (*Modified Normalized Difference Water Index*) [23; 53] – как индикатор переувлажнённых поверхностей; *VARI* (*Visible Atmospherically Resistant Index*) [32], рассчитываемый по каналам видимого диапазона, применяли как дополнительный показатель зелёности; *SLAVI* (*Specific Leaf Area*

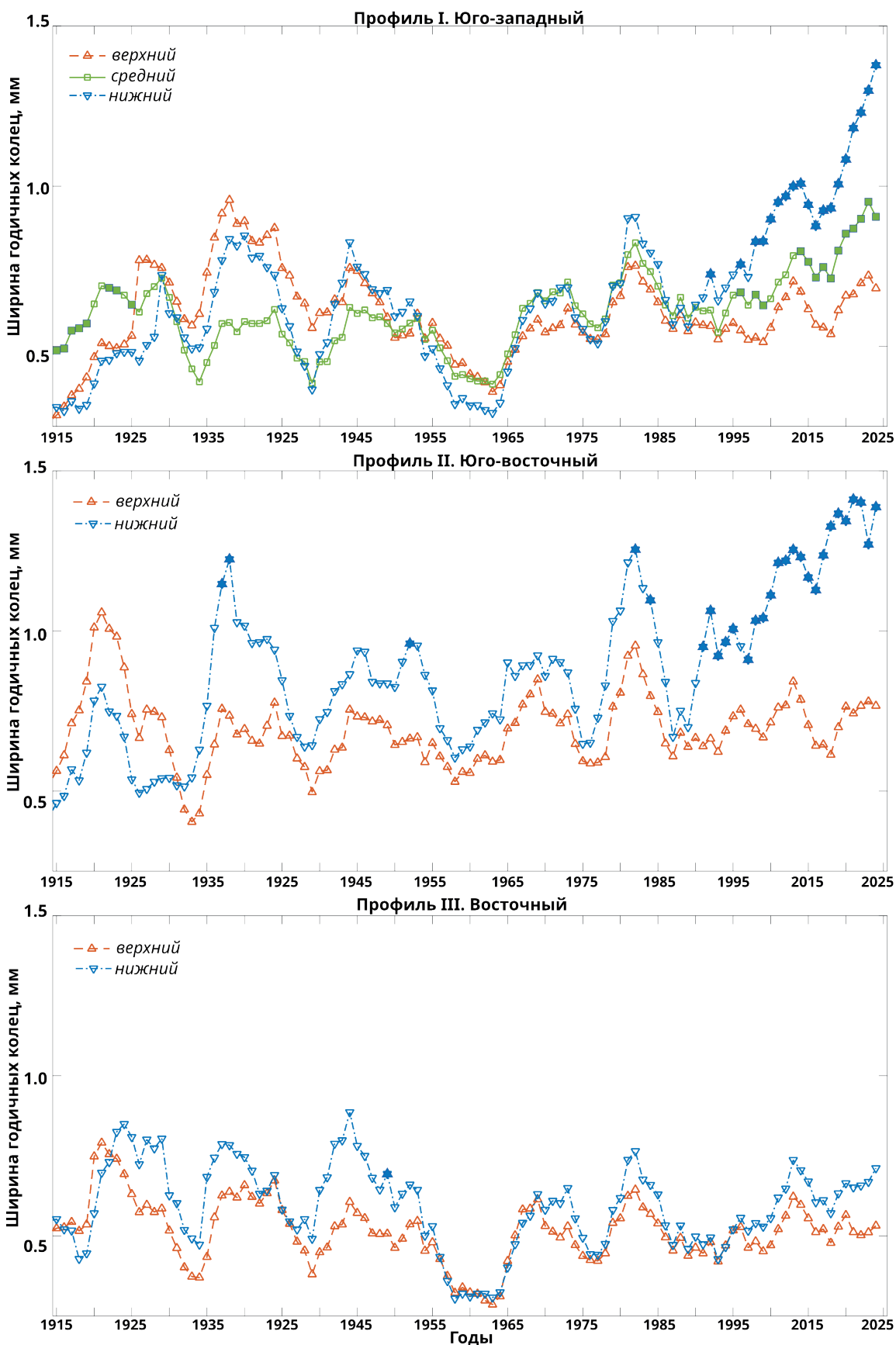


Рис. 7 / Fig. 7. Средний годичный прирост деревьев в XX–XXI вв. / Average annual growth of trees in the 20th–21st centuries

Источник: составлено авторами

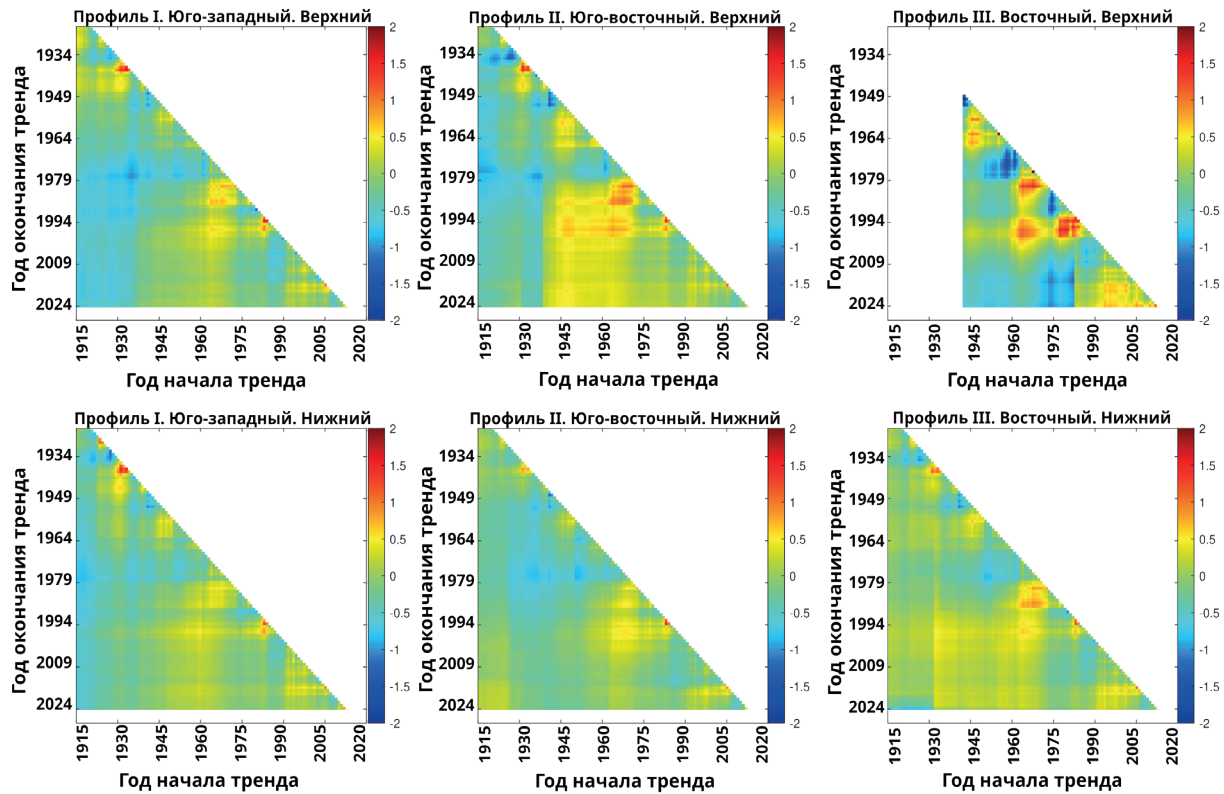


Рис. 8 / Fig. 8. Относительные тренды динамики годичного прироста (окраска соответствует относительным значениям тренда x , нормированного к среднеквадратическому отклонению аналогичных оценок для нулевой гипотезы, соответствующей отсутствию тренда) / Relative trends in the dynamics of annual growth (color indicates relative trends x normalized to its standard deviation in the absence of trends)

Источник: составлено авторами

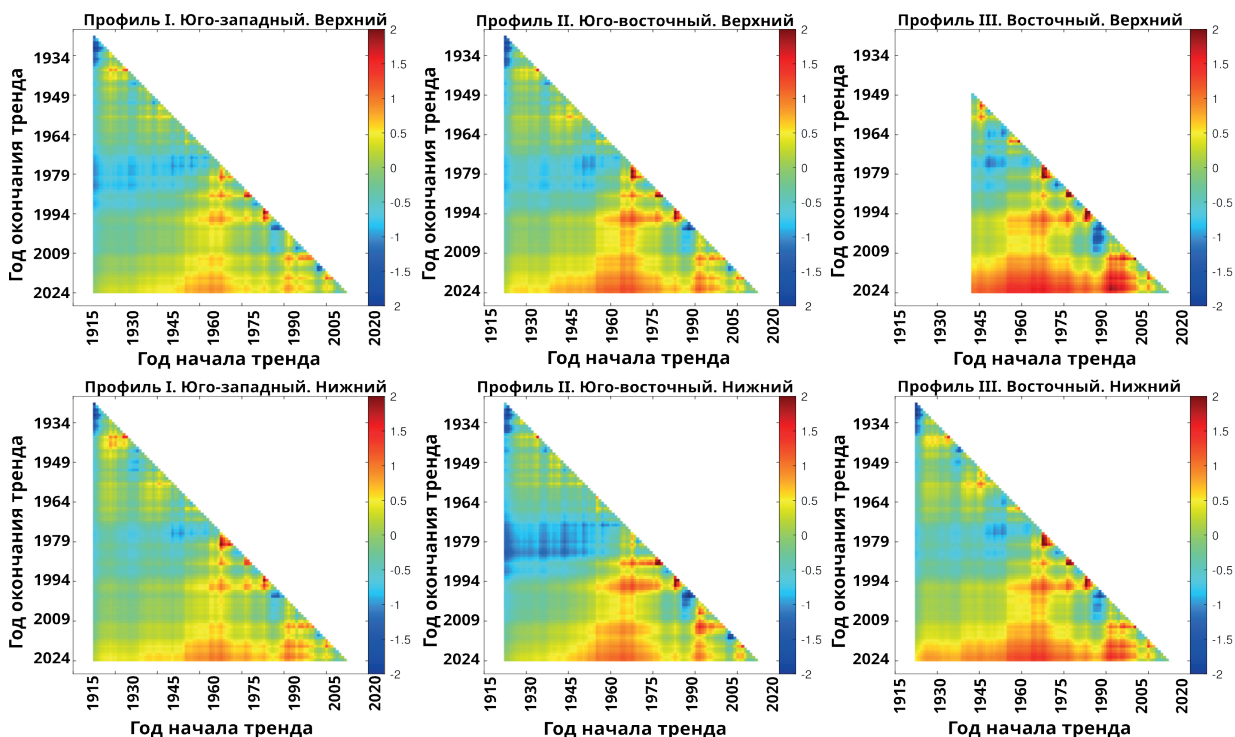


Рис. 9 / Fig. 9. Относительные тренды динамики годичного прироста x , обусловленные климатическими изменениями / Relative trends in the dynamics of annual growth of x , caused by climate change

Источник: составлено авторами

Vegetation Index) [36] — как индекс, связанный с удельной площадью листа и структурой покрова; *CVI (Chlorophyll Vegetation Index)* [52] — как показатель, чувствительный к содержанию хлорофилла.

На рисунке 10 приведено сопоставление стандартизованных среднесезонных значений индекса *NDVI* и стандартизованного годичного накопления надземной фитомассы, реконструированного по данным радиального прироста для каждого профиля. Для *NDVI* наблюдается согласие направленности многолетних трендов с динамикой накопления фитомассы. Анализ остальных индексов показал, что наиболее устойчивое совпадение трендов для всех профилей характерно для *NBR* и *NBR2*, а для *SLAVI*, *VARI* и *CVI* оно отмечено на большинстве профилей. Для *EVI* сходство выражено слабее. В целом это указывает на то, что увеличение древесной растительности в исследованном экотоне отражается в спутниковых данных достаточно устойчиво. В целом это означает, что увеличение древесной растительности

в исследованном экотоне устойчиво фиксируется по данным *Landsat*, причём наиболее отчётливо — индексами, чувствительными к фитомассе и влаге.

На рисунке 11 приведена матрица корреляций между характеристиками накопления надземной фитомассы по данным древесно-кольцевых хронологий и спутниковыми характеристиками поверхности. Для верхних профилей наиболее устойчивые положительные связи выявлены с каналом NIR и *NDVI*, *NBR*, *NBR2*, *NDMI*, *SLAVI* и *EVI*, тогда как с каналами видимого диапазона и, как правило, с каналом *SWIR2* связи отрицательные. Наиболее отчётливо эта закономерность выражена для верхнего восточного профиля, где получены максимальные коэффициенты корреляции с *NDVI*, *VARI*, *NBR2*, *SLAVI* и *EVI*. Это показывает, что в верхней части экотона межгодовая изменчивость накопления фитомассы статистически более согласована с изменениями спутниковых спектральных характеристик поверхности. Для нижних профилей корреляции

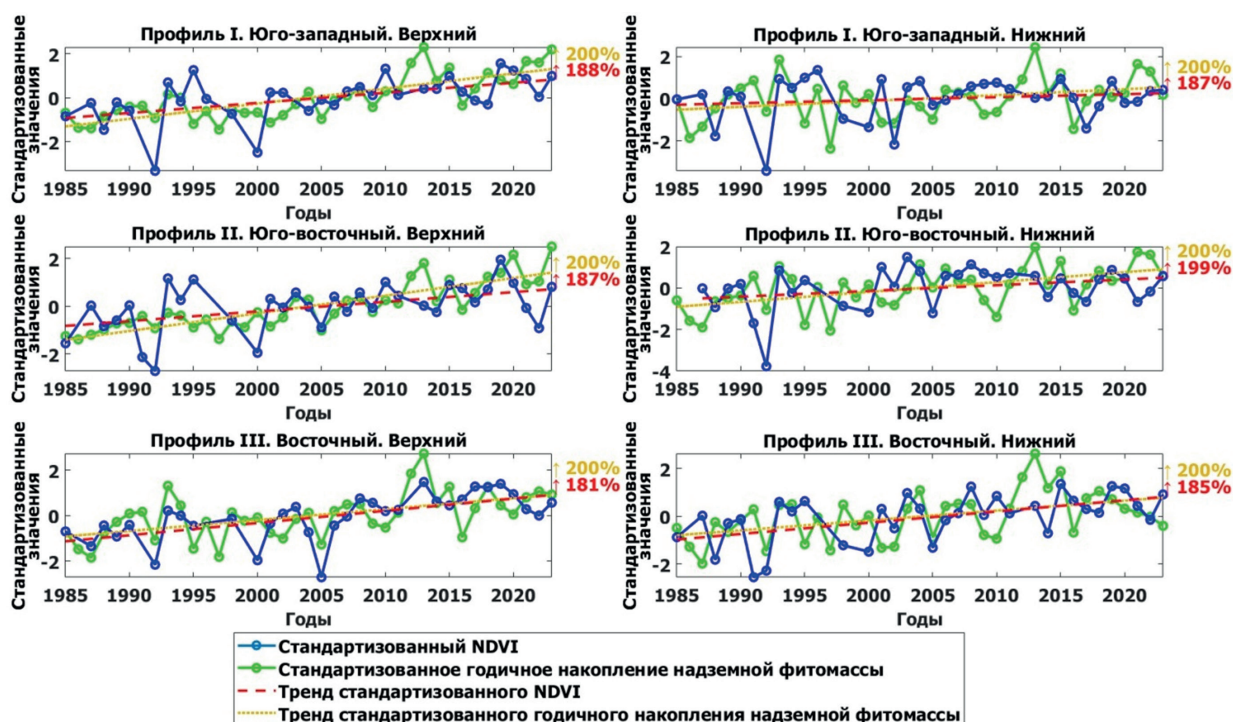


Рис. 10 / Fig. 10. Тренды нормализованных среднесезонных значений индекса *NDVI* и тренды годичного накопления фитомассы по данным древесно-кольцевых хронологий / Trends in normalized seasonal average values of the *NDVI* index and trends in annual accumulation of phytomass according to tree-ring chronologies

Источник: составлено по данным спутников *Landsat* 4...9, обработанным с использованием *Google Earth Engine*, и по данным древесно-кольцевых хронологий

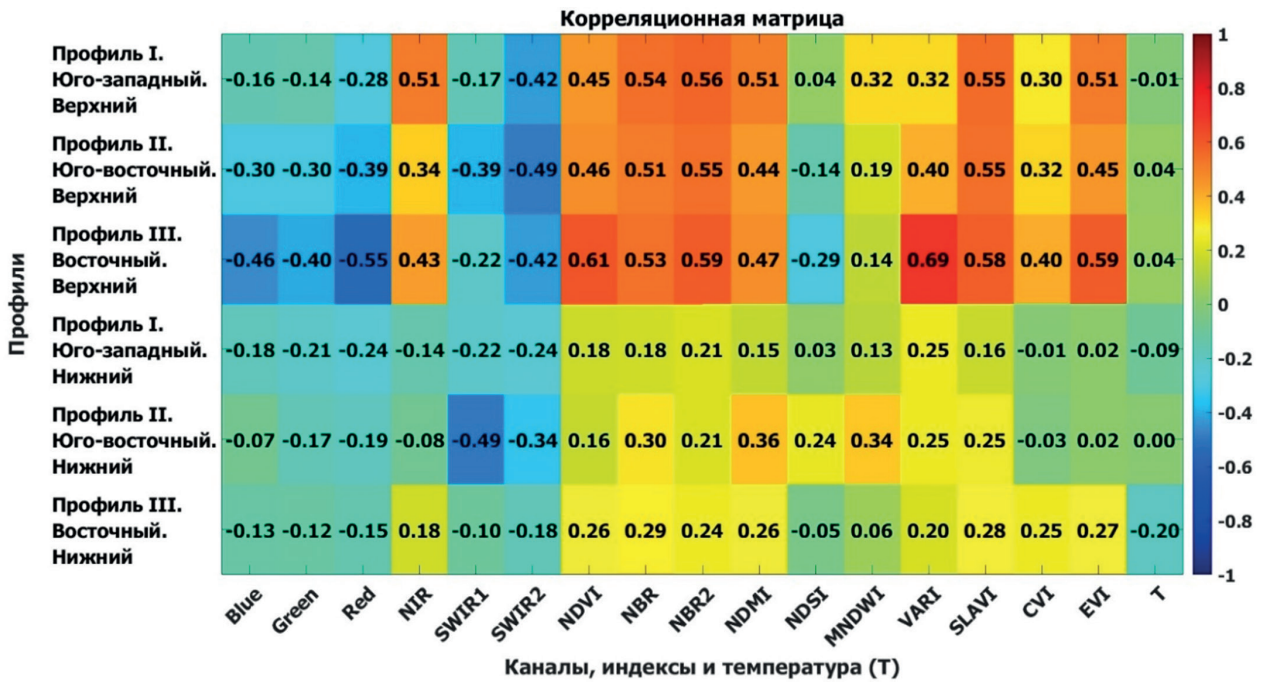


Рис. 11 / Fig. 11. Матрица корреляций между вегетативными индексами по данным ДЗЗ и динамикой годичного накопления фитомассы по данным древесно-кольцевых хронологий / Correlation matrix between vegetation indices based on remote sensing data and the dynamics of annual accumulation of phytomass based on tree-ring chronologies

Источник: составлено по данным спутников Landsat 4...9, обработанным с использованием Google Earth Engine, и по данным древесно-кольцевых хронологий

в целом слабее и менее однородны. Здесь выраженные связи наблюдаются лишь для отдельных участков и отдельных индексов. По-видимому, это связано с тем, что в верхней части экотона древесная растительность развита слабее, а потому изменения её состояния быстрее отражаются в спектральных характеристиках поверхности. На нижних профилях, где запасы фитомассы выше и растительный покров более сомкнутый, экосистема может характеризоваться большей инерционностью, вследствие чего связь между годичной динамикой радиального прироста и текущими спутниковыми характеристиками выражена слабее. Связь с температурой поверхности практически отсутствует, как и NDSI не показывает устойчивых отношений с накоплением фитомассы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты проведённого исследования демонстрируют убедительные доказатель-

ства того, что на западном макросклоне Приполярного Урала на фоне современных изменений климата происходила экспансия наиболее распространённого в районе исследований древесного вида *Larix sibirica* в сообщества горных тундр. Это подтверждается различиями в растительности на повторных ландшафтных фотоснимках, в распределении лесопокрытых площадей на разновременных аэроснимках и спутниковых изображениях, а также в возрастной структуре древостоев на исследованных высотных профилях.

Полученные данные количественного сдвига распространения верхней границы редколесий и повторные фотоснимки свидетельствуют, что в сравнении с другими горными провинциями Урала, где выполнялись подобные исследования, в районе Саблинского хребта изменения в распределении лесопокрытых площадей были менее значительными. Так, например, на Южном Урале на сравнительно небольшом массиве Иремель протяжённостью 6×6 км сдвиг верхней границы редколесий составил 6,97 км², скорость вертикального

сдвига сплошной границы редколесий – 5,5 м / 10 лет, Скорость положительного горизонтального сдвига сплошной границы – 21,6 м / 10 лет [9]. Подобные исследования были проведены на Северном Урале (Тылайско-Конжаковско-Серебрянский горный массив) [7]. Здесь величина вертикального и горизонтального смещения верхней границы редколесий во второй половине XX в. в целом по массиву составила 43 и 120 м соответственно, а скорость вертикального и горизонтального продвижения – примерно 9 и 24 м за десятилетие. Вертикальный сдвиг составил для редколесий 43 м, для сомкнутых лесов – 50 м, а горизонтальный для редколесий – 120 м, для сомкнутых лесов – 285 м.

На Полярном Урале (горный массив Рай-Из), по данным С. Г. Шиятова и др. [17], вертикальный сдвиг составил для редколесий 18 м, для сомкнутых лесов – 14 м, а горизонтальный для редколесий 175 м, для сомкнутых лесов – 180 м. За исследуемый период (1960–2000 гг.) ско-

рость вертикального сдвига границ составила примерно 5 и 3 м за десятилетие, а горизонтального – 44 и 45 м.

Ранее было установлено, что в центральной части Приполярного Урала в районе г. Неройка граница леса располагается в среднем на 50 м выше, а средний возраст древостоев лиственницы в нижней части экотона верхней границы леса не превышает 100 лет [6]. Периоды наиболее массового заселения участков склонов гор деревьями происходили здесь преимущественно в периоды с 1920 по 1965 г. и с 1965 по 2000 г. Таким образом, на хр. Сабля и г. Сундук темпы продвижения древесной растительности в сообщества горных тундр происходят заметно медленнее, в отличие как от других ранее исследованных горных провинций Урала, так и в сравнении с восточным макросклоном Приполярного Урала.

Помимо этого, исследованные древостои на горе Сундук характеризуются значительной старовозрастностью (рис. 12).



Рис. 12 / Fig. 12. Одна из пробных площадей на нижнем уровне профиля юго-западной экспозиции. Средний возраст древостоя 286 лет, максимальный – 348 лет / One of the sample plots at the lower level of the southwestern-facing transect. The average age of the stand is 286 years, with a maximum of 348 years

Источник: фото Ю. С. Трубникова

Древостои такого возраста, формирующие экотон верхней границы леса, ранее на Урале не обнаруживались как в ходе полевых исследований, так и по литературным данным. Деревья такого возраста в массовом количестве встречаются в более северных регионах с более континентальным климатом, например, на плато Путорана [45] и близлежащих территориях Анабарского плато [31], однако здесь произрастают другие виды представителей рода *Larix*. Несмотря на то, что средние уровни на профилях юго-восточной и восточной экспозиции отсутствуют, произрастающие здесь на нижних уровнях древостои представляют собой крайне разновозрастные группировки, близкие по значениям возраста к нижнему уровню профиля юго-западной экспозиции. Таким образом, деревья, произрастающие на склонах г. Сундук, появившись ещё до периода завершения Малого ледникового периода и долгое время массово не продвигались выше по склонам.

Ещё одним отличием района исследования является отсутствие кедров сибирского *Pinus sibirica* — ни у подножия вершин, ни на границе леса, как самих деревьев, так и подростов или всходов, которые на Приполярном Урале и Северном Урале активно разносит кедровка [6; 7].

Установленные различия в древостоях, произрастающих на западном и восточном макросклонах Урала, могут быть объяснены контрастностью отдельных элементов климата в районе исследования. Для оценки продолжительности залегания снежного покрова использовали данные спутников Landsat. NDSI [51] применялся как основной индикатор снежного покрова, тогда как ST использовался как дополнительный показатель для уточнения сроков его устойчивого залегания и таяния. Значения NDSI и ST усредняли по выделенным областям анализа, а полученные временные ряды аппроксимировали гармонической моделью. Период, в течение которого кривая NDSI превышала порог 0,4, а кривая ST оставалась ниже 0°C, рассматривали как период снежного покрова.

Результаты соответствующего анализа по многолетним данным показали, что устойчивый снежный покров на исследу-

емых территориях в экотоне верхней границы леса ложится примерно в одни и те же даты — 17–22 октября. Однако сходение снежного покрова имеет существенные различия. Так, средняя многолетняя дата схода снежного покрова на границе леса г. Сундук — 4 июня, а в районе г. Неройка — 20 мая. Таким образом, задержка схода снежного покрова на западном макросклоне Приполярного Урала на границе леса примерно на той же абсолютной высоте составляет около 2 недель.

Данные метаанализа [20] на основе анализа 166 публикаций, посвящённых динамике верхней границы леса в мире, показали, что наибольшие сдвиги ВГЛ в мире происходили там, где происходило увеличение количества зимних осадков. Результаты настоящего исследования демонстрируют, что в районе, где позднее сходит снежный покров, древесная растительность (вероятно, из-за его экстремально большого количества) продвигается более медленными темпами по сравнению с более восточными районами. В местах наибольшего скопления снежных масс таяние снега сильно задерживается, что приводит к сокращению вегетационного периода и большему увлажнению почвы. Соответственно, позднее наступают начальные фазы растений, с некоторым ускорением прохождения фаз в случае более позднего схода снега [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На западном макросклоне Приполярного Урала, на хребте Сабля и г. Сундук, установлены сдвиги верхнего предела произрастания древостоев лиственницы в сообществе горных тундр в последнем столетии. Установлено, что темпы накопления наземной фитомассы и роста деревьев в радиальном направлении приобретают ускоряющийся характер, особенно в XXI в. Продвижение верхней границы редколесий на западном макросклоне Приполярного Урала происходит более медленными темпами в сравнении как с восточным макросклоном, так и с другими горными провинциями Урала. Наиболее вероятным объяснением трансформа-

ции древесной растительности может быть общее изменение климатических условий в районе исследования.

Полученные данные о пространственном положении верхней границы распространения редколесий, ландшафтные фотоснимки, данные о структуре древостоев на постоянных пробных площадях могут быть использованы в будущем для мониторинга высокогорных экосистем Приполярного Урала при различных сценариях изменения климата, а также при создании моделей климатогенной трансформации высокогорных лесных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Информационные ресурсы для оценки экологического потенциала геосистем (на примере территории Енисейского Севера) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. № 1. С. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33
2. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Климатогенные изменения ландшафтов курумов на западе Среднесибирского плоскогорья в зональных условиях средней тайги // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. № 4. С. 17–29. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.2
3. Горчаковский П. Л. Растительность хребта Сабля на Приполярном Урале // Растительность Крайнего Севера СССР и её освоение. М: АН СССР, 1958. С. 95–127.
4. Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
5. Гофман Э. Северный Урал и береговой хребет Пай-Хой. Т. 2. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук, 1856. 52 с.
6. Григорьев А. А., Моисеев П. А., Нагимов З. Я. Динамика верхней границы древесной растительности в высокогорьях Приполярного Урала под влиянием современного изменения климата // Экология. 2013. № 4. С. 284–295.
7. Капралов Д. С., Шиятов С. Г., Моисеев П. А. и др. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала // Экология. 2006. № 6. С. 403–410.
8. Климатический атлас СССР. В 2 т. / под ред. Ф. Ф. Давитая. М.: ГУГМС СССР, 1960. 164 с.
9. Комплексная оценка климатогенной трансформации высокогорных лесных экосистем Южного Урала (на примере массива Ирмель) / А. А. Григорьев, Ю. В. Шалаумова, Е. В. Болотник, Д. С. Балакин, П. А. Моисеев // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2022. Т. 15. № 2. С. 148–166.
10. Матвеев А. К. Вершины Каменного Пояса: Названия гор Урала. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1990. 288 с.
11. Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа / рук. научн. группы: С. Л. Коннорс [Электронный ресурс]. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf (дата обращения: 25.10.2025).
12. Методы дендрохронологии Ч. I: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов, В. Б. Круглов и др. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
13. Непараметрические байесовские сети как инструмент комплексирования данных мультимасштабного анализа временных рядов и дистанционного зондирования / Н. С. Пыко, Д. В. Тишин, П. Ю. Искандиров, А. М. Гафуров и др. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2023. Т. 26. № 3. С. 32–47.
14. Моисеев П. А. Структура и динамика древесной растительности на верхнем пределе её произрастания на Урале: автореф. дис. док. биол. наук. Екатеринбург, 2011. 43 с.
15. Обручев В. А. Открытие ледников на Северном Урале // Природа. 1930. № 1. С. 84–89.
16. Шиятов С. Г. Дендрохронологические исследования // Уральская экологическая школа: вехи становления и развития / отв. ред. Н. Г. Смирнов. Екатеринбург: Голицкий, 2005. С. 134–174.
17. Шиятов С. Г., Терентьев М. М., Фомин В. В. и др. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале // Экология. 2007. № 4. С. 243–248.
18. Шиятов С. Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
19. Шиятов С. Г., Моисеев П. А., Григорьев А. А. Фотомониторинг древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях Южного Урала за последние 100 лет. Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2020. 191 с.

20. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming / M. A. Harsch, P. E. Hulme, M. S. McGlone et al. // *Ecology Letters*. 2009. Vol. 12. P. 1040–1049. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x
21. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures / A. Kashif, M. Z. Qasim, H. Song, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 42539–42559. DOI: 10.1007/s11356-022-19718-6
22. A review of factors controlling Southern Hemisphere treelines and the implications of climate change on future treeline dynamics / A. Hansson, J. Shulmeister, P. Dargusch, G. Hill // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2023. Vol. 332. P. 1–19. DOI: 10.1016/j.agrformet.2023.109375
23. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery / G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, et al. // *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 140. P. 23–35. DOI: 10.1016/j.rse.2013.08.029
24. BANSHEE—A MATLAB toolbox for non-parametric Bayesian networks / D. Paprotny, O. Morales-Nápoles, D. T. Worm, E. Ragno // *SoftwareX*. 2020. Vol. 12. DOI: 10.1016/j.softx.2020.100588
25. Bogachev M. I., Yuan N., Bunde A. Fractals and multifractals in geophysical time series // *Fractals* / eds. B. Ghanbarian, A. G. Hunt. Florida: CRC Press, 2017. P. 231–271. DOI: 10.1201/9781315152264-9
26. Cannone N., Malfasi F. Climate change triggered synchronous woody plants recruitment in the treeline ecotone of the Northern Hemisphere // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 921. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170953
27. Climate change evidence in tree growth and stand productivity at the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains / N. M. Devi, V. V. Kukarskih, A. A. Galimova, et al. // *Forest Ecosystems*. 2020. Vol. 7. P. 1–16. DOI: 10.1186/s40663-020-0216-9
28. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review / E. Sesana, A. S. Gagnon, C. Cianelli, et al. // *Advanced review. WIREs Clim Change*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.1002/wcc.710
29. Detection and evaluation of anthropogenic impacts on natural forest ecosystems from long-term tree-ring observations / M. I. Bogachev, A. A. Grigoriev, N. S. Pyko, et al. // *Forest Ecology and Management*. 2024. Vol. 558. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.121784
30. Evidence for 40 Years of Treeline Shift in a Central Alpine Valley / E. R. Frei, I. Barbeito, L. M. Erdle, et al. // *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 412. DOI: 10.3390/f14020412
31. Forest-tundra ecotone response to climate change / V. I. Kharuk, S. G. Shiyatov, E. Kasischke, E. V. Fedotova, M. M. Naurzbaev // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2002. Т. 18. С. 234–260.
32. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R., et al. Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 80. № 1. P. 76–87. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00289-9
33. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, et al. // *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
34. Keyserling A., Krusenstern P. *Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschora-Land im Jahre 1843*. St.-Pb., Gedr. u. zu haben bei C. Kray. 1846. 465 p.
35. Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit / H. Frank, M. A. Dawes, M. O. Bubnov, et al. // *Journal of Biogeography*. 2020. Vol. 47. P. 1827–1842. DOI: 10.1111/jbi.13867
36. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2000. Vol. 66. № 2. P. 183–191.
37. MODIS snow-cover products / D. K. Hall, G. A. Riggs, V. V. Salomonson, et al. // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 83. P. 181–194.
38. No treeline shift despite climate change over the last 70 years / M. Beloiu, D. Poursanidis, A. Tsakirakis, et al. // *Forest Ecosystems*. 2022. Vol. 9. P. 100002. DOI: 10.1016/j.fecs.2022.100002
39. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon / T. A. Schroeder, W. B. Cohen, C. Song, M. J. Canty, Z. Yang // *Remote sensing of environment*. 2006. Vol. 103. P. 16–26. DOI: 10.1016/j.rse.2006.03.008
40. Radiometric normalization of temporal images combining automatic detection of pseudo-invariant features from the distance and similarity spectral measures, density scatterplot analysis, and robust regression / O. A. de Carvalho Júnior, R. F. Guimarães, N. S. Silva,

- A. R. Gillespie, et al. // *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5. P. 2763–2794. DOI: 10.3390/rs5062763
41. Reversal in the drought stress response of the Scots pine forest ecosystem: Local soil water regime as a key to improving climate change resilience / M. I. Bogachev, A. M. Gafurov, P. Y. Iskandirov, D. I. Kaplun, et al. // *Heliyon*. 2023. Vol. 9. № 11. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21574
 42. Setting the tree-ring record straight / J. Ludescher, A. Bunde, U. Büntgen, H. J. Schellnhuber // *Climate Dynamics*. 2020. Vol. 55. P. 3017–3024. DOI: 10.1007/s00382-020-05433-w
 43. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Climate-driven dynamics of the forest-tundra vegetation in the Polar Ural Mountains // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. Vol. 4. № 7. P. 758–768. DOI: 10.1134/S1995425511070071
 44. Shrub facilitation promotes advancing of the *Fagus sylvatica* treeline across the Apennines (Italy) / G. Bonanomi, V. Mogavero, A. Rita, M. Zotti, et al. // *Alleato Journal of Vegetation Science*. 2021. Vol. 32. № 4. DOI: 10.1111/jvs.13054
 45. Stand Biomass at Treeline Ecotone in Russian Subarctic Mountains Is Primarily Related to Species Composition but Its Dynamics Driven by Improvement of Climatic Conditions / P. A. Moiseev, F. Hagedorn, D. S. Balakin, M. O. Bubnov, et al. // *Forests*. 2022. Vol. 13. P. 254. DOI: 10.3390/f13020254
 46. The influence of decision-making in tree ring-based climate reconstructions / U. Büntgen, K. Allen, K. J. Anchukaitis, D. Arseneault, et al. // *Nature communications*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.1038/s41467-021-23627-6
 47. The 50-Year Landsat Collection 2 Archive / C. J. Crawford, D. P. Roy, S. Arab, C. Barnes, et al. // *Science of Remote Sensing*. 2023. Vol. 8. DOI: 10.1016/j.srs.2023.100103
 48. The impact of Grey Heron (*Ardea cinerea* L.) colony on soil biogeochemistry and vegetation: a natural long-term in situ experiment in a planted pine forest / M. I. Bogachev, D. V. Tishin, A. M. Gafurov, B. I. Gareev, et al. // *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1197657
 49. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? / F. Hagedorn, S. G. Shiyatov, V. S. Mazepa, N. M. Devi, et al. // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. № 11. P. 3530–3543.
 50. Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery / S. Hislop, S. Jones, M. Soto-Berelov, A. Skidmore, et al. // *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10. № 3. DOI: 10.3390/rs10030460
 51. VIIRS Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document / G. A. Riggs, D. K. Hall, M. O. Román. NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt: Maryland. 2015. 34 p.
 52. Vincini M., Frazzi E., D'Alessio P. A broadband leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale // *Precision Agriculture*. 2008. Vol. 9. № 5. P. 303–319. DOI: 10.1007/s11119-008-9075-z
 53. Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. № 14. P. 3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179
 54. Zhou M, Li D, Liao K, Lu D. Integration of Landsat time-series vegetation indices improves consistency of change detection // *International Journal of Digital Earth*. 2023. Vol. 16. № 1. P. 1276–1299. DOI: 10.1080/17538947.2023.2200040

REFERENCES

1. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Information resource for assessing the ecological potential of a geosystem (in the Yenisei North)]. In: *InterKarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS], 2023, vol. 29, no. 1, pp. 20–33. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-20-33
2. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Climatogenic changes in kurum landscapes in the west of the Central Siberian Plateau under zonal conditions of the middle taiga]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2024, no. 4, pp. 17–29. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.2
3. Gorchakovskiy P. L. [Vegetation of the Sabre Ridge in the Subpolar Urals]. In: *Rastitelnost Kraynego Severa SSSR i yeye osvoyoyniye* [Vegetation of the USSR Far North and its Development]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1958, pp. 95–127.
4. Gorchakovskiy P. L., Shiyatov S. G. *Fitoindikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy i razvitiye protsessov v usloviyakh krizisa* [Phytoindication of Environmental Conditions and Process Development under Crisis Conditions]. Moscow: Nauka Publ., 1985. 208 p.
5. Goffman E. *Severnnyy Ural i Pay-Khoyskaya pribrezhnaya set'. T. 2* [Northern Urals and the Pai-Khoi Coastal Network. Vol. 2]. St. Petersburg: Type. Imp. Acad. of Sciences, 1856. 52 p.
6. Grigoriev A. A., Moiseev P. A., Nagimov Z. Ya. [Dynamics of the upper boundary

- of tree vegetation in highlands of the Subpolar Urals under the influence of modern climate change]. In: *Ekologiya* [Ecology], 2013, no. 4, pp. 284–295.
7. Kapralov D. S., Shiyatov S. G., Moiseev P. A., et al. [Changes in the composition, relief, and altitudinal position of small forests at the top of their growth in the mountains of the Northern Urals]. In: *Ekologiya* [Ecology], 2006, no. 6, pp. 403–410.
 8. Davitaya F. F., ed. *Klimaticheskiy atlas SSSR* [Climatic atlas of the USSR]. Moscow: GUGMS USSR, 1960. 164 p.
 9. Grigoriev A. A., Shalaumova Yu. V., Bolotnik E. V., Balakin D. S., Moiseev P. A. Comprehensive assessment of climatogenic transformation of high forest ecosystems of the Southern Urals (using the Iremel massif as an example). In: *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Biologiya* [Journal of the Siberian Federal University. Biology], 2022, vol. 15, no. 2, pp. 148–166.
 10. Matveev A. K. *Vershiny Kamennogo poyasa: Nazvaniya Uralskikh gor* [Peaks of the Stone Belt: Names of the Ural Mountains]. Chelyabinsk: South-Ural Book Publishing House, 1990. 288 p.
 11. Connors S. L., ed. *Izmeneniye klimata, 2021: Fizicheskiye nauchnyye osnovy* [Climate Change, 2021: Physical Scientific Basis]. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_russian.pdf (date accessed: 25.10.2025).
 12. Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V., Kruglov V. B., et al. *Metody dendrokronologii. I: Osnovy dendrokronologii. Sbor i polucheniye informatsii o godichnykh kolt-sakh derevyev* [Methods of dendrochronology. Ch. I: Fundamentals of dendrochronology. Collection and obtaining tree-ring information]. Krasnoyarsk: KrasSU, 2000. 80 p.
 13. Pyko N. S., Tishin D. V., Iskandirov P. Yu., Gafurov A. M., et al. [Nonparametric Bayesian networks as a tool for integrating multiscale time series analysis and remote sensing data]. In: *Neparametricheskiye bayyesovskiyete seti kak instrument integratsii mnogomasshtabnogo analiza vremennykh ryadov i dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Bulletin of higher educational institutions of Russia. Radioelectronics], 2023, vol. 26, no. 3, pp. 32–47.
 14. Moiseev P. A. *Struktura i dinamika drevesnoy rastitel'nosti na verkhnem predele yeye rosta na Urale: avtoref. dok. biol. nauk.* [Structure and Dynamics of Woody Vegetation at the Upper Limit of Its Growth in the Urals: abstract of Dr. Sci. thesis in Political sciences]. Ekaterinburg, 2011. 43 p.
 15. Obruchev V. A. [Discovery of Glaciers in the Northern Urals]. In: *Priroda* [Nature], 1930, no. 1, pp. 84–89.
 16. Shiyatov S. G. [Dendrochronological Studies]. In: Smirnov N. G., ed. *Uralskaya ekologicheskaya shkola: vekhi formirovaniya i razvitiya* [Ural Ecological School: Milestones in Formation and Development]. Ekaterinburg: Goshchitsky, 2005, pp. 134–174.
 17. Shiyatov S. G., Terentyev M. M., Fomin V. V., et al. [Vertical and horizontal shifts of the upper boundary of sparse and closed forests in the 20th century in the Polar Urals]. In: *Ekologiya* [Ecology], 2007, no. 4, pp. 243–248.
 18. Shiyatov S. G. *Dinamika drevesno-kustarnikovyoy rastitel'nosti Polyarnogo Urala pod vliyaniyem sovremennykh klimaticheskikh izmeneniy* [Dynamics of tree and shrub vegetation in the Polar Ural Mountains under the influence of modern climate change]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 216 p.
 19. Shiyatov S. G., Moiseyev P. A., Grigoriev A. A. *Fotomonitoring drevesno-kustarnikovyoy rastitel'nosti na vysokogoryakh Yuzhnogo Urala za posledniye 100 let* [Photomonitoring of tree and shrub vegetation in the highlands of the Southern Urals over the past 100 years]. Yekaterinburg: UMC UPI, 2020. 191 p.
 20. Harsch M. A., Hulme P. E., McGlone M. S. et al. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. In: *Ecology Letters*, 2009, vol. 12, pp. 1040–1049. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x
 21. Kashif A., Qasim M. Z., Song H., et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, vol. 29, pp. 42539–42559. DOI: 10.1007/s11356-022-19718-6
 22. Hansson A., Shulmeister J., Dargusch P., Hill G. A review of factors controlling Southern Hemisphere treelines and the implications of climate change on future treeline dynamics. In: *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, vol. 332, pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.agrformet.2023.109375
 23. Feyisa G. L., Meilby H., Fensholt R., et al. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. In: *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 140, pp. 23–35. DOI: 10.1016/j.rse.2013.08.029
 24. Paprotny D., Morales-Nápoles O., Worm D. T., E. Ragno BANSHEE—A MATLAB toolbox for non-parametric Bayesian networks. In: *SoftwareX*, 2020, vol. 12. DOI: 10.1016/j.softx.2020.100588

25. Bogachev M. I., Yuan N., Bunde A. Fractals and multifractals in geophysical time series. In: Ghanbarian B., Hunt A. G., eds. *Fractals*. Florida: CRC Press, 2017, pp. 231–271. DOI: 10.1201/9781315152264-9
26. Cannone N., Malfasi F. Climate change triggered synchronous woody plants recruitment in the treeline ecotone of the Northern Hemisphere. In: *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 921. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170953
27. Devi N. M., Kukarskih V. V., Galimova A. A., et al. Climate change evidence in tree growth and stand productivity at the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains. In: *Forest Ecosystems*, 2020, vol. 7, pp. 1–16. DOI: 10.1186/s40663-020-0216-9
28. Sesana E., Gagnon A. S., Ciantelli C., et al. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. In: *Advanced review. WIREs Clim Change*, 2021, vol. 12. DOI: 10.1002/wcc.710
29. Bogachev M. I., Grigoriev A. A., Pyko N. S., et al. Detection and evaluation of anthropogenic impacts on natural forest ecosystems from long-term tree-ring observations. In: *Forest Ecology and Management*, 2024, vol. 558. DOI: 10.1016/j.foreco.2024.121784
30. Frei E. R., Barbeito I., Erdle L. M., et al. Evidence for 40 Years of Treeline Shift in a Central Alpine Valley. In: *Forests*, 2023, vol. 14, pp. 412. DOI: 10.3390/f14020412
31. V. I. Kharuk, S. G. Shiyatov, E. Kasischke, E. V. Fedotova, M. M. Naurzbaev. Forest-tundra ecotone response to climate change. In: *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling Challenges], 2002, vol. 18, pp. 234–260.
32. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R., et al. Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction. In: *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol. 80, no. 1, pp. 76–87. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00289-9
33. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. In: *Remote Sensing of Environment*, 2017, vol. 202, pp. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031
34. Keyserling A., Krusenstern P. *Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschora-Land im Jahre 1843*. St.-Pb., Gedr. u. zu haben bei C. Kray. 1846. 465 p.
35. Frank H., Dawes M. A., Bubnov M. O., et al. Latitudinal decline in stand biomass and productivity at the elevational treeline in the Ural mountains despite a common thermal growth limit. In: *Journal of Biogeography*, 2020, vol. 47, pp. 1827–1842. DOI: 10.1111/jbi.13867
36. Lymburner L., Beggs P. J., Jacobson C. R. Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, vol. 66, no. 2, pp. 183–191.
37. Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V., et al. MODIS snow-cover products. In: *Remote Sensing of Environment*, 2002, vol. 83, pp. 181–194.
38. Beloiu M., Poursanidis D., Tsakirakis A., et al. No treeline shift despite climate change over the last 70 years. In: *Forest Ecosystems*, 2022, vol. 9, pp. 100002. DOI: 10.1016/j.fecs.2022.100002
39. Schroeder T. A., Cohen W. B., Song C., Canty M. J., Yang Z. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. In: *Remote sensing of environment*, 2006, vol. 103, pp. 16–26. DOI: 10.1016/j.rse.2006.03.008
40. Carvalho Júnior de O. A., Guimarães R. F., Silva N. S., Gillespie A. R., et al. Radiometric normalization of temporal images combining automatic detection of pseudo-invariant features from the distance and similarity spectral measures, density scatterplot analysis, and robust regression. In: *Remote Sensing*, 2013, vol. 5, pp. 2763–2794. DOI: 10.3390/rs5062763
41. Bogachev M. I., Gafurov A. M., Iskandirov P. Y., Kaplun D. I., et al. Reversal in the drought stress response of the Scots pine forest ecosystem: Local soil water regime as a key to improving climate change resilience. In: *Helicon*, 2023, vol. 9, no. 11. DOI: 10.1016/j.helicon.2023.e21574
42. Ludescher J., Bunde A., Büntgen U., Schellhuber H. J. Setting the tree-ring record straight. In: *Climate Dynamics*, 2020, vol. 55, pp. 3017–3024. DOI: 10.1007/s00382-020-05433-w
43. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Climate-driven dynamics of the forest-tundra vegetation in the Polar Ural Mountains. In: *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4, no. 7, pp. 758–768. DOI: 10.1134/S1995425511070071
44. Bonanomi G., Mogavero V., Rita A., Zotti M., et al. Shrub facilitation promotes advancing of the *Fagus sylvatica* treeline across the Apennines (Italy). In: *Allevario Journal of Vegetation Science*, 2021, vol. 32, no. 4. DOI: 10.1111/jvs.13054
45. Moiseev P. A., Hagedorn F., Balakin D. S., Bubnov M. O., et al. Stand Biomass at Tree-line Ecotone in Russian Subarctic Mountains Is Primarily Related to Species Composition but Its Dynamics Driven by Improvement of

- Climatic Conditions. In: *Forests*, 2022, vol. 13, pp. 254. DOI: 10.3390/f13020254
46. Büntgen U., Allen K., Anchukaitis K. J., Arseneault D., et al. The influence of decision-making in tree ring-based climate reconstructions. In: *Nature communications*, 2021, vol. 12. DOI: 10.1038/s41467-021-23627-6
47. Crawford C. J., Roy D. P., Arab S., Barnes C., et al. The 50-Year Landsat Collection 2 Archive. In: *Science of Remote Sensing*, 2023, vol. 8 DOI: 10.1016/j.srs.2023.100103
48. Bogachev M. I., Tishin D. V., Gafurov A. M., Gareev B. I., et al. The impact of Grey Heron (*Ardea cinerea* L.) colony on soil biogeochemistry and vegetation: a natural long-term in situ experiment in a planted pine forest. In: *Frontiers in Environmental Science*, 2023, vol. 11. DOI:10.3389/fenvs.2023.1197657
49. Hagedorn F., Shiyatov S. G., Mazepa V. S., Devi N. M., et al. Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions? In: *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, no. 11, pp. 3530–3543.
50. Hislop S., Jones S., Soto-Berelov M., Skidmore A., et al. Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery. In: *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no 3. DOI: 10.3390/rs10030460
51. Riggs G. A., Hall D. K., Román M. O. *VIIRS Snow Cover Algorithm Theoretical Basis Document*. NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt: Maryland. 2015. 34 p.
52. Vincini M., Frazzi E., D'Alessio P. A broadband leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. In: *Precision Agriculture*, 2008, vol. 9, no. 5, pp. 303–319. DOI: 10.1007/s11119-008-9075-z
53. Xu H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. In: *International Journal of Remote Sensing*, 2006, vol. 27, no. 14, pp. 3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179
54. Zhou M, Li D, Liao K, Lu D. Integration of Landsat time-series vegetation indices improves consistency of change detection. In: *International Journal of Digital Earth*, 2023, vol. 16, no 1, pp. 1276–1299. DOI: 10.1080/17538947.2023.2200040

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорьев Андрей Андреевич (г. Екатеринбург) – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

Вьюхин Сергей Олегович (г. Вуктыл) – младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7173-4878

Шубницина Елена Игоревна (г. Екатеринбург) – кандидат технических наук, заместитель директора Национальный парк «Югыд ва»;
e-mail: shub07@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6198-7281

Шалаумова Юлия Валерьевна (г. Екатеринбург) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных технологий Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук;
e-mail: jvshalaumova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

Басманов Александр Андреевич (г. Санкт-Петербург) – инженер кафедры радиотехнических систем факультета радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ»;
e-mail: alex.basmanov00@gmail.com; ORCID: 0009-0009-8063-7987

Богачёв Михаил Игоревич (г. Санкт-Петербург) – доктор технических наук, главный научный сотрудник кафедры радиотехнических систем факультета радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ»;
e-mail: mibogachev@etu.ru; ORCID: 0000-0002-0356-5651

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Grigoriev (Yekaterinburg) – PhD (Agricultura), Senior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: grigoriev.a.a@ipae.uran.ru; ORCID: 0000-0002-7446-0654

Elena I. Shubnitsina (Yekaterinburg) – PhD (Technical Sciences), Deputy Director, "Yugyd va" National Park;

e-mail: shub07@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6198-7281

Sergey O. Vyukhin (Vuktyl) – Junior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: sergey.vyuhin@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7173-4878

Yulia V. Shalaumova (Yekaterinburg) – PhD (Technical Sciences), Senior Researcher, Laboratory of Geographic Information Technologies, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences;

e-mail: jvshalaumova@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0173-6293

Alexander A. Basmanov (St. Petersburg) – Engineer, Department of Radio Engineering Systems, Faculty of Radio Engineering and Telecommunications, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI";

e-mail: alex.basmanov00@gmail.com; ORCID: 0009-0009-8063-7987

Mikhail I. Bogachev (St. Petersburg) – Dr. Sci. (Technical Sciences), Chief Researcher, Department of Radio Engineering Systems, Faculty of Radio Engineering and Telecommunications, St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI";

e-mail: mibogachev@etu.ru; ORCID: 0000-0002-0356-5651

Научная статья

УДК 551.435.11(470.51) + 551.4.04

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК УДМУРТИИ

© СС ВУ Рысин И. И.¹, Григорьев И. И.²

¹ Удмуртский государственный университет

г. Ижевск, Российская Федерация

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID:0009-003-6062-8078

² Удмуртский государственный университет

г. Ижевск, Российская Федерация

e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

Поступила в редакцию 12.05.2025

После доработки 27.08.2026

Принята к публикации 19.09.2025

Аннотация

Цель. Количественный анализ многолетней динамики размывов берегов на малых и средних реках Удмуртии, имеющий важное значение для моделирования и прогнозирования развития излучин, необходимых для предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

Процедура и методы. Впервые представлены результаты исследования смещения русел за 2003–2024 гг. на 8 ключевых участках, расположенных на малых и средних реках Удмуртии. Геодезическая съёмка проводилась на активно размываемых участках излучин рек с помощью лазерного тахеометра, который позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но и площадные и объёмные показатели. С 2019 г. при инструментальной съёмке применяется спутниковый приёмник вместе с беспилотными летательными аппаратами.

Результаты. Установлено, что для средних рек скорости максимальных размывов достигают 6,15 м/год. Протяжённость размываемых участков варьировалась в пределах 115–533 м. Высота исследуемых береговых уступов изменяется от 3,5 до 5,6 м. Для малых рек наибольшие величины размывов изменяются в пределах: от 2,3 до 8,14 м. Протяжённость размываемых участков варьируется от 48 до 330 м. Средняя высота размываемого уступа на этих реках изменяется от 2,5 до 8,8 м. В многолетней динамике размывов на реках Чепца (2 участка), Сива и Кырыкмас отчётливо прослеживается положительный тренд с максимумами размывов в 2011–2014, 2015–2016, 2019 и 2021 гг. Установлена тесная корреляционная связь между максимальной шириной, площадью, объёмом размывов на реках Чепца (лев. пр. Вятки), Сива (прав. пр. Камы), Кырыкмас (лев. пр. Ижа) и их максимальными годовыми расходами. Также подтверждается ведущая роль кривизны излучины, состава размываемых пород, порядка водотока, полученных нами ранее по реперным наблюдениям [26; 28; 30]. Расположение интенсивно размываемых участков в пределах различных типов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочены к участкам с наибольшей крутизной или смещены чуть ниже по течению.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы как для аналогичных рек Удмуртии, так и рек равнинных территорий Европейской части РФ. Необходимость многолетних полевых исследований размывов береговых уступов рек с применением современных инструментальных методов определяется важностью выявления закономерностей русловых процессов для составления надёжных прогнозов их развития в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

Ключевые слова: размыв речных берегов, мониторинг, тахеометрическая съёмка, корреляционный анализ, Удмуртская Республика

Благодарности. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-27-20003.

Для цитирования:

Рысин И. И., Григорьев И. И. Результаты многолетних исследований размыва берегов рек Удмуртии // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 35–57. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

Original Article

RESULTS OF LONG-TERM OBSERVATIONS EROSION OF RIVER BANKS IN UDMURTIA

© CC BY I. Rysin¹, I. Grigoriev²

¹ Udmurt State University

Izhevsk, Russian Federation

e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

² Udmurt State University

Izhevsk, Russian Federation

e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

Received 12.05.2025

Revised 27.08.2026

Accepted 19.09.2025

Abstract

Aim. Quantitative analysis of long-term dynamics of bank erosion on small and medium-sized rivers of Udmurtia, which are important for modeling and forecasting the development of meanders necessary to prevent dangerous geocological situations.

Methodology. For the first time, the results of a study of channel displacement for 2003–2024 in 8 key areas located on small and medium-sized rivers of Udmurtia are presented. Geodetic survey was carried out on actively eroded areas of river bends using a laser tacheometer, which allows calculating not only linear erosion parameters, but also area and volume indicators. Since 2019, a satellite receiver has been used in instrumental surveys together with unmanned aerial vehicles.

Results. It was found that for medium-sized rivers, the maximum erosion rates reach 6.15 m/year. The length of the eroded areas varied within the range of 115–533 m. The height of the studied coastal cliffs varies from 3.5 to 5.6 m. For small rivers, the greatest erosion values vary within the range of 2.3 to 8.14 m. The length of the eroded areas varies from 48–330 m. The average height of the eroded cliff on these rivers varies from 2.5 to 8.8 m. In the long-term dynamics of erosion on the Cheptsya (2 areas), Siva and Kurykmas rivers, a positive trend is clearly visible with erosion maxima in 2011–2014, 2015–2016, 2019 and 2021. A close correlation has been established between the maximum width, area, and volume of erosion on the rivers Cheptsya (left tributary of the Vyatka), Siva (right tributary of the Kama), Kurykmas (left tributary of the Izh) and their maximum annual discharges. The leading role of the bend curvature, the composition of the eroded rocks, and the order of the water flow, which we obtained earlier from benchmark observations, is also confirmed. The location of intensively eroded areas within different types of bends is characterized by local features, but is more often confined to areas with the greatest steepness or shifted slightly downstream.

Research implications. The results of the study are very relevant, since they can be used both for similar rivers of Udmurtia and for rivers of flat territories of the European part of the Russian Federation. The need for long-term field studies of erosion of river bank benches using modern instrumental methods is determined by the importance of identifying patterns

of channel processes for making reliable forecasts of their development in specific landscape-geomorphological conditions in order to prevent dangerous geocological situations.

Keywords: erosion of river banks, monitoring, tacheometric survey, correlation analysis, Udmurt Republic

Acknowledgments. The study was funded by the Russian Science Foundation № 25-27-20003.

For citation:

Rysin I. I., Grigoriev I. I. Results of long-term observations erosion of river banks in Udmurtia. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 35–57. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-35-57

ВВЕДЕНИЕ

Одним из опасных рельефообразующих процессов на равнинных территориях являются размывы берегов рек и наводнения во время аномальных половодий и паводков. Для их прогноза актуальными являются исследования горизонтальных русловых деформаций на различных по водности реках в условиях современных климатических изменений. В дополнение к климатическим факторам, преобразование ландшафтов в результате хозяйственной деятельности оказывает ещё более выраженное воздействие на изменения эрозионно-русловых систем [16; 33; 34; 35; 46; 48]. Размыв берегов рек представляет собой наиболее яркое проявление русловых деформаций, что в свою очередь приводит к значительным потерям в сельском хозяйстве и инфраструктуре территории.

Данный процесс сопровождается также изменением морфолого-морфометрических характеристик русла на участке размыва, вызывая миграцию русла в пределах днища долины, сопровождаясь интенсивными размывами берегов, смещением излучин и увеличением извилистости русла. Это происходит обычно в ходе эволюции форм русла (излучин) на протяжении многих десятков и сотен лет. В последние годы появились работы, в которых современная трансформация русла связывается с происходящим увеличением речного стока, вызванным изменениями природной среды и климата [23; 38].

Слабо изученной до сих пор является вклад русловых деформаций в балансовую составляющую стока наносов [43; 52]. Важнейшая задача — определить критические параметры излучин, при достижении

которых они спрямляются с образованием прорванных излучин. Разработка гидротехнических мероприятий не может быть решена без исследования закономерностей русловых процессов [1; 3; 35; 40; 43; 45]. Поэтому весьма актуальна проблема количественной оценки динамики (эволюции) русловых форм (излучин) на реках разных порядков, развивающихся в условиях свободного меандрирования.

Исследований русловых процессов на территории Удмуртской Республики (УР) ранее не проводилось. Работы по изучению русловых размывов берегов нами впервые были начаты в 1999 г. по заданию Государственного комитета по недрам УР [28]. На территории же соседних регионов исследованиями русловых процессов занимались достаточно активно [13; 20; 21, 22]. Мониторинг горизонтальных русловых деформаций в большинстве равнинных регионов России проводится эпизодически, продолжительность регулярных наблюдений редко превышает 5–6 лет и это в основном касается крупных рек [8; 10; 14; 19; 34; 39; 41]. В большинстве публикаций авторы судят о динамике размывов берегов на основании сопоставления разновременных карт, в последние годы для этого используются космические снимки. В этом отношении наши многолетние исследования, полученные в полевых условиях с применением современных геодезических приборов, имеют большое преимущество и высокую достоверность [29; 30; 48].

Целью данной статьи является количественная оценка многолетней динамики размывов берегов на малых и средних реках Удмуртии, полученных путём тахеометрической съёмки участков излучин,

различающихся как расходами воды, морфолого-морфометрическими характеристиками, так и ландшафтными особенностями их бассейнов. Сопоставление данных, полученных разными методами, и выявление наиболее значимых факторов с помощью корреляционного анализа.

Равнинная территория Удмуртской Республики расчленена многочисленными водотоками со средней густотой 0,71 км/км². Преобладающими являются широкопойменные реки с активным развитием процессов свободного меандрирования [2; 26; 28]. В пределах исследуемой территории доминируют южно-таёжные ландшафты, которые на юге сменяются сильно преобразованными деятельностью человека сельскохозяйственными ландшафтами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью исследования особенностей развития горизонтальных русловых деформаций на территории УР по топографическим картам было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разной величины. Основными критериями выбора участков являлись:

1. яркое проявление русловых процессов на данной территории;
2. типичность развития русловых процессов с соседними территориями;
3. транспортная доступность участка.

Полевые работы на изучаемых реках проводятся с 1999 г. ежегодно в летний период, а на отдельных участках (около г. Ижевска) дважды в год – весной (май) и осенью (октябрь или начало ноября) [28; 30].

Одним из надёжных и доступных методов изучения динамики рельефа является метод стержней и марок [30; 32]. В пределах 30 ключевых участков осуществлялась эпизодическая тахеометрическая съёмка размываемого берегового уступа. Здесь же представлены результаты относительно регулярной геодезической съёмки размываемых береговых уступов на 8 участках рек, которые проводились в течение 2003–2024 гг. (рис. 1).

Геодезическая съёмка, как правило, проводилась на активно размываемых

участках излучин рек с помощью электронного тахеометра «Nikon NPR-332». Такая съёмка позволяет рассчитать не только линейные параметры размыва, но также площадные и объёмные показатели [4; 5].

С 2019 г. при инструментальной съёмке нами применяется спутниковый приёмник «EFT M1+» вместе с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА): вначале – «DJI Phantom 4», позднее – «Autel Evo II PRO». Общая методика использования БПЛА для географических исследований обычно включает 6 этапов, в завершение которых создаётся цифровая модель местности (ЦММ) и ортофотоплан [7].

Обработка аэрофотоснимков проводится в отечественной программе *Agisoft Metashape Professional*. Подготовка топографических планов, расчёт площадей и объёмов размываемого материала осуществляется с использованием программного комплекса «Кредо» [6].

Алгоритм исследования включает следующие основные этапы:

– *экспедиционный* (тахеометрическая съёмка с применением спутникового приёмника, съёмка с БПЛА, измерение с применением реперных объектов или марок, определение состава размываемых отложений);

– *камеральный* (составление топографической картосхемы размываемого участка излучины, расчёт морфометрических характеристик: протяжённость и высота размываемого участка, средняя и максимальная ширина размыва, площадь и объём размыва, радиус кривизны; определение типа и вида излучины; среднегодовые и максимальные расходы и уровни реки при наличии гидропоста).

Одним из важных показателей речного потока, дающим осреднённое представление о её размере, своеобразным индексом водотока является порядок реки. С этим показателем тесно связаны и ряд важнейших морфодинамических характеристик русла, такие как её ширина и глубина, их отношение между собой, а также среднегодовые расходы реки [8; 9; 21; 26; 28].

Для исследуемых рек расчёт их порядков выполнялся по известной методике А. Е. Шайдеггера [42], базирующейся на подсчёте притоков первого порядка, име-

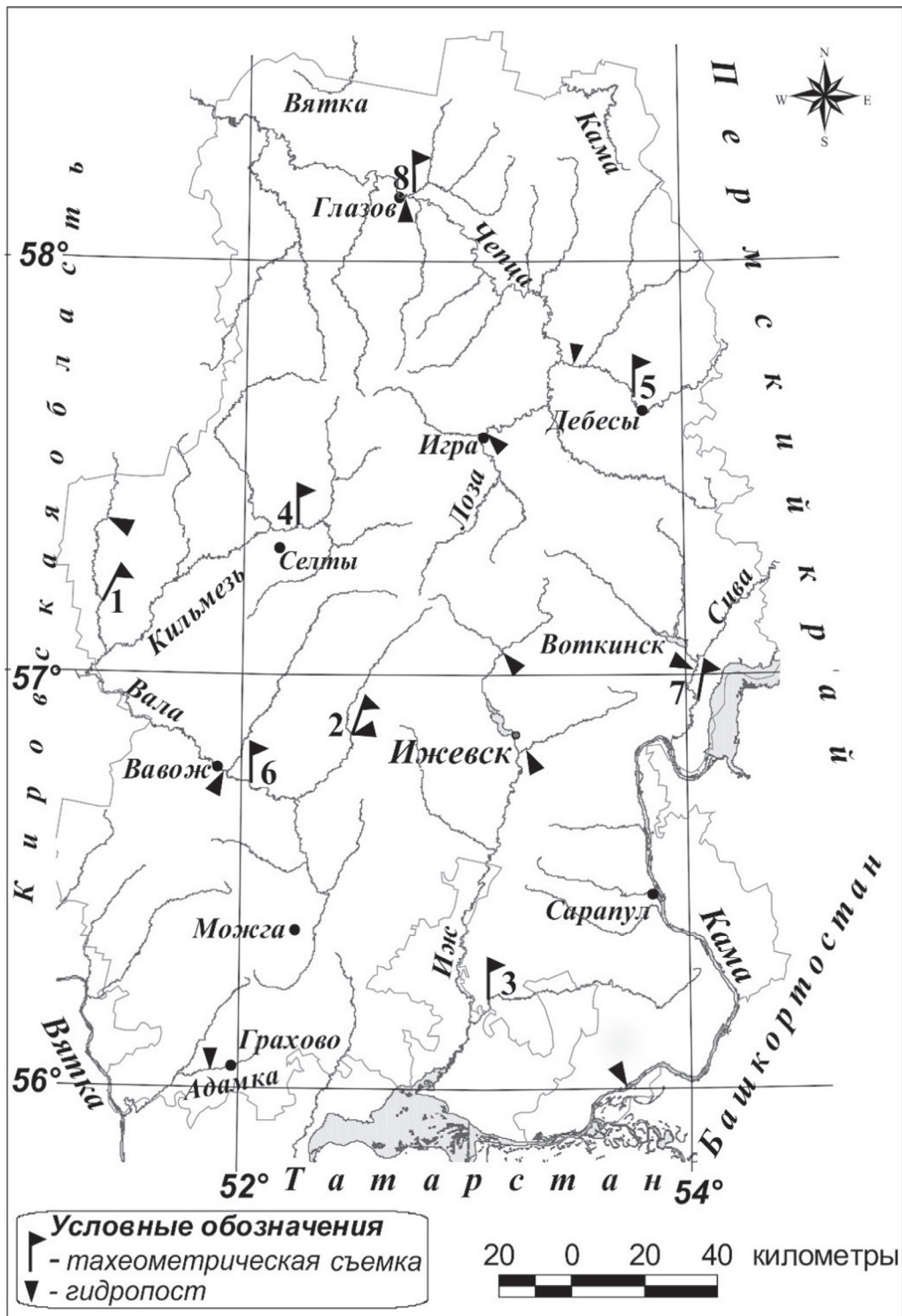


Рис. 1 / Fig. 1. Карта-схема расположения ключевых участков по изучению морфодинамики русел рек УР с применением инструментальных методов / Layout Map of Key Areas for Studying the Morphodynamics of River Channels Using Instrumental Methods

Источник: составлено авторами

Условные обозначения ключевых участков:

1 – р. Лумпун (д. Харламовская Пристань), 2 – р. Нылга (с. Нылга), 3 – р. Кырыкмас (д. Тавзямал), 4 – р. Кильмезь (д. Головизнин Язок), 5 – р. Чепца (д. Варни), 6 – р. Вала (д. Макарово), 7 – р. Сива (д. Метляки), 8 – р. Чепца (с. Адам)

ющим длину менее 10 км. Для территории УР и прилегающих равнинных регионов предлагается относить реки 6-го и меньшего порядка к очень малым, 6,1–9-го порядка к малым, реки 9,1–14-го порядка – к средним и свыше 14,1 порядка – к большим или крупным [28; 29; 30].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже впервые представлена к обсуждению морфодинамика тахеометрических съёмки на размываемых участках свободных излучин малых и средних рек УР за период 2003–2024 гг. Исследуемые реки размывают пойменный аллювий, представленный преимущественно опесчаненными в разной степени лёгкими и средними суглинками. Среди них иногда встречаются тонкие прослойки торфа и глея. Для удобства анализа рассмотрим их согласно принадлежности к группе в соответствии с рассчитанным порядком.

Малые реки

Река Лумпун

На р. Лумпун (прав. приток р. Кильмезь) в 80 м от моста вверх по течению в д. Харламовская Пристань (рис. 1) геодезическая съёмка береговой линии осу-

ществлялась на протяжении 111 м, здесь средняя высота размываемого берегового уступа равна 8,8 м. Как и в большинстве случаев, тахеометрическая съёмка осуществлялась ежегодно с 2003 по 2014 г. В 2015–2022 гг. съёмка не проводилась; в эти годы осуществлялись только реперные наблюдения. Река на исследуемом участке имеет порядок 7,8, средний многолетний расход реки у д. Шмыки (23 км выше по течению от исследуемого участка) составляет 8,25 м³/с. Максимальный суточный расход был зарегистрирован 3–4 мая 1979 г. и составил 292 м³/с [2].

Протяжённость размываемого участка за рассматриваемый период изменялась в следующих пределах: от 48,2 м в 2012 г. до 110 м в 2005 г. В 2012 г. была отмечена и минимальная ширина размыва, составившая всего 0,18 м. Максимальное значение ширины размыва на участке зафиксировано в 2005 г. (2,26 м) (табл. 1). Самые низкие значения площадей размыва приурочены к 2012 и 2013 г., в эти же годы были зарегистрированы и минимальные значения объёмов (табл. 2). Максимальные значения площадей и объёмов размыва не всегда совпадают по годам с максимальной шириной размывов, что вполне очевидно, поскольку максимальный размыв часто имеет локальный характер и может быть

Таблица 1 / Table 1

Средняя и максимальная ширина размывов на участках рек по данным тахеометрической съёмки за 2004–2024 гг. / Average and maximum scour widths at river sections based on tacheometric survey data for 2004–2024

Годы наблюдений	Лумпун	Нылга	Кырык-мас	Кильмезь	Чепца/Варни	Сива	Вала	Чепца/Адам
2004	0.23/0.60*	0.66/1.26	0.75/2.76	0.38/1.10	0.35/0.97	0.87/1.86	0.72/1.70	0.25/1.53
2005	0.60/2.26	0.44/2.66	0.42/2.34	0.56/1.82	0.32/0.78	1.07/3.40	0.96/2.60	0.62/2.90
2006	0.75/1.85	0.51/3.23	0.74/2.41	0.48/1.36	0.44/1.63	1.41/4.17	0.24/1.52	2.08/6.15
2007	0.40/1.02	0.39/1.97	0.71/3.82	0.38/1.66	0.42/2.20	0.53/2.59	0.64/1.64	0.49/2.13
2008	0.23/0.85	0.19/0.62	0.99/3.06	0.59/2.49	0.18/1.01	0.67/2.07	0.78/1.82	0.39/1.30
2009	0.32/0.84	0.36/1.37	0.46/1.52	0.24/0.93	0.33/1.08	0.64/2.59	0.25/0.82	0.52/1.35
2010	0.45/1.44	0.19/0.50	2.34/4.74	0.54/1.77	0.32/1.05	1.99/3.50	0.27/0.97	0.48/2.25
2011	0.41/1.07	0.18/0.69	1.24/3.08	0.33/0.76	0.48/1.46	1.29/2.90	0.40/2.23	0.75/2.50
2012	0.18/0.52	0.48/1.24	1.50/5.01	1.11/2.46	0.68/2.23	1.54/5.96	0.60/1.91	2.02/5.42
2013	0.21/0.62	0.72/3.29	0.88/3.04	0.35/1.52	0.27/1.98	0.86/2.77	0.46/1.55	1.12/3.64
2014	0.23/0.69	0.54/1.43	0.71/1.98	1.13/1.73	0.53/1.63	0.86/2.90	0.28/1.14	0.86/3.13
2015	-	-	-	-	-	0.52/3.52	1.62/4.15	-

Окончание табл. 1

Годы на- блюдений	Лумпун	Нылга	Кырык- мас	Кильмезь	Чепца/ Варни	Сива	Вала	Чепца/ Адам
2016	-	-	-	-	-	1.69/4.02	-	-
2017	-	-	0.39/0.81	-	-	-	-	-
2018	-	-	0.42/1.70	-	-	-	-	-
2019	-	-	0.75/3.59	-	-	-	-	-
2020	-	-	0.44/1.38	-	-	0.12/0.41	-	-
2021	-	0.15/0.27	2.44/8.14	-	-	0.58/2.65	0.13/0.39	-
2022	-	-	0.77/3.40	-	-	0.22/0.62	0.30/1.88	-
2023	0.19/0.32	0.19/0.33	2.12/5.16	0.20/0.49	0.39/0.71	0.23/0.80	0.16/1.70	0.82/1.52
2024	0.73/2.88	0.46/1.60	0.99/2.88	0.21/0.70	0.25/1.62	0,80/2.03	0,22/0.65	0,98/3.98

* В числителе – средняя ширина, в знаменателе – максимальная ширина в метрах; полужирным шрифтом выделены средние многолетние значения

Источник: данные авторов

Таблица 2 / Table 2

Площади и объёмы размывов на участках рек по данным тахеометрической съёмки за 2004–2024 гг. / Squares and volumes of scour at river sections based on tachymetric survey data for 2004–2024

Годы на- блюдений	Лумпун	Нылга	Кырыкмас	Кильмезь	Чепца/ Варни	Сива	Вала	Чепца/ Адам
2004	13.4/121*	86.6/216	213.4/1088	51.7/114	61.3/264	182.9/640	212.6/891	92.6/500
2005	66/594	144.1/360	60.6/416	74.6/164	36.7/158	227.2/795	258.9/1085	211.7/1143
2006	81.9/737	127.3/318	94.8/646	65.1/143	65.2/280	258.6/1255	36.8/156	883.7/4772
2007	41.7/375	117.6/294	105/712	54.4/120	52.2/224	149.2/522	165.3/693	232.5/1256
2008	19.7/177	39.2/98	101.5/690	63.1/139	17,1/74	93.1/326	214.2/895	113.6/613
2009	25.9/233	84.5/211	84.1/570	17219,0	36.8/158.0	148.2/519	51.4/216	187.2/1011
2010	46.4/418	42.5/106	348.8/2367	73.9/163	54.8/236	520.1/1820	47.5/199	152.4/823
2011	38.3/345	32.8/82	214.5/1461	50.5/111	71.6/308	342.3/1198	117.0/494	274.7/1483
2012	8.9/80.0	100.1/250	313.9/2136	143.3/315	99.4/427	331.7/1161	143.8/601	977.1/5276
2013	12.9/116	137.7/344	149.6/1021	41.5/91	24.1/104	210.2/736	132.2/553	553.4/2988
2014	14.6/131	31.8/80	101/687	124.3/273	71.1/306	146.7/513	47.6/203	363.5/1963
2015	-	-	-	-	-	59.7/209	505.2/2120	-
2016	-	-	-	-	-	397.3/1391	-	-
2017	-	-	74.1/506	-	-	-	-	-
2018	-	-	54/369	-	-	-	-	-
2019	-	-	174.1/1184	-	-	-	-	-
2020	-	-	54.1/368	-	-	15.4/54	-	-
2021	-	42.8/107	596.8/4058	-	-	113.8/398	41.1/173	-
2022	-	-	212.2/1443	-	-	34.8/122	87.8/369	-
2023	20.1/181	10.2/26	402.1/2731	35.8/79	71.3/306	39/136	39.2/165	439/2370
2024	53.7/510	121.9/305	166.6/1133	27.1/60	36.6/157	86.7/303	55.3/232	367.3/1983

* В числителе – площадь размыва в м², в знаменателе – объём размыва в м³; средние многолетние значения выделены п/ж

Источник: данные авторов

связан, например, с небольшим оползнем-обвалом или обрушением одиночного дерева вместе с мощной корневой системой. В данном случае максимальные значения площади и объёма размыва были зафиксированы в 2006 г. (табл. 2), когда на реке в апреле был зафиксирован наивысший уровень (912 см) за весь рассматриваемый период. В 2005 г. площади и объёмы размыва были существенно ниже, в тот год были заметно ниже и среднемесячные расходы в апреле (39.6 м³/с). Существенные размывы в 2007 и 2010 г. хорошо коррелируют с высокими уровнями половодья в эти годы, когда они составили 830 и 807 см, соответственно.

Топографический план участков размыва по длине излучины выявил здесь особенности, существенно отличающиеся от ниже рассмотренных объектов (рис. 2). Анализ топографического плана и крупномасштабной карты исследуемого участ-

ка показывает, что излучина данной реки, согласно классификации МГУ [37], в морфогенетическом плане относится к типу свободных, а по внешнему виду — к сегментным. Съёмка осуществлялась в вершине излучины, которая характеризуется плавным уменьшением радиуса кривизны вниз по течению, соответственно наблюдается и аналогичное же возрастание ширины и площади размываемого участка вниз по течению. Участок выше по течению осложнён серией небольших оползней-обвалов.

Река Нылга

Тахеометрическая съёмка на р. Нылга (на Ю-З окраине с. Нылга), являющейся правым притоком р. Вала (рис. 1) осуществлялась с 2003 г. с 6-летним перерывом в 2015 г. С 2015 по 2020 г. и в 2022 г. проводились наблюдения только с применением реперов. Река на исследуемом участке

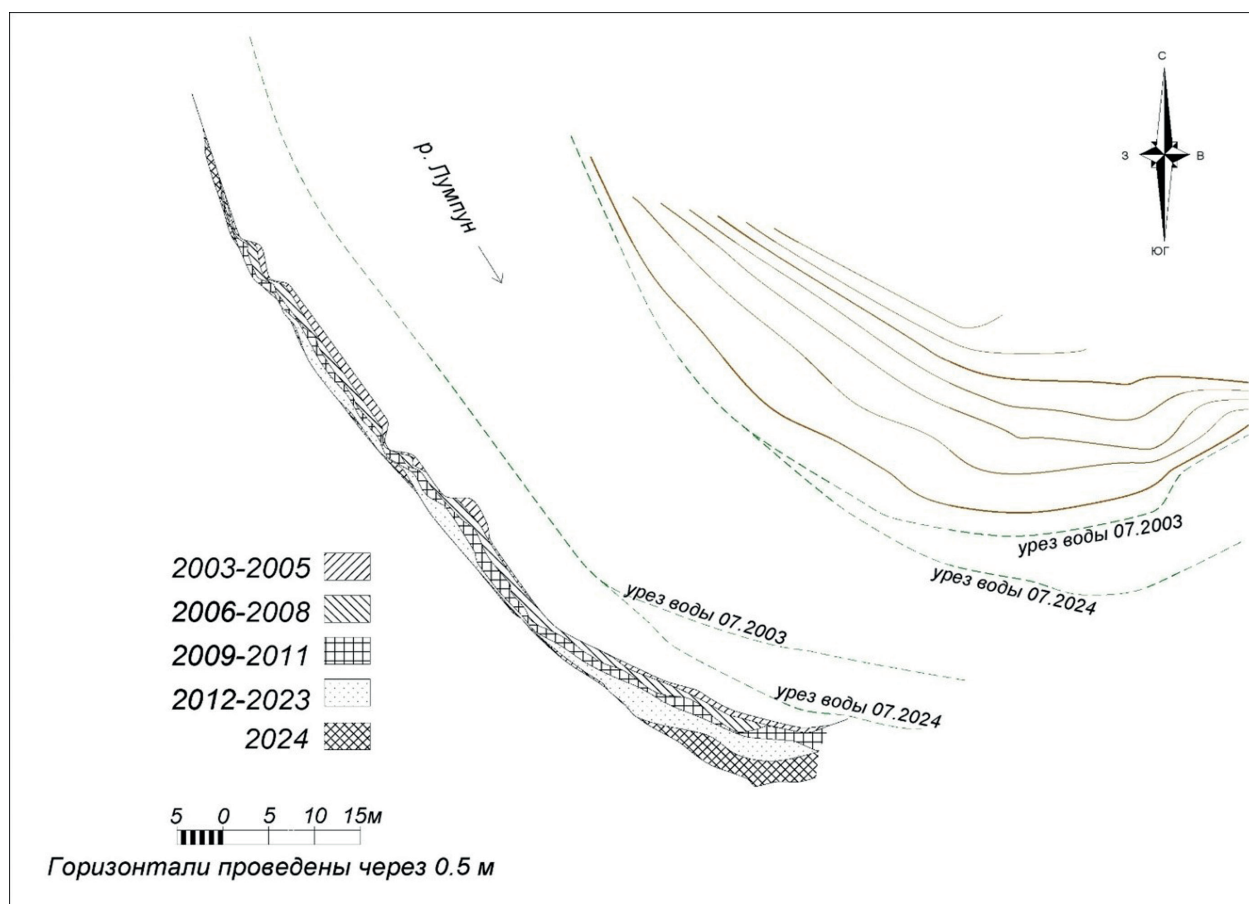


Рис. 2 / Fig. 2. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Лумпун (д. Харламовская Пристань) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Lumpun River (v. Kharlamovskaya Priistan) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

имеет порядок 8,3, средний многолетний расход реки у с. Нылга (1968–2010 гг.) равен $6,28 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный годовой был зарегистрирован весной 2014 г. и составил $95,8 \text{ м}^3/\text{с}$ [24], высоким данный показатель был и в 2013 г. ($93,1 \text{ м}^3/\text{с}$). Протяжённость береговой линии, где осуществляется геодезическая съёмка, составила в 2005 г. 330 м, а средняя высота размываемого берегового уступа – 2,5 м.

Анализ полученных данных показывает, что протяжённость размываемого участка на реке изменялась в значительных пределах: от 55 м в 2023 г. до 329 м в 2005 г., что соответствует 6-кратному уменьшению за указанный период. Наибольшие значения максимальной ширины размывов были зафиксированы в 2013 (3.29 м) и 2006 (3.23 м) годах (табл. 1). Максимальные же площади и объёмы размывов расположились по годам в несколько ином порядке: здесь в лидерах оказался 2005 г., затем

следует 2013 г. и на последнем месте оказался 2006 г. (табл. 2), что хорошо согласуется с высокими уровнями и расходами половодий.

По топографическому плану исследуемого участка видно, что излучина данной реки, в соответствии с выше упомянутой классификацией, относится также к свободной, но по внешнему виду она – петлеобразная. Наименьший радиус кривизны излучины находится чуть ниже по течению от шейки петли (наиболее узкая часть между соседними руслами), именно в этом месте фиксируются максимальные значения ширины размывов, достигающие в сумме до 15 м (рис. 3). На схеме отчётливо видно, что зона с максимальными размывами немного смещена вниз по течению от участка с наивысшей крутизной.

В верхней части излучины русло имеет существенно меньшую кривизну и соответственно там можно выделить 2 зоны:

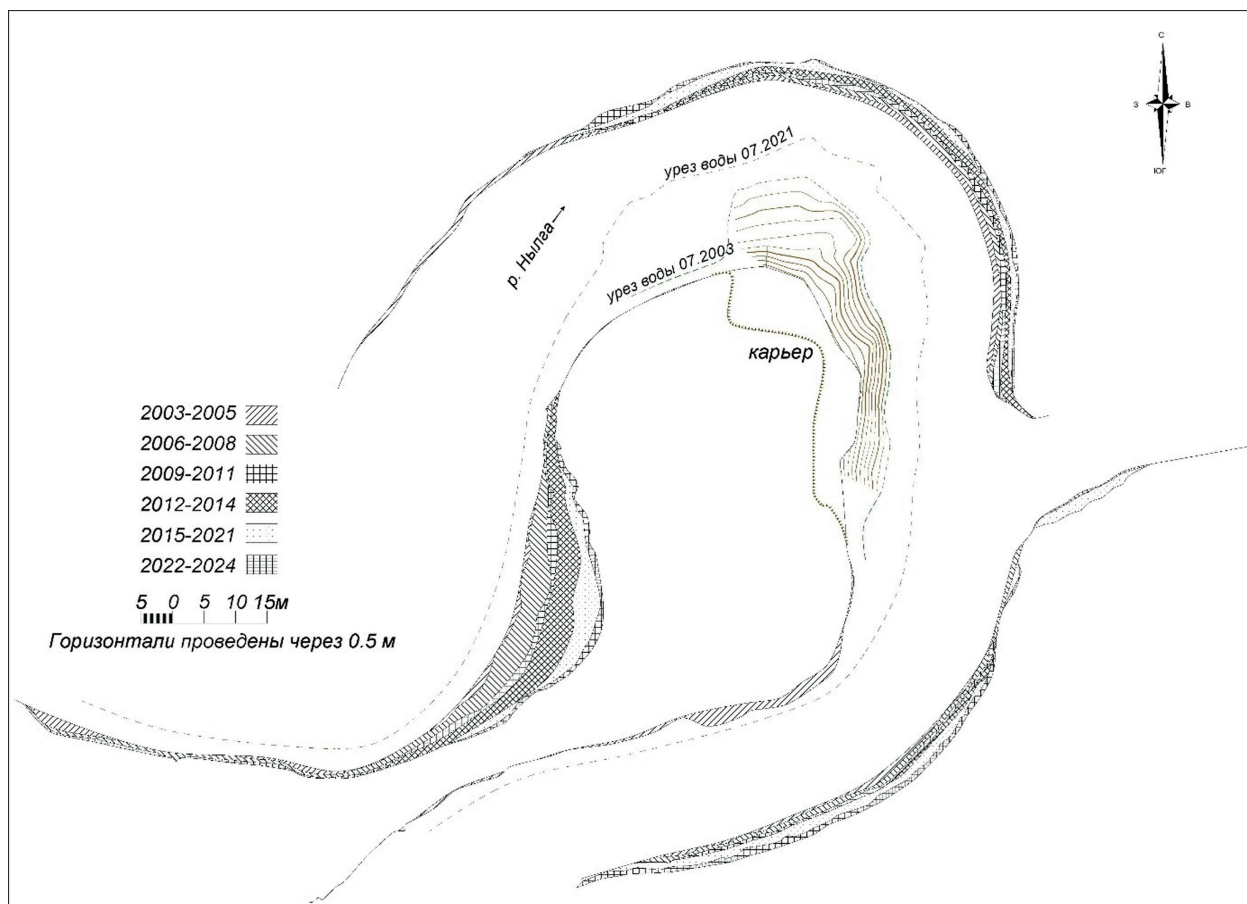


Рис. 3 / Fig. 3. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Нылга (с. Нылга) за 2003–2024 гг. / Scheme of the displacement of the eroding bank scarp on the Nylga River (Nylga village) for the years 2003–2024

Источник: составлено авторами

зону очень слабого размыва с малыми значениями кривизны (верхнее крыло, левый берег) и зону среднего размыва с более высокими показателями кривизны (вершина излучины). На противоположной стороне от шейки излучины ниже притока также можно выделить зону умеренного размыва (нижнее крыло, левый берег), уступающему по ширине размыва вершине излучины. В нижнем крыле излучины на её правом берегу выделяется ещё одна зона очень слабого размыва, где исследуемые процессы были зафиксированы лишь в первые годы наблюдения.

Река Кырыкмас

Наиболее продолжительный ряд непрерывных инструментальных наблюдений на малых реках в настоящее время имеется для реки Кырыкмас (лев. приток р. Иж) (рис. 1). Здесь геодезическая съёмка около д. Тавзямал (в 1100 м к Ю-В от окраины деревни) началась в 2003 г. и продолжается до настоящего времени. Перерывы в съёмочных работах по различным причинам были только в 2015 и 2022 г. Протяжённость береговой линии, где осуществляется тахеометрическая съёмка составляет 290 м, средняя высота размываемого берегового уступа, соответственно 6,8 м.

Ключевой участок расположен около 10 км выше устья реки. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,4, по размеру, расходам и ландшафтным условиям она близка к р. Позимь (лев. приток р. Иж), имеющей порядок 8,5. Поскольку на исследуемой реке отсутствует гидрологический пост, то для анализа динамики расходов мы использовали указанную реку в качестве аналога.

За 20-летний период наблюдений длина размываемой береговой линии здесь изменялась в значительных пределах: от 102 м в 2008 до 284 м в 2004 г. Среднегодовая ширина размывов на реке изменялась в небольших пределах: от 0,39 м (2015–2017 гг.) до 2 м и более (2010, 2021, 2023 гг.). Максимальные значения размывов варьировали более существенно: от 1,38 м до 3,5–8 м и более в 2012, 2019–2021 гг. (табл. 1). Наибольшие значения площадей и объёмов размывов отмечались в 2021, 2016, 2010 и 2012 г. (табл. 2).

Представленные данные показывают, что в нижнем течении р. Кырыкмас наибольшие значения протяжённости, ширины, площади и объёмов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, что свидетельствует о хорошо выраженной положительной (восходящей) тенденции во временной динамике исследуемого процесса. Положительный тренд подтверждается здесь и данными реперных наблюдений.

Корреляционный анализ максимальной ширины размывов на р. Кырыкмас за 2004–2021 гг. с максимальными годовыми расходами на р. Позимь за эти же годы показал достаточно значимую связь, о чём свидетельствуют значения коэффициентов корреляции ($r=0,617$) и детерминации ($R^2=0,381$) (рис. 4). Достоверная положительная связь выявлена также между площадями ($r=0,58$) и объёмами ($r=0,59$) размывов на р. Кырыкмас и максимальными годовыми расходами на р. Позимь за указанный период.

Пространственное распределение зон размыва представлено на топографическом плане участка (рис. 5). Согласно выше упомянутой классификации [35], данную излучину можно охарактеризовать как развитую сегментную, исследуемый участок находится в её нижнем крыле, где отчётливо выделяются 3 зоны размыва. Верхняя часть крыла соответствует зоне слабого размыва, достаточно протяжённая центральная часть характеризуется максимальными размывами, достигающими суммарно 24–25 м. В самой нижней части крыла излучины расположена 3-я зона умеренного размыва с наибольшей кривизной со значениями размыва до 8–10 м, куда в последние годы смещается зона интенсивного размыва.

Река Кильмезь

Аналогичные исследования проводятся и в верхнем течении р. Кильмезь (лев. приток р. Вятка) в д. Головизнин Язок в 50 м от автомобильного моста вниз по течению (рис. 1). Геодезическая съёмка береговой линии здесь осуществляется на протяжении 176 м, средняя высота размываемого берегового уступа – 2,8 м. Тахеометрическая съёмка на этом участке проводит-

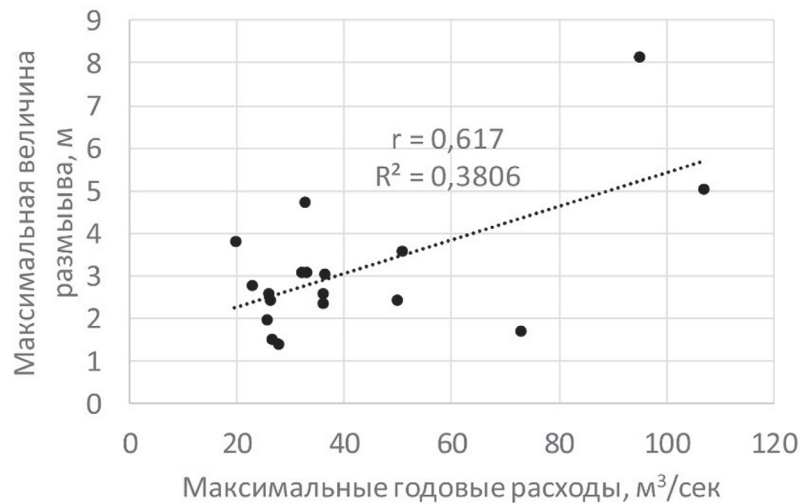


Рис. 4 / Fig. 4. График зависимости между максимальной величиной размыва на р. Кырыкмас и максимальными годовыми расходами на р. Позимь за 2004–2021 гг. / Graph of the relationship between maximum scour on the Kyrykmas River and maximum annual water flow on the Pozim River for the years 2004–2021

Источник: составлено авторами

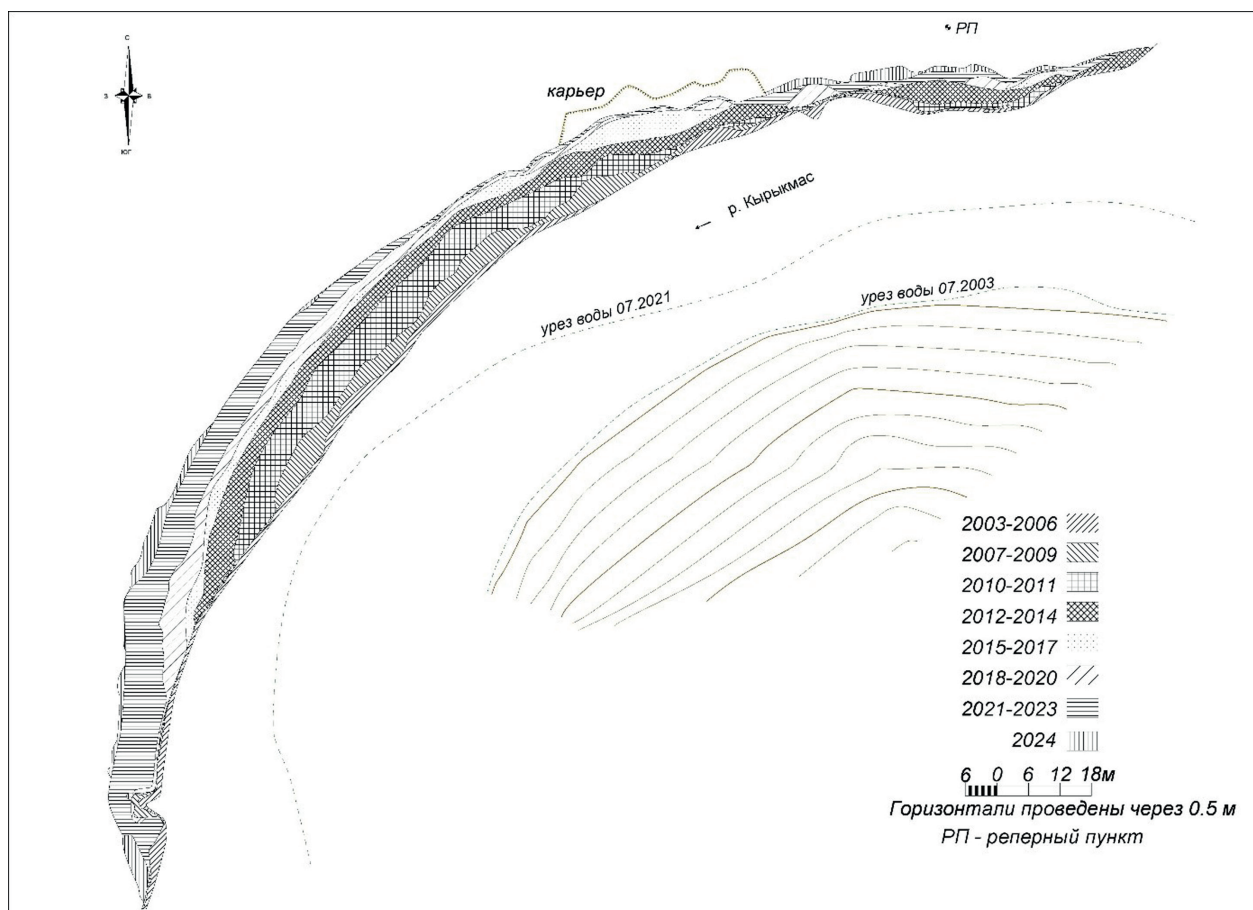


Рис. 5 / Fig. 5. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Кырыкмас (д. Тавзямал) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Kyrykmas River (v. Tavziamal) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

ся с 2003 г. с 8-летним перерывом после 2015 г., когда проводились только реперные наблюдения. Река на данном участке имеет порядок 8,7, средний многолетний расход реки у с. Малые Сюмси (45 км ниже по течению от исследуемого участка) составляет 24,9 м³/с. Максимальный среднегодовой расход был зарегистрирован в 1957 г. и составил 34,3 м³/с [24].

Длина линии размываемого участка изменялась в небольших пределах: от 90 м в 2009 г., до 175 м в 2023 г. Максимальные линейные размывы были зафиксированы в 2008 (2.49 м) и 2012 г. (2.46 м) (табл. 1). Максимальные площадные размывы немного отличаются от линейных, они были зарегистрированы в 2012 и 2014 г. В эти же годы отмечались и рекордные для ключевого участка объёмы размыва (табл. 2).

Анализ пространственного распределения участков размыва по длине излучины выявил некоторые особенности. В данном случае размывается относительно прямолинейный участок нижнего крыла сегментной излучины, незначительно осложнённый выступающими мысами, к которым и приурочены основные площади размыва. Участки же между мысами размываются незначительно.

Река Чепца (верхнее течение)

На р. Чепца (лев. приток р. Вятка) исследования русловых деформаций с применением инструментальных методов проводятся в её верхнем (д. Варни) и среднем течении (с. Адам) (рис. 1). Длина береговой линии в д. Варни (С-3 окраина деревни в 270 м вверх по течению от моста), где осуществляется съёмка, составляет 190 м. Средняя высота размываемого берегового уступа на этом ключевом участке равна 3,9 м. Тахеометрическая съёмка осуществлялась здесь с 2003 г. с 8-летним перерывом в 2015 г. Река на исследуемом участке имеет порядок 8,7, средний многолетний расход реки у с. Полом (1933–2018 гг.), расположенного в 28 км ниже по течению, равен 37,5 м³/с [2].

Протяжённость размываемого участка у д. Варни изменялась в небольших преде-

лах: от 88 м в 2013 до 184 м в 2023 г. Высокие значения максимальной ширины размывов зарегистрированы в 2012, 2007, 2013 и 2014 г. (табл. 1), когда на реке были зарегистрированы наибольшие значения расходов половодья. Высокие значения максимальных площадей и объёмов размывов были отмечены преимущественно в последние годы наблюдения, включая 2012, 2011, 2014 и 2015–2023 гг. (табл. 2). Максимальные расходы половодья были зарегистрированы именно в последние годы наблюдения: в 2016 (1010 м³/с), 2012 (617 м³/с), 2013 (585 м³/с) и 2014 г. (580 м³/с). Таким образом, в верховьях р. Чепца максимальные значения ширины, площади и объёмов размыва приурочены ко второй половине периода наблюдений, следовательно, здесь выявляется положительный тренд в многолетней динамике размыва берегов.

Пространственное распределение зон размыва иллюстрирует топографический план исследуемого участка, полученный при тахеометрической съёмке (рис. 6). На представленном рисунке показано нижнее крыло пологой сегментной излучины, имеющей сравнительно малую кривизну, где достаточно чётко выделяются 3 неравномерные по протяжённости зоны: зоны слабого размыва в самой верхней и самой нижней частях крыла, протяжённостью не более 20–25 м каждая и центральная зона сильного размыва, где ширина размыва достигает 8–12 м.

Таким образом, анализ динамики размывов на 5 малых реках показал, что на большинстве изучаемых участков ряд наблюдений по продолжительности недостаточный, чтобы делать уверенные заключения о тенденции их развития в перспективе. Исключением являются лишь одна река, где продолжительность регулярных наблюдений достаточная для утверждения о наблюдающейся положительной тенденции в динамике размывов за исследуемый период. Величина размывов на р. Кырыкмас имеет достаточно надёжную положительную связь с максимальными расходами половодья на реке Позимь, выбранной в качестве реки аналога.

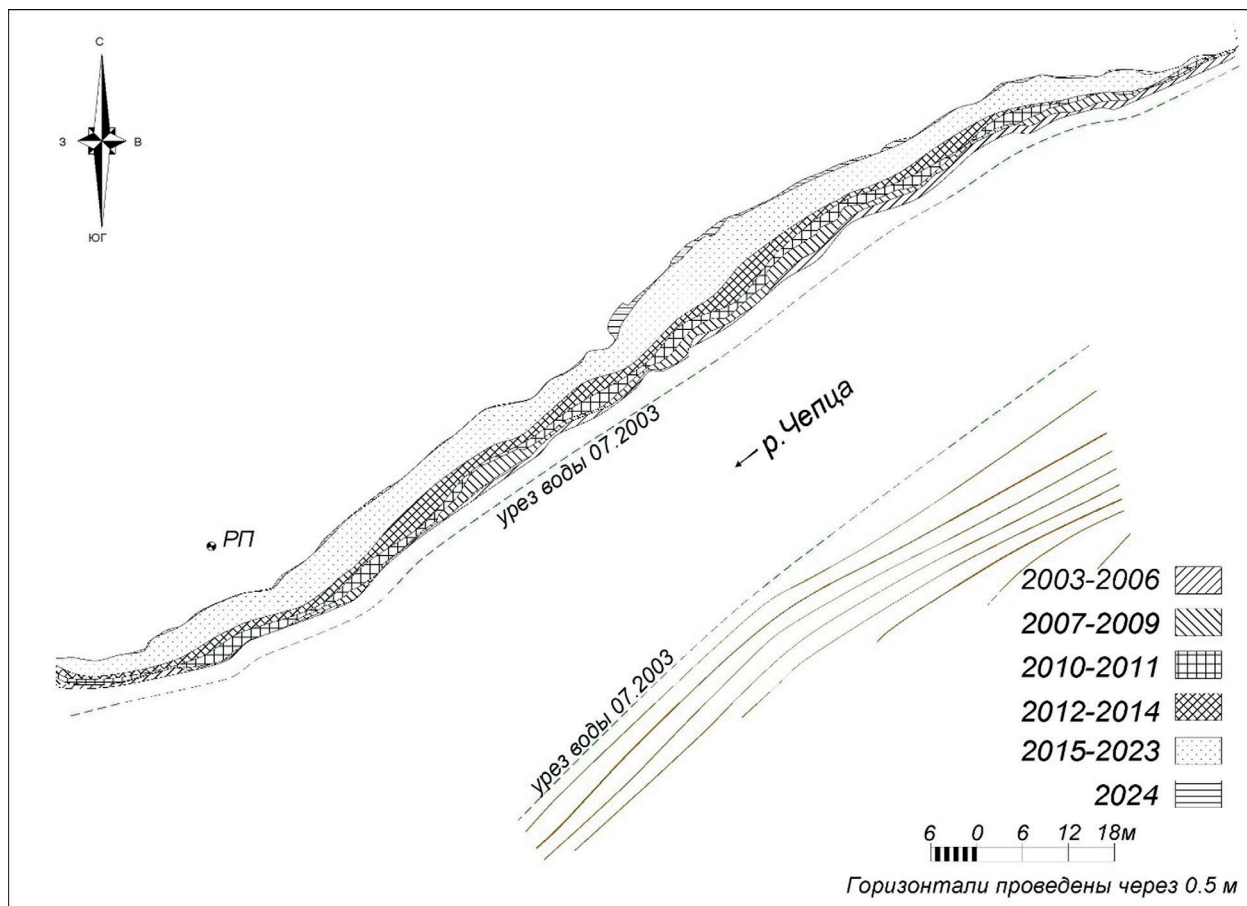


Рис. 6 / Fig. 6. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Чепца (д. Варни) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Cheptsya River (v. Varni) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

Средние реки

Река Вала

В следующей группе средних рек относятся реки Вала, Сива и Чепца. На р. Вала (лев. приток р. Кильмезь) на участке у д. Макарово (в 1,6 км от моста вниз по течению) тахеометрическая съёмка проводилась в течение 15 лет, начиная с 2003 г. В 2015–2019 гг. геодезическая съёмка не проводилась, в эти годы наблюдения осуществлялись с помощью реперов и марок. Средняя высота размываемого берегового уступа здесь составляет 4,2 м, а длина съёмки береговой линии – 314 м. Река на данном участке имеет порядок 9,3, средний многолетний расход реки у с. Вавож (1952–2018 гг.) составляет 22,4 м³/с. Максимальный расход был зарегистрирован 2 мая 1979 г. и составил 468 м³/с [2].

Здесь протяжённость размываемого участка излуины изменялась от 155 м (2006 г.) до более 300 м в 2020 и 2021 г.

Наибольшие значения средней ширины размывов отмечены в 2005, 2021 и 2011 г. (табл. 1). Наибольшие площади отступления береговых уступов здесь также не всегда совпадают по времени наибольшим линейным значениям. Так, существенные площади размыва отмечены в 2005, 2021, 2008 и 2004 г. (табл. 2).

Максимальные величины линейного и площадного размывов по годам соответствуют высоким значениям максимальных годовых расходов, так в 2005 г. он составил 217 м³/с, а в 2021 – 304 м³/с, что лишь незначительно уступает расходу 2016 г (319 м³/с), он наивысший за весь период исследований на реке. К сожалению, в этот год инструментальные наблюдения не проводились, а по данным реперных наблюдений в этот год здесь был зафиксирован второй по величине максимум среднегодового размыва за весь период наблюдений (0,8 м) и один из высоких значений

максимального размыва (1,4 м). Значительные вариации характерны и для объёмов размыва. Наиболее высокие объёмы размыва были зарегистрированы, как и в случае с площадями, в 2005, 2021 и 2008 г. (табл. 2). В 2008 г. максимальные расходы половодья были выше, чем в 2005 г. и составили 226 м³/с. Учитывая относительно короткий срок наблюдения и наличие 5-летнего перерыва, трудно сделать однозначные выводы о тренде в динамике процессов размыва на исследуемом участке.

Рассмотрим, как изменяются величины размывов в пределах исследуемой излучины, являющейся по типу свободной, а по внешнему виду сегментной (рис. 7). Для удобства анализа разделим исследуемый участок на 4 части с юга на север, затем на запад вниз по течению, при этом середина излучины (вершина) оказывается в том месте, где она имеет наибольшую кривизну.

Максимальные значения ширины и площадей размыва располагаются ниже по

течению от вершины излучины и в основном соответствуют третьей части излучины. Здесь суммарные размывы достигают 12–15 м. Вторая часть излучины, расположенная выше по течению, немного уступает по величине размывов от ниже расположенного участка. На 3 месте по величине размыва находится нижняя (четвёртая) часть излучины. Наименьшая зона размыва расположена в самой верхней части излучины, где прослеживаются локальные оползни-обвалы в береговых уступах.

О расположении максимальных участков размыва ближе к нижнему крылу излучины описывается также в исследованиях на р. Керженец в Нижегородском Заволжье [13; 14]. Механизм размыва излучин и отложения наносов в русловом потоке весьма дискутируемый и не до конца разработанный вопрос. Критический обзор различных гипотез содержится в многочисленных трудах как отечественных, так и зарубежных учёных [11; 12; 16; 17; 31; 33; 37; 44; 45; 46; 50; 51].

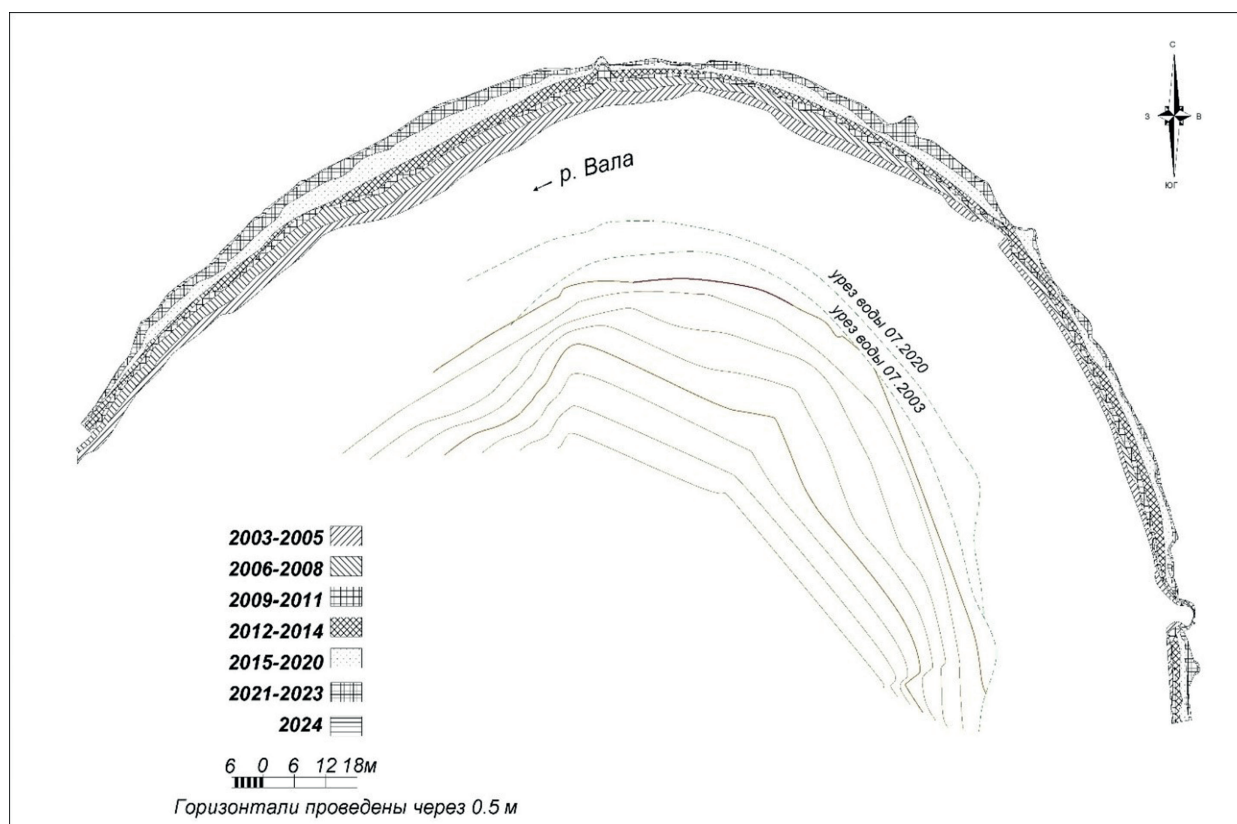


Рис. 7 / Fig. 7. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Вала (д. Макарово) за 2003–2024 гг. / Scheme of the displacement of the eroding bank scarp on the Vala River (v. Makarovo) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

Река Сива

На р. Сива (прав. приток р. Кама) у д. Метляки геодезическая съёмка береговых размывов осуществляется на 2 площадках. Здесь представлены данные лишь по первой площадке, расположенной в 500 м к западу от северной окраины деревни (рис. 1). Протяжённость рассматриваемой площадки, где осуществляется тахеометрическая съёмка, составляет 300 м, средняя высота размываемого берегового уступа 3,5 м. Инструментальная съёмка здесь проводится с 2003 г. с перерывом в 2017–2019 гг. Река на исследуемом участке имеет порядок 10,8, средний многолетний расход реки у с. Гавриловка (1991–2018 гг.), расположенного в 9 км выше по течению, равен 22,27 м³/с, максимальный годовой расход был зарегистрирован в 2021 г. и составил 260 м³/с [2].

За рассматриваемый период протяжённость размываемого участка излучины варьировалась от 115 м в 2015 г. до 283 м в 2007 г. Величины средней ширины отступания береговых уступов изменялись от 0,22 м (2022 г.) до 1,99 м (2010 г.), при этом значительные показатели были получены также в 2006 и 2012 г. Высокие значения максимальной ширины размывов были зарегистрированы в 2012, 2006, 2015, 2016 и 2010 годах (табл. 1). В эти же годы на реке были зарегистрированы наиболее высокие половодные расходы. Наибольшие значения площадей и объёмов размывов были зарегистрированы в 2006, 2010–2012 и 2016 г. (табл. 2).

Анализ максимальных значений ширины, площади и объёма размывов свидетельствует о наличии слабо выраженной положительной тенденции в динамике развития береговых размывов на р. Сива. Анализ же максимальных годовых (половодных) расходов на реке свидетельствует о явно выраженном положительном тренде, что особенно заметно, начиная с 2010 г.

Изучение топографического плана исследуемого участка показывает, что здесь представлена часть нижнего крыла развитой сегментной излучины свободного типа с достаточно выраженной кривизной в её вершине, где и фиксируются максимальные значения ширины и площади раз-

мывов, суммарно достигающие 18–20 м (рис. 8). В зоне максимальной кривизны излучины находится активно растущий пойменный овраг и локальное оползневое обрушение берегового уступа, образовавшееся в 2014 г. Здесь также отмечается классическое смещение максимальной зоны размыва к нижнему крылу излучины, о чём указывалось выше.

Река Чепца (среднее течение)

Тахеометрическая съёмка в среднем течении р. Чепца у с. Адам (в 1,2 км на Ю-3 от западной окраины села) проводилась в те же годы, что и на выше рассмотренном участке. Длина участка, где проводится геодезическая съёмка наиболее протяжённая и составляет 533 м. Средняя высота размываемого берегового уступа здесь – 5,6 м. Протяжённость размываемого участка изменялась в следующих пределах: от 291 м в 2008 г. до 533 м в 2023 г., при этом наиболее высокие значения отмечались в последние 12 лет: в 2011–2013 и 2015–2023 гг.

Река на исследуемом участке имеет порядок 11,8, средний многолетний расход реки у г. Глазов (1937–2018 гг.), расположенного в 10 км ниже по течению, равен 65,8 м³/с, максимальный суточный расход был зарегистрирован 6 мая 1979 г. и составил 1800 м³/с [2].

Средняя ширина размыва на участке изменялась в небольших пределах: от 0,25 м в 2004 г. до более 2 м в 2006 и 2012 г. Наибольшие значения максимальной ширины размывов были зафиксированы в 2006, 2012, 2013 и 2014 г. (табл. 1). Наиболее высокие значения площадей и объёмов размывов отмечены в 2012, 2006, 2013, 2014 и 2015–2023 гг. (табл. 2).

В указанные годы были зарегистрированы и максимальные годовые расходы: 1130 м³/с (2006 г.), 1010 м³/с (2012 г.), 962 м³/с (2013 г.), 895 м³/с (2014 г.), наивысший же расход за последние 25 лет был отмечен в 2016 г. и составил 1409 м³/с. Именно аномальное половодье 2016 г. и обеспечило высокие показатели размыва за последние 9 лет. Достаточно высоким было половодье и в 2021 г., когда максимальные расходы достигли 934 м³/с. Приведённые данные показывают, что в

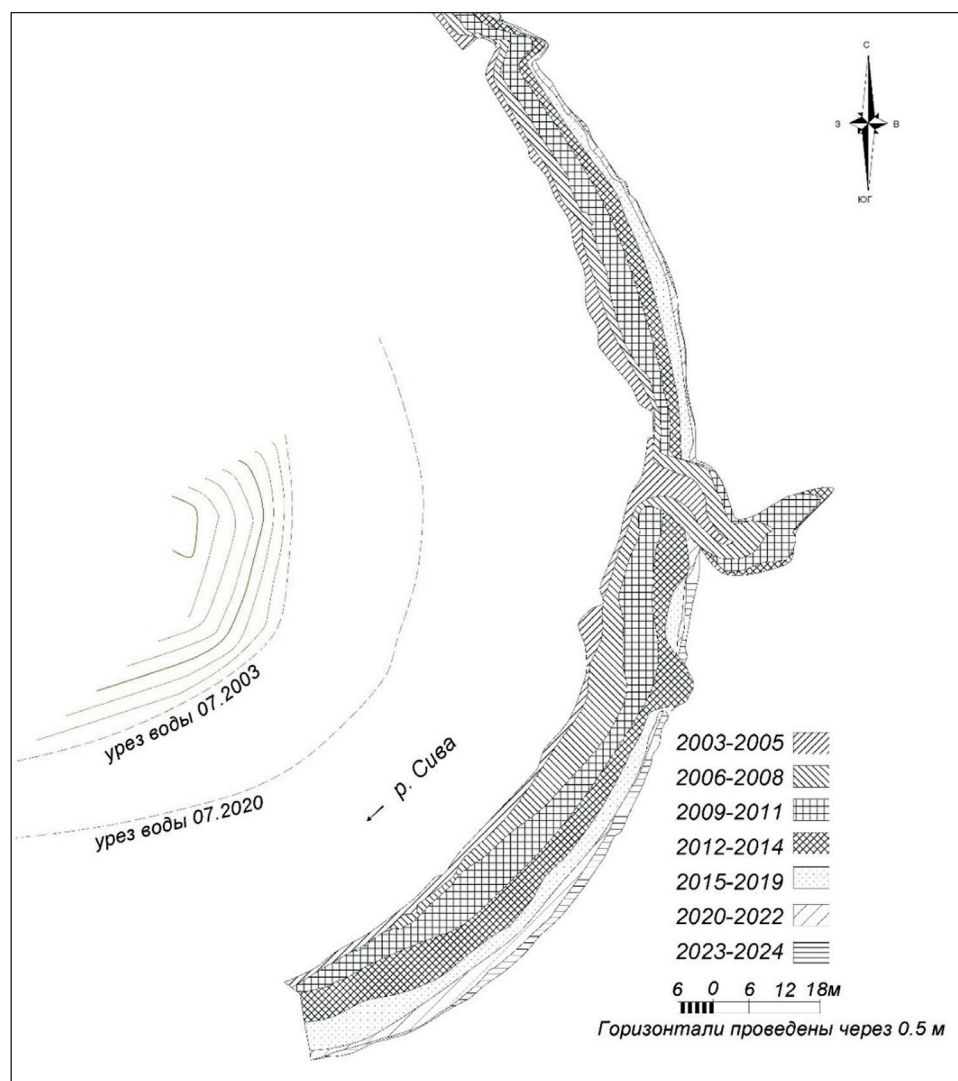


Рис. 8 / Fig. 8. Схема смещения размываемого берегового уступа на р. Сива (д. Метляки) за 2003–2024 гг. / Scheme of displacement of the eroding bank scarp on the Siva River (v. Metlyaki) for 2003–2024

Источник: составлено авторами

среднем и верхнем течении р. Чепца максимальные значения ширины, площади и объёмов размыва, приурочены ко второй половине периода наблюдений, следовательно, и на этих участках выявляется хорошо выраженный положительный тренд в динамике показателей размыва берегов.

Анализ топографического плана исследуемого участка показывает, что здесь представлено нижнее крыло пологой сегментной излучины с достаточно малой кривизной. В верхней части крыла наблюдаются 2 мысовидных выступа, к которым приурочены локальные максимумы размывов, достигающие 25 м и более. На остальной территории зоны размыва относительно однородные, за исключением

самой верхней и нижней частей крыла, где ширина размыва заметно уменьшается.

Поскольку для выше рассмотренных участков на реках имеются гидрологические посты с данными о среднегодовых и максимальных годовых (половодных) расходах, включая период с 2004 по 2015 г., то нами был проведён корреляционный анализ между максимальной шириной размыва и показателями стока. Корреляционная связь между максимальной шириной размыва и среднегодовыми расходами на р. Сива (Гавриловка) и р. Чепца (Глазов) не обнаружена, поскольку они сглаживаются меженными расходами и характеризуются незначительными вариациями. Связь же с максимальными годо-

выми расходами на р. Чепца получилась очень высокой ($r=0,899$), а для р. Сива высокой ($r=0,600$) (рис. 9). На р. Чепца для участка у с. Адам связь между площадью и объёмом размыва с одной стороны и максимальными годовыми расходами с другой, также оказалась высокой и получилась равной для обеих показателей ($r=0,787$). Аналогичная ситуация возникла и для р. Сива на участке Метляки, где зависимость площадей и объёмов размыва от максимальных годовых расходов также высокая ($r=0,794$) и превышает показатель связи с максимальной шириной размывов. Полученные показатели связи во всех случаях достоверны [15].

Анализ размывов на 3 средних реках показал, что главным фактором, обеспечивающим размыв береговых уступов в условиях свободного развития излучин

являются максимальные годовые расходы, наблюдающиеся в период весеннего половодья. Участки с наибольшими размывами часто приурочены к нижнему крылу излучины и немного смещены (или смещаются) вниз по течению от точек с наибольшей кривизной.

В литературе приводятся сведения в основном о средних многолетних размывах береговых уступов для крупных и крупнейших равнинных рек России, достигающих 10–15 м/год, но также имеются публикации о боковых размывах до 200 м в год [18; 19; 25; 27; 36; 38, 47; 49]. По данным стационарных наблюдений на малых и средних реках Европейской части России среднегодовые величины смещения береговых уступов редко превышают 2–4 м, в основном они варьируют в пределах 0,2–1,5 м [10].

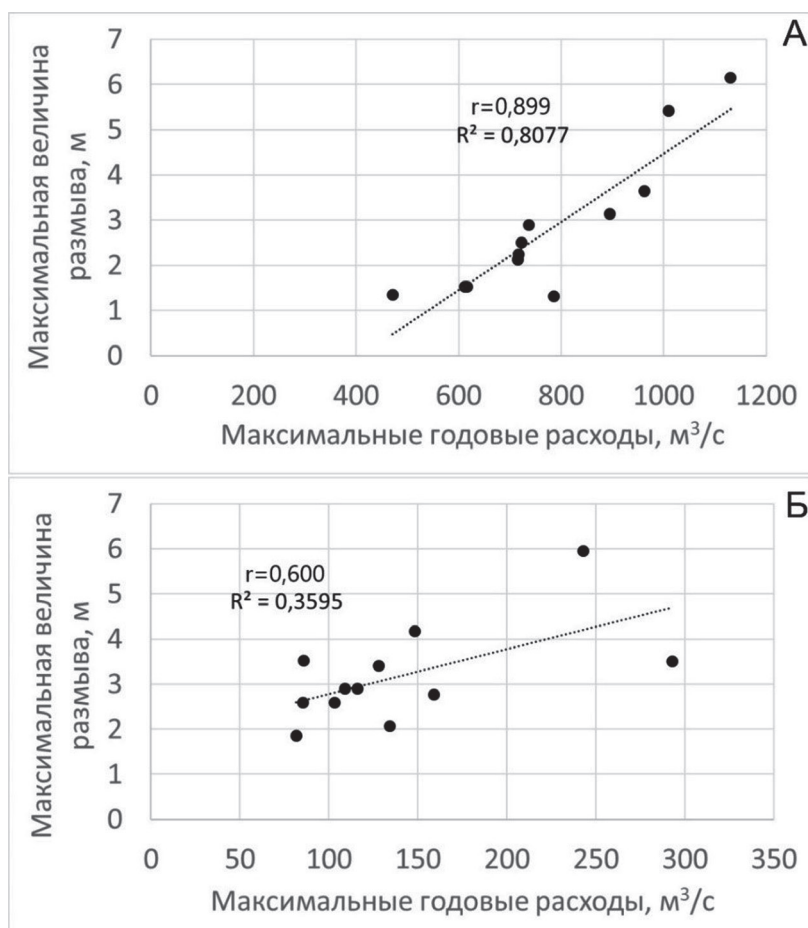


Рис. 9 / Fig. 9. Зависимости между максимальной шириной размыва на р. Чепца у с. Адам (А) и р. Сива у д. Метляки (Б) и их максимальными годовыми расходами за 2004–2015 гг. / Dependencies between the maximum scour width on the Cheptsya River near Adam village (A) and the Siva River near Metlyaki village (B) and their maximum annual discharges for 2004–2015

Источник: составлено авторами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних инструментальных наблюдений показал, что для средних рек (реки Вала, Чепца в среднем течении и Сива) наибольшие значения ширины размыва достигают 6,15 м/год, а высота размываемого берегового уступа изменяется от 3,5 м на р. Сива до 5,6 м на р. Чепца. В пространственном отношении размываемые участки приурочены к участкам излучин с наибольшей кривизной или смещены ниже по течению, что можно объяснить усилением здесь скорости винтообразного течения. В многолетней динамике размывов на р. Чепца отчётливо прослеживается положительный тренд, что связано, прежде всего, с возросшими расходами. На р. Вала из-за больших перерывов в съёмках после 2015 г. о каких-либо тенденциях в динамике судить невозможно. На р. Сива в отношении многолетней динамики размывов отмечается слабая положительная тенденция, подтверждаемая высокими половодными расходами в последние годы.

Для малых рек (Кильмезь, Лумпун, Нылга, Кырыкмас и верхняя Чепца) наибольшие величины размывов изменяются в значительных пределах: от 2,3 м (р. Лумпун) до 8,1 м (р. Кырыкмас), следовательно, по максимальным значениям они даже превышают некоторые средние значения реки. Средняя высота размываемого уступа на указанных реках изменяется от 2,5 м (р. Нылга) до 6,8 м (р. Кырыкмас) и даже 8,8 м на р. Лумпун. Расположение размываемых участков в пределах различных видов излучин характеризуется локальными особенностями, но чаще приурочены к участкам с наибольшей крутизной. В каждом случае можно выделить несколько зон с различной интенсивностью размыва, что связано с морфолого-морфометрическими и литологическими особенностями. В данной группе только на р. Кырыкмас, для которой отмечается лишь 2-летний перерыв в тахеометрических съёмках, отчётливо выражен положительный (восходящий) тренд в динамике русловых размывов, что подтверждается возросшими половодными расходами в бассейне р. Иж.

Установлена очень тесная связь между максимальной шириной размыва на

р. Чепца (с. Адам) и максимальными годовыми расходами реки за период с 2004 по 2015 г., о чём свидетельствуют очень высокие коэффициенты корреляции ($r=0.899$). Достаточно тесная связь получилась с площадью и объёмом размывов за указанные годы ($r=0.787$). На р. Сива корреляционная связь между максимальной шириной размыва и максимальными годовыми расходами за указанный период оказалась чуть ниже ($r=0.600$), но тоже существенная. Показатель же связи с площадным и объёмным размывами получился более значимым ($r=0.794$). Корреляционный анализ максимальной ширины размывов на р. Кырыкмас за 2004–2021 гг. с максимальными годовыми расходами на реке аналоге также показал достаточно значимую связь ($r=0,617$). Связь рассматриваемых показателей со среднегодовыми расходами не выявлена, поскольку они сглаживаются межгодовыми расходами и характеризуются незначительными вариациями.

Выявлению роли других факторов (состав размываемых пород, параметры излучин и др.), определяющих интенсивность размыва берегов рек, будет посвящена отдельная статья.

Полученные результаты могут быть использованы как для аналогичных рек Удмуртии, так и рек равнинных территорий Европейской части РФ. Необходимость многолетних полевых исследований размывов береговых уступов рек с применением современных инструментальных методов определяется важностью выявления закономерностей русловых процессов для составления надёжных прогнозов их развития в конкретных ландшафтно-геоморфологических условиях с целью предотвращения опасных геоэкологических ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антроповский В. И. Гидролого-морфологические закономерности и фоновые прогнозы переформирования русел рек. СПб., 2006. 216 с.
2. Атлас Удмуртской Республики / под ред. И. И. Рысина. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.
3. Беркович К. К. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.

4. Гафуров А. М., Рысин И. И., Голосов В. Н. и др. Оценка современного роста вершин оврагов южного мегасклона Восточно-Европейской равнины с применением набора инструментальных методов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 5. С. 61–71.
5. Григорьев И. И., Рысин И. И. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии с применением ГИС-технологий // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о земле. 2008. Вып. 1. С. 49–58.
6. Григорьев И. И., Рысин И. И. Применение геоинформационных систем при исследованиях техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии // Геоморфология. 2009. № 1. С. 69–75.
7. Григорьев И. И., Рысин И. И. Использование беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) с применением цифровых технологий в географических исследованиях // Цифровая география: мат-лы конф. Т. 1: Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов в экологии, природопользовании и гидрометеорологии / под ред. С. В. Пьянкова и др. Пермь, 2020. С. 54–57.
8. Джуха И. Г., Чалов Р. С. Морфология и динамика русла р. Юг как пример руслоформирующей деятельности малой реки // Геоморфология. 1989. № 1. С. 83–91.
9. Завадский А. С., Чалов Р. С. Региональный анализ свободного меандрирования // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1997. № 3. С. 32–36.
10. Завадский А. С., Лобанов Г. В., Петухова Л. Н. и др. Результаты стационарных исследований русловых процессов на реках ЕТР // Эрозионные и русловые процессы: сб. трудов. Вып. 5. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 220–251.
11. Замышляев В. И. О причинах меандрирования рек (обзор работ зарубежных авторов) // Вопросы гидрологии суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 133–141.
12. Знаменская Н. С. Донные наносы и русловые процессы. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 192 с.
13. Кораблева О. В., Чернов А. В. Динамика пойменно-русловых комплексов рек Нижегородского Заволжья (на примере реки Керженец). Н. Новгород: Государственный природный биосферный заповедник «Керженский», 2012. 196 с.
14. Кораблева О. В., Чернов А. В. Современная динамика пойменно-русловых комплексов средней реки Керженец (по мониторинговым наблюдениям 2001–2018 гг.) // Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения. М.: ИВП РАН, 2019. С. 172–176.
15. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
16. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
17. Матвеев Б. В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на образование и морфологию речных излучин // Геоморфология. 1985. № 3. С. 51–57.
18. Махинов А. Н., Ким В. И., Аношкин А. В. и др. Преобразование локальных пойменно-русловых систем рек Амур и Усури как фактор возникновения трансграничных проблем // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 2. С. 61–68.
19. Михайлова Н. М., Турыкин Л. А., Ботвин Д. В. Особенности деформации русел полугорных участков рек бассейна р. Кубани // Тридцать восьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и сообщения. Пермь, 2023. С. 161–163.
20. Мозжерин В. И., Курбанова С. Г. Деятельность человека и эрозионно-русловые системы Среднего Поволжья. Казань: Арт. Дизайн, 2004. 128 с.
21. Назаров Н. Н., Егоркина С. С. Реки Пермского Прикамья: Горизонтальные русловые деформации. Пермь, 2004. 155 с.
22. Назаров Н. Н., Копытов С. В. Этапы формирования речной сети бассейна верхней Камы в плейстоцене // Учёные записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020. Т. 162. Кн. 1. С. 180–200. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.180-200
23. Назаров Н. Н., Копытов С. В. История перестройки русловых систем Камско-Кельтминской низменности в позднем плейстоцене – голоцене // Географический вестник. 2020. № 4. С. 6–19. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-6-19
24. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / под ред. В. Ю. Георгиевского. Ливны, 2015. 135 с.
25. Павлов И. Н. Морфология русел рек равнинной части Алтайского края // Геоморфология. 1994. № 3. С. 78–85.
26. Петухова Л. Н., Рысин И. И. Факторы русловых процессов и их влияние на морфодинамику русел рек Удмуртии // Геоморфология. 2006. № 4. С. 70–78.
27. Попов И. В., Кондитерева Э. А. Прогноз русловых деформаций Волги на участке

- Саралёвского водного узла в связи с проектированием улучшения его судоходных условий // Труды ГГИ. 1974. № 216. С. 65–93.
28. Рысин И. И., Петухова Л. Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Научная книга, 2006. 176 с.
29. Рысин И. И., Григорьев И. И., Петухова Л. Н. и др. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. С. 269 – 280.
30. Рысин И. И., Григорьев И. И., Петухова Л. Н. и др. Многолетняя динамика скоростей горизонтальных русловых размывов на реках Удмуртии // Геоморфология и палеогеография. 2024. № 1. С. 24–37. DOI: 10.31857/S2949178924010033
31. Сидорчук А. Ю., Махинов А. Н. Морфология и динамика руслового рельефа. М.: ВИНТИ, 1985. 163 с.
32. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М.: Высшая школа, 1970. 456 с.
33. Чалов Р. С., Алабян А. М., Иванов В. В. и др. Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
34. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
35. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
36. Чалов Р. С., Завадский А. С., Рулева С. Н. и др. Морфология, деформации, современные изменения русла р. Лены и их влияние на хозяйственную инфраструктуру в районе г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 3. С. 22–35.
37. Чалов Р. С., Завадский А. С., Панин А. В. Речные излучины. М.: Из-во МГУ, 2004. 371 с.
38. Чалов Р. С., Завадский А. С., Ботавин Д. В. и др. Покровско-Якутский водный узел на р. Лене: современные деформации и управление русловыми процессами // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 6. С. 83–96.
39. Чалов Р. С., Чернов А. В., Беркович К. М. и др. География проявления русловых процессов на реках России // Известия Русского географического общества. 2017. Т. 149. Вып. 4. С. 13–33.
40. Чалов Р. С., Голубцов Г. Б., Куракова А. А. Прямолинейные неразветвлённые русла: морфологическое разнообразие и типизация // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025. Т. 80, № 1. С. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7
41. Чернов А. В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: ООО «Крона», 2009. 614 с.
42. Шайдеггер А. Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.
43. Эрозионно-русловые системы / под ред. Р. С. Чалова, В. Н. Голосова, А. Ю. Сидорчука. М.: ИНФРА-М, 2017. 702 с.
44. Egozi R., Ashmore P. Experimental analysis of braided channel pattern response to increased discharge // Journal of Geophysical Research. 2009. P. 941–962. DOI: 10.1029/2008JF001099
45. Knighton A. D. The meander problem // Geography. 1977. № 275. Vol. 2. P. 106–111.
46. Knighton A. D. Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. London: Arnold, 2014. 400 p.
47. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., et al. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychegda region in northwestern Russia // Boreas. 2014. Vol. 43. P. 759–779. DOI: 10.1111/bor.12080
48. Petukhova L. N., Rysin I. I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation // Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains / eds. R. S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemien. Cracow, 2006. P. 119–131.
49. Robert A. River processes: an introduction to fluvial dynamics. London: Arnold, 2003. 214 p.
50. Schuurman F., Kleinhans M. G. Bar dynamics and bifurcation evolution in a modelled braided sand-bed river // Earth Surface Processes and Landforms. 2015. Vol. 40. Iss. 10. P. 1318–1333. DOI: 10.1002/esp.3722
51. Yang C. T. On river meanders // Journal of Hydrology. 1971. Vol. 13. P. 231–233.
52. Yermolaev O. P., Golosov V. N., Kumani M. V., et al. Recent changes in sediment redistribution in the upper parts of the fluvial system of European Russia: regional aspects // Sediment Dynamics from the Summit to the Sea / eds. Y. Jun Xu, M. A. Allison, et al. 2015. Vol. 367. P. 333–339. DOI: 10.5194/piahs-367-333-2015

REFERENCES

1. Antropovsky V. I. *Gidrologicheskiye i morfologicheskiye zakonomernosti i fonovyye prognozy re-*

- konstruktsii rusla reki* [Hydrological and Morphological Patterns and Background Forecasts of River Channel Reformation]. St. Petersburg, 2006. 216 p.
2. Rysin I. I., ed. *Atlas Udmurtskoy Respubliki* [Atlas of the Udmurt Republic]. Moscow: Feoriya Publ.; Izhevsk: Udmurtia Publ., 2020. 288 p.
 3. Berkovich K. K. *Geograficheskiy analiz antropogennykh izmeneniy ruslovykh protsessov* [Geographical Analysis of Anthropogenic Changes in Channel Processes]. Moscow: GEOS, 2001. 164 p.
 4. Gafurov A. M., Rysin I. I., Golosov V. N., et al. [Assessment of the Modern Growth of Gully Tops on the Southern Megaslope of the East European Plain Using a Set of Instrumental Methods]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2018, no. 5, pp. 61–71.
 5. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Studies of man-made and agricultural gullies in Udmurtia using GIS technologies]. In: *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Series: Biology. Earth Sciences], 2008, iss. 1, pp. 49–58.
 6. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Application of geographic information systems in the study of man-made and agricultural gullies in Udmurtia]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2009, no. 1, pp. 69–75.
 7. Grigoriev I. I., Rysin I. I. [Use of an unmanned aerial vehicle (quadcopter) using digital technologies in geographical research]. In: Pyankov S. V., et al. *Tsifrovaya geografiya: konf. tom. 1: Tsifrovyye i geoinformatsionnyye tekhnologii v izuchenii prirodnykh protsessov v ekologii, prirodopol'zovanii i gidrometeorologii* [Digital geography: conf. Vol. 1: Digital and Geoinformation Technologies in the Study of Natural Processes in Ecology, Nature Management, and Hydrometeorology]. Perm, 2020, pp. 54–57.
 8. Dzhukha I. G., Chalov R. S. [Morphology and Dynamics of the Yug River Channel as an Example of the Channel-Forming Activity of a Small River]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1989, no. 1, pp. 83–91.
 9. Zavadskiy A. S., Chalov R. S. [Regional Analysis of Free Meandering]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 1997, no. 3, pp. 32–36.
 10. Zavadskiy A. S., Lobanov G. V., Petukhova L. N., et al. [Results of stationary studies of channel processes on the rivers of the European Russian Region]. In: *Eroziya i ruslovyye protsessy: sobraniye sochineniy. Vyp. 5* [Erosion and channel processes. Issue 5]. Moscow: MAKS Press, 2010. P. 220–251.
 11. Zamyshlyayev V. I. [On the Causes of River Meandering (a Review of Works by Foreign Authors)]. In: *Trudy po gidrologii sushy* [Proceedings on Land Hydrology]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1978, pp. 133–141.
 12. Znamenskaya N. S. *Donnyye otlozheniya i ruslovyye protsessy* [Bottom Sediments and Channel Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 192 p.
 13. Korableva O. V., Chernov A. V. *Dinamika poymenno-ruslovykh kompleksov rek Nizhegorodskogo Zavolzhskogo kraya (na primere reki Kerzhenets)* [Dynamics of Floodplain-Channel Complexes of Rivers in the Nizhny Novgorod Trans-Volga Region (using the Kerzhenets River as an Example)]. Nizhny Novgorod: Kerzhensky State Nature Biosphere Reserve, 2012. 196p.
 14. Korableva O. V., Chernov A. V. [Current dynamics of floodplain-channel complexes of the middle Kerzhenets River (based on monitoring observations in 2001–2018)]. In: *Nauchnyye problemy uluchsheniya sostoyaniya rossiyskikh rek i puti ikh resheniya* [Scientific problems of improving the health of Russian rivers and ways to solve them]. Moscow: Institute of Water Problems RAS Publ., 2019, pp. 172–176.
 15. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p.
 16. Makkaveev N. I. *Ruslo reki i eroziya v yeyo basseyne* [River bed and erosion in its basin]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1955. 347 p.
 17. Matveev B. V. [Influence of geological and geomorphological factors on the formation and morphology of river bends]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1985, no. 3, pp. 51–57.
 18. Makhinov A. N., Kim V. I., Anoshkin A. V., et al. [Transformation of local floodplain-channel systems of the Amur and Ussuri rivers as a factor in the emergence of transboundary problems]. In: *Regionalnyye problemy* [Regional problems], 2018, vol. 21, no. 2, pp. 61–68.
 19. Mikhailova N. M., Turykin L. A., Botavin D. V. [Features of channel deformation in semi-mountain sections of rivers in the Kuban River basin]. In: *Tridsat vosmoye plenarnoye mezhuniversitetskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozii, ruslovykh i estuarnykh protsessov: doklady i soobshcheniya* [Thirty-eighth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes: reports and communications]. Perm, 2023, pp. 161–163.
 20. Mozzherin V. I., Kurbanova S. G. *Chelovecheskaya deyatelnost i erozionno-ruslovyye sistemy*

- Srednego Povolzhya* [Human activity and erosion-channel systems of the Middle Volga region]. Kazan: Art. Design Publ., 2004. 128 p.
21. Nazarov N. N., Egorkina S. S. *Reki Permsko-Kamskoy oblasti: Gorizontalnyye deformatsii rusla* [Rivers of the Perm Kama region: Horizontal channel deformations]. Perm, 2004. 155 p.
 22. Nazarov N. N., Kopytov S. V. [Stages of formation of the river network of the upper Kama basin in the Pleistocene]. In: *Nauchnyye zametki Kazanskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences], 2020, vol. 162, book 1, pp. 180–200. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.180-200
 23. Nazarov N. N., Kopytov S. V. [History of restructuring of channel systems of the Kama-Keltma Lowland in the Late Pleistocene – Holocene]. In: *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2020, no. 4, pp. 6–19. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-6-19
 24. Georgievskiy V. Yu., ed. *Nauchno-prikladnoy spravochnik: Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek Kamskoy kotloviny* [Scientific and Applied Handbook: Main Hydrological Characteristics of the Rivers of the Kama Basin]. Livny, 2015. 135 p.
 25. Pavlov I. N. [Morphology of River Channels in the Flat Part of Altai Krai]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1994, no. 3, pp. 78–85.
 26. Petukhova L. N., Rysin I. I. [Factors of Channel Processes and Their Impact on the Morphological Dynamics of River Channels in Udmurtia]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2006, no. 4, pp. 70–78.
 27. Popov I. V., Konditereva E. A. [Forecast of channel deformations of the Volga in the section of the Saralevskiy water node in connection with the design of improvement of its shipping conditions]. In: *Trudy Gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo instituta* [Proceedings of the State Hydrometeorological Institute], 1974, no. 216, pp. 65–93.
 28. Rysin I. I., Petukhova L. N. *Ruslovyye protsessy na rekakh Udmurtii* [Channel processes on the rivers of Udmurtia]. Izhevsk: Nauchnaya kniga Publ., 2006. 176 p.
 29. Rysin I. I., Grigoriev I. I., Petukhova L. N., et al. [Results of long-term studies of channel erosion on the rivers of Udmurtia]. In: *Eroziya i ruslovyye protsessy. Vyp. 7* [Erosion and channel processes. Issue 7]. Moscow, 2020, pp. 269–280.
 30. Rysin I. I., Grigoriev I. I., Petukhova L. N., et al. [Long-term dynamics of horizontal channel erosion rates on the rivers of Udmurtia]. In: *Geomorfologiya i paleogeografiya* [Geomorphology and paleogeography], 2024, no. 1, pp. 24–37. DOI: 10.31857/S2949178924010033
 31. Sidorchuk A. Yu., Makhinov A. N. *Morfologiya i dinamika relyefa rusla* [Morphology and Dynamics of Channel Relief]. Moscow: VINITI Publ., 1985. 163 p.
 32. Spiridonov A. I. *Osnovy obshchey metodologii polevykh geomorfologicheskikh issledovaniy i geomorfologicheskogo kartirovaniya* [Fundamentals of the General Methodology of Field Geomorphological Research and Geomorphological Mapping]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1970. 456 p.
 33. Chalov R. S., Alabyan A. M., Ivanov V. V., et al. *Morfodinamika rusel nizmennykh rek* [Morphodynamics of Lowland River Channels]. Moscow: GEOS, 1998. 288 p.
 34. Chalov R. S. *Issledovaniya rusel rek: teoriya, geografiya, praktika. Tom 1: Ruslovyye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rusla reki* [River Channel Studies: Theory, Geography, Practice. Vol. 1: Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms of Manifestation, and Conditions of River Channel Formation]. Moscow: Izdatelstvo LKI Publ., 2008. 608 p.
 35. Chalov R. S. *Issledovaniya rusel rek: teoriya, geografiya, praktika. T. 2: Morfodinamika rusel rek* [River Channel Studies: Theory, Geography, Practice. Vol. 2: Morphodynamics of River Channels]. Moscow: KRASAND, 2011. 960 p.
 36. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Ruleva S. N., et al. [Morphology, Deformations, and Modern Changes in the Lena River Channel and Their Impact on the Economic Infrastructure in the Yakutsk Area]. In: *Geomorfologiya* [Geomorphology], 2016, no. 3, pp. 22–35.
 37. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Panin A. V. *Izluchiny rek* [River Bends]. Moscow: Moscow State University Publ., 2004. 371 p.
 38. Chalov R. S., Zavadskiy A. S., Botavin D. V., et al. [The Pokrovsk-Yakutsk Water Node on the Lena River: Modern Deformations and Management of Channel Processes]. In: *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. Geograficheskaya seriya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2019, no. 6, pp. 83–96.
 39. Chalov R. S., Chernov A. V., Berkovich K. M., et al. [Geography of Channel Processes on Russian Rivers]. In: *Vestnik Rossiyskogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Russian Geographical Society], 2017, vol. 149, iss. 4, pp. 13–33.
 40. Chalov R. S., Golubtsov G. B., Kurakova A. A. [Straight Unbranched Channels: Morphological Diversity and Typification]. In:

- Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2025, vol. 80, no. 1, pp. 98–109. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.7
41. Chernov A. V. *Geografiya i geoekologicheskoye sostoyaniye rusel i poym rek Severnoy Yevrazii* [Geography and geoecological state of the channels and floodplains of rivers in Northern Eurasia]. Moscow: Krona LLC Publ., 2009. 614 p.
 42. Scheidegger A. E. *Teoreticheskaya geomorfologiya* [Theoretical geomorphology]. Moscow: Progress Publ., 1964. 450 p.
 43. Chalova R. S., Golosova V. N., Sidorchuk A. Yu., eds. *Erozionno-ruslovyye sistemy* [Erosion-channel systems]. Moscow: INFRA-M, 2017. 702 p.
 44. Egozi R., Ashmore P. Experimental analysis of braided channel pattern response to increased discharge. In: *Journal of Geophysical Research*, 2009, pp. 941–962. DOI: 10.1029/2008JF001099
 45. Knighton A. D. The meander problem. In: *Geography*, 1977, no. 275, vol. 2, pp. 106–111.
 46. Knighton A. D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London: Arnold, 2014. 400 p.
 47. Lysa A., Larsen E., Buylaert J.-P., et al. Late Pleistocene stratigraphy, and sedimentary environments of the Severnaya Dvina-Vychegda region in northwestern Russia. In: *Boreas*, 2014, vol. 43, pp. 759–779. DOI: 10.1111/bor.12080
 48. Petukhova L. N., Rysin I. I. Patterns in the development of horizontal river channel transformations in the Republic of Udmurtia, Russian Federation. In: Chalov R. S., Kamykowska M., Krzemien K., eds. *Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains*. Cracow, 2006. P. 119–131.
 49. Robert A. *River processes: an introduction to fluvial dynamics*. London: Arnold, 2003. 214 p.
 50. Schuurman F., Kleinhans M. G. Bar dynamics and bifurcation evolution in a modelled braided sand-bed river. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 2015, vol. 40, iss. 10, pp. 1318–1333. DOI: 10.1002/esp.3722
 51. Yang C. T. On river meanders. In: *Journal of Hydrology*, 1971, vol. 13, pp. 231–233.
 52. Yermolaev O. P., Golosov V. N., Kumani M. V., et al. Recent changes in sediment redistribution in the upper parts of the fluvial system of European Russia: regional aspects. In: Jun Xu Y., Allison M. A., et al., eds. *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea*, 2015, vol. 367, pp. 333–339. DOI: 10.5194/piahs-367-333-2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рысин Иван Иванович (г. Ижевск) – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры экологии и природопользования института естественных наук Удмуртского государственного университета;
e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

Григорьев Иван Иванович (г. Ижевск) – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики института естественных наук Удмуртского государственного университета;
e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan I. Rysin (Izhevsk) – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Ecology and Nature Management, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University;
e-mail: rysin.iwan@yandex.ru; ORCID: 0009-003-6062-8078

Ivan I. Grigoriev (Izhevsk) – Cand. Sci. (Geography), Assoc. Prof., Department of Geography, Cartography and Geoinformatics, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University;
e-mail: ivangrig@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8498-1202

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЛАНДШАФТОВ И БИОИНДИКАЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

УДК 58.02: 630*182.21

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-58-69

ДИНАМИКА ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА ФИТОЦЕНОЗА ЕЛЬНИКА ЗЕЛЕНЧУКОВОГО В ТЕЧЕНИЕ 9 ЛЕТ ПОСЛЕ ВСПЫШКИ ЧИСЛЕННОСТИ КОРОЕДА-ТИПОГРАФА

© СС ВУ Каплевский А. А.¹, Уланова Н. Г.²

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: Dron_of_geobot@list.ru; ORCID: 0009-0006-3018-3444*

² *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: Nulanova@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5364-940x*

Поступила в редакцию 05.06.2025

После доработки 12.09.2026

Принята к публикации 03.10.2025

Аннотация

Цель. Выявление особенностей динамики травяно-кустарничкового яруса фитоценоза ельника зеленчукового после гибели древостоя в сравнении с фитоценозом после сплошной вырубki и исходным лесом.

Процедура и методы. В 2012 г. в ельнике зеленчуковом после гибели ели в результате вспышки численности короеда-типографа заложены 3 постоянные пробные площади по 800 м² (20×40 м). Первая — на участке с неповреждённым древостоем ели (контроль), вторая — в ельнике зеленчуковом с погибшим древостоем ели (короедник), третья — на сплошной санитарной вырубке сухостоя ели (вырубка). Все пробные площади расположены в исходно едином фитоценозе. Каждая пробная площадь разбита на 8 площадок размером 10×10 м². Исследования проводились ежегодно с 2014 по 2022 г. по единой методике. Для каждой площадки каждой пробной площади ежегодно выявлен полный видовой состав растений и их принадлежность к ценоотическим группам. Проведена статистическая обработка собранных данных, вычислены средние значения числа видов на 3 пробных площадях и средние значения числа видов по ценоотическим группам, проведено их сравнение. Значимость различий выборок числа видов на пробных площадях определены с помощью *Mann-Whitney U test* в программе STATISTICA6.

Результаты. В сообществе с погибшим и не вырубленным древостоем ели произошло долговременное значимое увеличение ($p < 0,05$) числа сорно-лесных видов и кратковременное — луговых. Ценоотический спектр сохранился близким к исходному лесу за весь период наблюдений. Развитие фитоценоза вырубki прошло через травяную и кустарниковую стадии, со значительным повышением фиторазнообразия. Значимо увеличилось число лесо-луговых, луговых, сорных, сорно-лесных, сорно-луговых видов, появились болотные виды. Число лесных видов в первый год исследования меньше, а во второй — больше, чем в контроле. Всплеск разнообразия видов на вырубке произошёл не в первый год исследований, а в последующий. На 7 год развития сообществ вырубki и ельника с сохранённым сухостоем ели ценоотический спектр видов приблизился к исходному лесу.

Теоретическая и/или практическая значимость мониторинговых длительных исследований в типичных ельниках европейской части России велика, т. к. позволила понять естественные природные механизмы динамики еловых фитоценозов после массового усыхания древостоя ели при сохранении погибшего древостоя. Огромные

площади погибших ельников в 2012–2014 гг. от вспышки численности короеда-типографа в Московской области поставили вопрос об оптимальных мерах восстановления лесов. Мониторинг динамики изменения травяно-кустарничкового яруса позволил понять изменения экологических и фитоценологических условий при разных сценариях лесоводственной практики и решить вопрос о необходимости проведения сплошных санитарных рубок погибших ельников.

Ключевые слова: видовое разнообразие, динамика растительности, еловой лес, короед, сукцессия

Для цитирования:

Каплевский А. А., Уланова Н. Г. Динамика травяно-кустарничкового яруса фитоценоза ельника зеленчукового в течение 9 лет после вспышки численности короеда-типографа // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 58–69. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-58-69

Original Article

DYNAMICS OF THE HERBACEOUS LAYER OF SPRUCE FOREST PHYTOCOENOSIS FOR NINE YEARS AFTER A BARK BEETLE OUTBREAK

© CC BY A. Kaplevsky¹, N. Ulanova²

¹ *Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russian Federation*

e-mail: Dron_of_geobot@list.ru; ORCID: 0009-0006-3018-3444

² *Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russian Federation*

e-mail: Nulanova@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5364-940x

Received 05.06.2025

Revised 12.09.2026

Accepted 03.10.2025

Abstract

Aim. Investigation of dynamics of the herbaceous layer of the phytocoenosis of spruce forest after the death of the spruce stand in comparison with the plant community after clear-cutting and living spruce forest.

Methodology. In 2012, three permanent sample plots of 800 m² (20×40 m) were established in spruce forest after the death of spruce because of bark beetle outbreak. First plot was set in undamaged spruce stand (control plot), the second one – in spruce forest with dead spruce stand (snag stand), the third one – in a clear-cut sanitary felling of spruce deadwood (clear-cut). Each plot was divided into 8 sites of 10×10 m². The studies were conducted annually from 2014 to 2022 using the same methodology. Full species composition of plants and their belonging to coenotic groups was revealed on each site of each plot annually. Statistical processing of the collected data was carried out, mean values of the number of species at three sample plots and mean values of the number of species by coenotic groups were calculated and compared. The significance of differences between samples of the number of species in the sample plots was determined using the Mann-Whitney U test.

Results. In the plant community with dead and unlogged spruce stands, there is a long-term significant increase in the number of weedy-forest species and a short-term significant increase in the number of meadow species. The coenotic spectrum remains close to the initial forest throughout the entire observation period. The development of the clear-cut phytocoenosis proceeds through the herbaceous and shrub stages, with a significant increase in biodiversity. The number of forest-meadow, grassland, meadow, weeds, weedy-forest, weedy-meadow species increases significantly, and bog species appear. The number of forest species is lower in the first year of the study and higher in the second year than in the control. Since the second year of the study the species diversity surged at the clearcut. In the 7th year of development of clear-cut and spruce forest communities with preserved spruce

deadwood, the coenotic spectrum of the sampled areas becomes close to the coenotic spectrum of the initial forest

Research implication. To study the natural mechanism of the dynamics of spruce phyto-cenoses after bark beetle outbreak of spruce stands while preserving the dead stands. At present, there is vast area of spruce stands with dead spruce stands in the Moscow region, and understanding of the dynamics of such communities could allow more effective choice of forest management measures.

Keywords: species diversity, vegetation dynamics, spruce forest, bark beetle, succession

For citation:

Kaplevsky A. A., Ulanova N. G. Dynamics of the herbaceous layer of spruce forest phyto-coenosis for nine years after a bark beetle outbreak. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 58–69. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-58-69

ВВЕДЕНИЕ

В XXI в. в европейской части России произошло изменение климата, при этом увеличилась длительность засушливых жарких периодов весной и летом. Это ухудшает физиологическое состояние елей, растущих вне оптимальных условий увлажнения [12; 21] на суглинистых почвах, что приводит к их массовому ветровалу, типичному для европейской таёжной зоны [11; 12]. Наличие на свежих ветровалах большого объёма ещё живой древесины вываленных елей приводит к активному размножению лубоедов, в частности короёда-типографа [17]. Такие локальные очаги размножения короёда переходят в пандемические [6; 14]. Вспышка численности короёда-типографа охватила ельники Европы [18; 20], Северной Америки [15; 19] и распространилась на европейской части России в 1999–2006 и 2010–2014 гг. [5; 6].

В ельниках, погибших в результате вспышки численности короёда-типографа, проводят сплошные санитарные рубки (требование нормативов лесного хозяйства), вырубая не только сухостой, но и живой других пород деревьев. Более экологически правильный вариант ведения лесного хозяйства, с нашей точки зрения, это невмешательство в лесные сообщества, сохранив естественное восстановление леса.

Цель наших исследований — выявить механизмы динамики травяно-кустарничкового яруса фитоценоза ельника зеленчукового после гибели древостоя ели в сравнении с фитоценозом после сплошной вырубki и исходным лесом.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований расположен в центре Русской равнины (Московская область, Одинцовский район, Звенигородская биостанция под г. Звенигород) в подзоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. Координаты зоны исследования (WGS 84): N55°42'05" E36°43'38" (рис. 1).

Основными лесобразующими породами здесь являются ель *Picea abies* (L.) Н. Karst. и широколиственные деревья. Чаще всего лесные фитоценозы Подмосквья — вторичные сообщества, где современный древостой представлен первым поколением деревьев, развившимся при естественном или искусственном лесовосстановлении после антропогенных нарушений [5; 8]. Для лесов Подмосквья в настоящее время характерно, что первое поколение древостоя достигло возраста старения и распада, который ускоряется в некоторых местах высокой рекреационной нагрузкой, в некоторых — поражением насекомыми-фитофагами, местами эти факторы могут накладываться и усиливать друг друга [1; 4]. Также в старовозрастных лесах происходит усиление процессов ветровала и бурелома; за счёт разрежения полога крон древостоя происходят значительные изменения состава и структуры нижних ярусов [4; 10].

Постоянные пробные площади выбраны нами в исходно едином фитоценозе на участках с различными методами ведения лесного хозяйства и заложены на первой террасе склона долины р. Москвы¹. Склон

¹ Копчик Г.Н., Рыжова И.М. Почвы Звенигородской биостанции // Руководство по летней практике студентов-биологов на Звенигородской био-

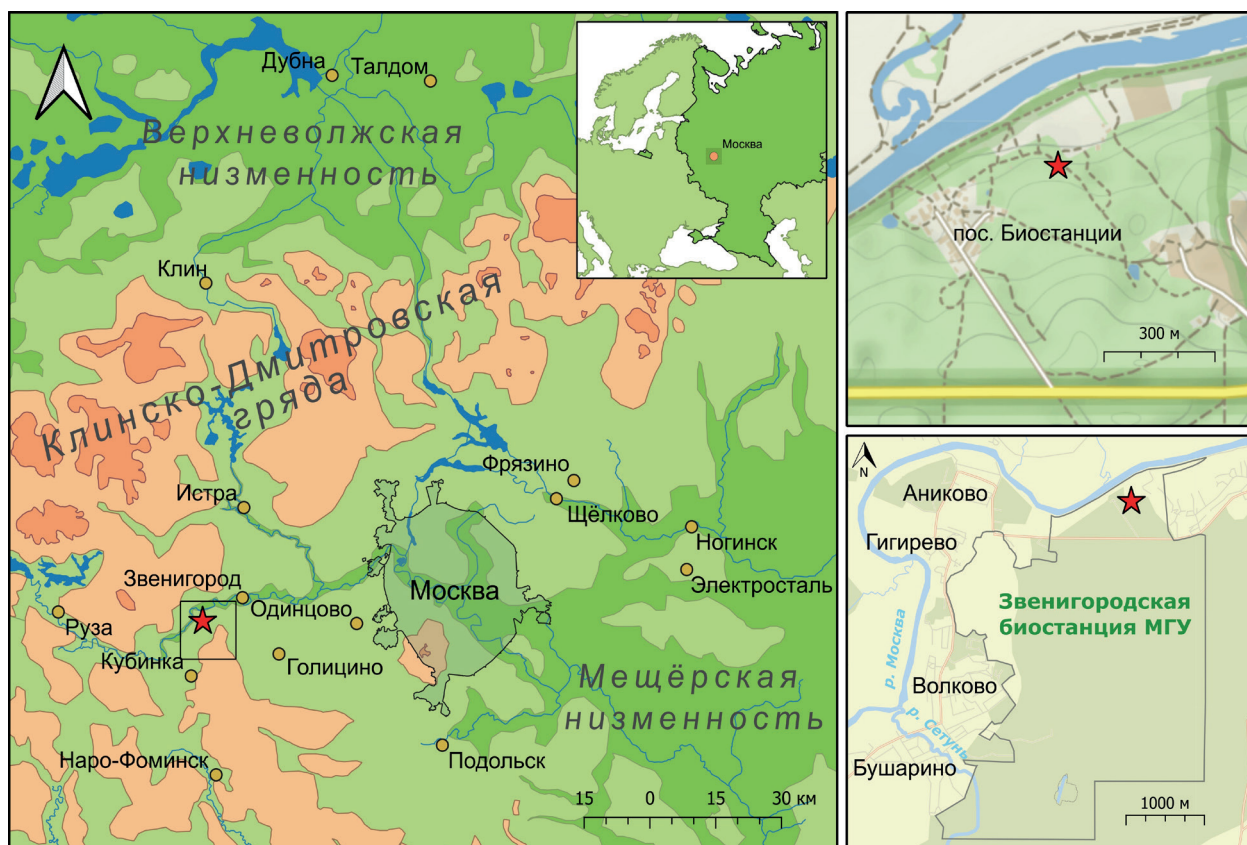


Рис. 1 / Fig. 1. Расположение исследуемых пробных площадей / Position of permanent study plots

Источник: Яндекс Карты

долины р. Москвы ориентирован в северо-западном направлении. Он имеет уклон от 3–5° до 15–20°.

Климат района исследований — умеренно-континентальный с долгой и холодной зимой и умеренно тёплым летом. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,2°C, средняя месячная температура изменяется от -11°C в январе и феврале до +20°C в июле, безморозный период составляет 110 дней. Увлажнение избыточное: годовая сумма осадков превышает 700 мм, а испарение составляет не более 550 мм.

Исследуемый ельник зеленчуковый относится к широко распространённой субассоциации *Rhodobryo-Piceetum caricetosum pilosae* вар. *typica* союза *Quercu-Tilion* класса *Carpino-Fagetea*, характерной для террас склонов р. Москвы, расположенных в водно-ледниковом рельефе р. Москвы [2].

Субассоциация *Rhodobryo-Piceetum caricetosum pilosae* — зональный синтаксон в

станции им. С. Н. Скадовского. М.: Изд-во Моск. унив-та, 2011. 351 с.

центре Русской равнины [7]. К ней относят смешанные леса с массовым участием широколиственных видов в подросте и с самым богатым набором неморальных видов, в состав яруса А входят деревья *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L. и *Acer platanoides* L., а в ярус С — *Mercurialis perennis* L., *Ranunculus cassubicus* L. и эфемероиды *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub и *Corydalis solida* (L.) Clairv. При этом, в составе каждого конкретного фитоценоза бореальных видов меньше, чем неморальных.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На следующий год после гибели елей в ельнике зеленчуковом в результате вспышки численности короеда-типографа в 2012 г., нами были заложены рядом 3 постоянные пробные площади по 800 м² (20×40 м.) Постоянные пробные площади выбраны нами в исходно едином фитоценозе на участках с различными методами ведения лесного хозяйства:

1. на участке с неповреждённым древостоем ели (контроль);

2. в ельнике зеленчуковом: с погибшим древостоем ели (короедник);

3. на сплошной санитарной вырубке сучостоя ели (вырубка).

Каждая пробная площадь разбита на 8 площадок размером 10×10 м. Для каждой площадки выявили полный видовой состав растений с указанием проективного покрытия каждого вида.

Исследования проводились ежегодно с 2014 по 2022 г. по единой методике. Для каждой площадки каждой пробной площади ежегодно зарегистрирован полный видовой состав растений, выявлена их принадлежность к ценоотическим группам² и вычислен индекс Шеннона², характеризующий разнообразие сообщества.

Ценоотические группы – группы растений по сходству их приуроченности к основным типам растительности. Соотношение ценоотических групп отражает как принадлежность фитоценоза к типу расти-

тельности, так и его изменения в результате природных или антропогенных воздействий.

Проведена статистическая обработка собранных данных, для каждой пробной площади в каждый год наблюдений вычислены средние значения числа видов по 8 площадкам 10×10 м, также вычислены средние значения числа видов по этим площадкам с разделением по ценоотическим группам, проведено сравнение полученных данных и выявлена динамика развития сообщества. Значимость различий выборок числа видов на пробных площадях определены с помощью *Mann-Whitney U test* в программе STATISTICA6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг растительности в течение 9 лет выявил главную особенность в динамике видового богатства после сплошной санитарной вырубки (табл. 1). Значимые

Таблица 1 / Table 1

Динамика среднего числа видов на 3 постоянных пробных площадях по 8 площадкам 10×10 м в 2014–2022 гг. / Dynamics of the average number of species in 3 permanent sample plots by 8 10×10 m sites for 2014–2022

ППП	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Контроль	16,38 ±0,18	18,13 ±0,31	17,75 ±0,28	18,25 ±0,22	17,25 ±0,23	17,25 ±0,2	17,88 ±0,3	17,13± 0,35	17,13± 0,42
Короедник	16,5± 0,38	21,38± 0,44	18,63± 0,44	20,38± 0,29	20,13±0,3	19,01 ±0,35	19,75±0,24	18±0,19	17,38± 0,37
Вырубка	14,38 ±0,46	35,0 ±0,94	34,75 ±0,82	28,5 ±0,88	20,5 ±0,7	19,38 ±0,73	19,38 ±0,53	18±0,43	16,75± 0,29
Сравнение вырубки и контроля									
U*	24,0	0,00	0,00	7,5	20,5	25,0	22,5	0,67	0,83
p**	0,40	0,00 **	0,00 **	0,01 **	0,23	0,46	0,32	28,0	30,0
Сравнение короедника и контроля									
U*	25,5	17,5	19,0	16,0	10,5	20,0	18,0	25,0	28,5
p**	0,49	0,12	0,25	0,09	0,02 **	0,20	0,14	0,46	0,71

Примечание: в таблице даны значения $\bar{x} \pm m_x$;

** – значимость различий, выделены значения $p < 0,05$ (95%)

Источник: данные авторов; значимость различий выборок числа видов на пробных площадях определена с помощью *Mann-Whitney U test*

² Автор Уланова Н. Г., Жмылёв П. Ю., Елумеева Т. Г., Федосов В. Э. Методы анализа флористического состава и функционального разнообразия растительных сообществ. Учебное пособие. М: МАКС Пресс, 2023. 137 с.

различия короедника и контроля отмечены только в 2018 г., рост числа видов здесь связан с переходом погибших елей в валёж и зарастанием сорно-лесными видами образовавшихся окон. Изменения числа видов при этом были значительно менее резкими и составляли в среднем 1–3 вида.

В 2015–2017 гг. среднее число видов на площадках вырубке значимо увеличилось по сравнению с исходным лесом. Появилось много новых видов, среднее число видов на 16–17 больше, чем в контроле. После полного уничтожения древостоя, подрост, подлеска при значительных нарушениях травяно-кустарничкового яруса и почвы в результате трелёвки стволов трактором, расчистки и сжигания порубочных остатков образовалось травяное сообщество. Можно говорить о классическом варианте вторичной сукцессии после вырубки леса. Значительное увеличение биоразнообразия именно на первых этапах развития сообщества после рубки отмечено в ряде работ [13; 16]. Ключевым фактором увеличения биоразнообразия являются происходящие при рубке нарушения травяного яруса, подстилки и почвы [22]. Процесс рубки в первые годы влияет на

фитоценоз значительно сильнее, чем непосредственно гибель ели [23].

Для пробных площадей каждый год вычислен индекс разнообразия Шеннона (табл. 2). Значимые различия с контролем по разнообразию отмечены для площадок вырубки только в 2015 и 2016 г. В короеднике значимое увеличение индекса Шеннона происходит начиная с 2019 г. и сохраняется до конца периода исследований.

Увеличение индекса Шеннона в короеднике говорит о более высоком, чем в контроле разнообразии видов имеющих значительное проективное покрытие. При этом число видов на пробных площадях значимо не различается. Это можно связать с формированием в короеднике более сложной мозаики освещённости, образовавшейся при переходе погибших елей в валёж, которая даёт возможность большому числу видов иметь значительное проективное покрытие.

После вспышки численности короеда-типографа ценофитический спектр видов ельника с погибшим древостоем ели мало отличается от фитоценоза исходного ельника (контроль) (табл. 3). Произошёл лишь значимый рост числа сорно-лесных

Таблица 2 / Table 2

Динамика индекса Шеннона по 8 площадкам 10×10 м в 2014–2022 гг. / Dynamics Shannon's entropy index in 3 permanent sample plots by 8 10×10 m sites for 2014–2022

ППП	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Контроль	1,85± 0,19	2,06± 0,22	2,03± 0,26	2,15± 0,18	2,00± 0,26	1,84± 0,26	1,77± 0,25	1,73± 0,13	1,73± 0,23
Короедник	1,88± 0,31	2,13± 0,33	2,17± 0,23	2,21± 0,17	2,18± 0,23	2,09± 0,21	2,03± 0,15	2,1± 0,27	2,12± 0,17
Вырубка	1,39± 0,71	2,4± 0,27	2,42± 0,3	2,30± 0,29	1,99± 0,4	1,85± 0,37	1,87± 0,39	1,92± 0,27	1,79± 0,39
Сравнение вырубки и контроля									
U*	19,00	8,00	11,00	24,00	27,00	30,00	29,00	21,00	30,00
p**	0,17	0,01 **	0,03 **	0,40	0,60	0,83	0,75	0,25	0,83
Сравнение короедника и контроля									
U*	28,00	22,00	22,00	21,00	18,00	13,00	8,00	7,00	6,00
p**	0,67	0,29	0,29	0,25	0,14	0,05 **	0,01 **	0,01 **	0,01 **

Примечание: в таблице даны значения $\bar{x} \pm m_x$;

** – значимость различий, выделены значения $p < 0,05$ (95%)

Источник: данные авторов; значимость различий выборок числа видов на пробных площадях определена с помощью *Mann-Whitney U test*

Таблица 3 / Table 3

Средняя численность видов различных ценогических групп на трёх постоянных пробных площадях по 8 площадкам 10×10 м в 2014–2022 гг. / Average number of species of different coenotic groups in 3 permanent sample plots by 8 10×10 m sites for 2014–2022

ППП	Год	Лесные	Лесо- луговые	Луговые	Сорно- лесные	Сорно- луговые	Сорные	Лугово- болотные	Болот- ные
Контроль	2014	13,1 ±0,99	0,9 ±0,35	–	0,1 ±0,35	–	1,3 ±0,71	–	–
	2015	14,8 ±1,39	0,9 ±0,35	–	0,5 ±0,53	–	2 ±1,07	–	–
	2016	14,8 ±1,39	1 ±0	–	0,3 ±0,46	–	1,8 ±0,89	–	–
	2017	15 ±1,41	0,9 ±0,35	–	0,3 ±0,46	–	2,1 ±0,64	–	–
	2018	14,1 ±1,36	1 ±0	–	0,3 ±0,46	0,3 ±0,46	1,6 ±0,74	–	–
	2019	14,5 ±1,31	1 ±0	–	0,1 ±0,35	–	1,6 ±0,74	–	–
	2020	14,4 ±1,69	1 ±0	–	0,5 ±0,53	–	2 ±0,93	–	–
	2021	13,8 ±2,31	0,9 ±0,35	–	0,6 ±0,52	–	1,9 ±0,64	–	–
	2022	13,8 ±2,43	1 ±0,53	0,1 ±0,35	0,5 ±0,53	–	1,8 ±0,71	–	–
Короедник	2014	12,6 ±2,33	1 ±0	–	1 ±0 **	–	1,9 ±0,83	–	–
	2015	13,9 ±1,36	1,1 ±0,35	1 ±0 **	1,8 ±0,71 **	–	3,6 ±1,85	–	–
	2016	14,4 ±2,72	1 ±0	–	1 ±0 **	0,1 ±0,35	2,1 ±0,83	–	–
	2017	14,8 ±1,58	1 ±0	0,1 ±0,35	1,4 ±0,52 **	–	2,6 ±0,52	0,5 ±0,53	–
	2018	15,4 ±2,39	1 ±0	0,1 ±0,35	1 ±0 **	–	2,6 ±0,52	–	–
	2019	14,6 ±2,45	1 ±0	–	1 ±0 **	–	2,4 ±0,52	–	–
	2020	15,3 ±1,67	1 ±0	–	1 ±0 **	–	2,5 ±0,53	–	–
	2021	13,9 ±1,13	0,9 ±0,64	–	0,9 ±0,35	–	2,4 ±0,52	–	–
	2022	13,9 ±2,3	0,8 ±0,46	–	0,9 ±0,35	–	1,9 ±0,83	–	–
Вырубка	2014	9,4 ±2,39 **, ##	1,1 ±0,35	0,1 ±0,35	1,1 ±0,83 **	0,1 ±0,35	2,5 ±1,51	–	–
	2015	16,8 ±3,28 ##	3,1 ±0,99 **, ##	1,8 ±1,04 **	2,1 ±0,99 **	2,1 ±1,36 **, ##	8,6 ±2,72 **, ##	0,5 ±0,53	–
	2016	17,8 ±2,49 **, ##	2,5 ±1,07 **, ##	1,3 ±0,89 **, ##	1,5 ±0,53 **	2,0 ±0,53 **, ##	8,8 ±3,01 **, ##	0,9 ±0,35 **, ##	0,1 ±0,35
	2017	15,6 ±2,56	2,5 ±1,31 **, ##	0,9 ±0,35 **, ##	2,1 ±0,83 **	1,5 ±1,07 **, ##	5,3 ±2,43 **, ##	0,1 ±0,35	0,5 ±0,53
	2018	13,3 ±2,31	1,6 ±1,41	0,1 ±0,35	1,9 ±0,83 **, ##	0,6 ±0,74	2,8 ±1,98	0,1 ±0,35	0,1 ±0,35
	2019	13,1 ±2,7	1,1 ±0,35	0,1 ±0,35	1,5 ±0,93 **	0,6 ±0,92	2,8 ±1,91	–	0,1 ±0,35
	2020	13,4 ±2,0	1,3 ±0,46	–	1,5 ±0,93 **	0,3 ±0,46	3 ±1,41	–	–
	2021	13,5 ±2,2	1,1 ±0,35	0,1 ±0,35	0,8 ±0,46	–	2,5 ±1,07	–	–
	2022	13,1 ±1,55	1,1 ±0,35	–	0,8 ±0,46	–	1,8 ±0,71	–	–

Примечание: в таблице даны значения $\bar{x} \pm m_x$;

** – значимость различий с контролем, выделены значения $p < 0,05$ (95%);

– p – значимость различий с короедником, выделены значения $< 0,05$ (95%)

Источник: данные авторов; значимость различий выборок числа видов на пробных площадях определена с помощью *Mann-Whitney U test*

видов, сохранившийся до 2020 г. Число луговых видов на этой пробной площади повышается только в 2015 г., других значимых изменений числа видов ценоотических групп в короеднике не произошло.

В первый год после проведения санитарной вырубki число лесных видов значимо ниже, чем в короеднике и контроле, а число сорно-лесных видов значимо не отличается от короедника — как минимум 1 вид этой группы есть на каждой площадке. На второй год фитоценоз вырубki уже принципиально отличается от исходного. В травяном фитоценозе число видов резко увеличивается за счёт видов ценоотических групп, не характерных для исходного ельника: луговых, сорно-луговых, лугово-болотных, а на третий год и болотных. При этом число лесных видов увеличивается в среднем на 2, а видов из других групп, присутствующих в контроле — в несколько раз. Все показатели значимо отличаются от лесных.

Увеличение разнообразия и численности ценоотических групп происходит с 2015 по 2017 г., после этого идёт постепенное их снижение. С 2020 г. значимых отличий по числу видов в ценоотических группах от короедника и контроля на вырубке нет, в 2022 г. нет значимых отличий и по ценоотическому спектру — на вырубке остались те же ценогруппы, что в 2 других фитоценозах.

Отмеченные изменения можно считать следствием различия экологических условий в фитоценозах вырубki и короедника. При сохранении погибшего древостоя в первые два года происходит только изменение освещённости, связанное с опадением хвои с погибших елей, что приводит к небольшому увеличению числа новых видов растений. На третий год сухостой ели падает на землю, образуя окна в пологом древостоя. Однако очень быстро клёны второго яруса и лещина полностью закрывают кронами эти окна. Фитоценоз короедника остаётся лесным, изменяется лишь состав древостоя, в первый ярус выходит клён и липа. Изменения состава травяно-кустарничкового яруса незначительны.

При вырубке происходит «перезагрузка» фитоценоза — вырубают весь древостой (погибший и живой), подрост и подлесок, трелёвочные тракторы унич-

тожают травяно-кустарничковый ярус и почвенный покров, появляются участки кострищ, где сжигали порубочные остатки. Разнообразие микросайтов с разными экологическими условиями резко увеличивается. Кустарники и молодые порослевые деревья появляются на оставшихся материнских пнях и корнях. На нарушенной почве в первые годы из почвенного запаса семян и из семян, занесённых ветром, в массе появляются новые луговые и сорные виды травянистых растений, кустарники и деревья [9]. После вырубki ельника происходит типичная вторичная сукцессия с первой травяной и второй кустарниковой стадией. На травяной стадии различия средних значений числа видов значимо отличаются от исходного ельника, а на кустарниковой стадии (6-ой год сукцессии 2018 г.) уже нет. На луговой стадии спектр ценоотических групп видов уже не лесной, поэтому в таблице 2 чётко видно увеличение разнообразия ценоотических групп и числа видов в них. Значимые различия сохраняются только на луговой стадии до 5 года сукцессии (2017 г.). На кустарниковой стадии различия уже небольшие. Полностью различия исчезают на 10 год сукцессии (2022 г.), когда наступает лесная стадия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительные мониторинговые исследования динамики состава и ценоотического спектра видов травяно-кустарничкового яруса выявили принципиально разные варианты при вырубке леса или сохранении сухостоя ели в ельниках после вспышки численности короеда-типографа. Сохранение лесного фитоценоза после гибели ели в верхнем ярусе древостоя не приводит к существенному изменению видового и ценоотического состава травяно-кустарничкового яруса. В результате сразу формируется сообщество, близкое к исходному, но не тождественное ему. Даже на поздних этапах развития это сообщество имеет большее разнообразие видов, имеющих наибольшее проективное покрытие, снижается роль видов доминантов, харак-

терных для исходного леса, что делает сообщество более устойчивым.

При проведении сплошной санитарной вырубке поражённого леса, принятой технологии ведения лесного хозяйства, образуется травяной фитоценоз. Принципиальное изменение состава растительности приводит к сукцессионным процессам восстановления лесного фитоценоза. Могут формироваться березняки, осинники или смешанные леса, но не еловые или сосновые леса [3; 9].

Однако травяная стадия сукцессии играет огромное значение в сохранении биоразнообразия лесных территорий, ибо увеличение видового разнообразия не только растений, но и всех компонентов биогеоценоза связано с травяными сообществами [16].

Наши исследования подтвердили, что первые 8 лет после сплошной вырубки ценотический спектр растений отличается от исходного леса. Число видов в первые годы после рубки увеличивается на 16–17, появляются 4 ценологических группы, не характерные для исходного леса: луговые, сорно-луговые, лугово-болотные и болотные, значимо растёт индекс Шеннона. При этом к концу периода исследования ценотический спектр и индекс разнообразия вырубки становится таким же, как и в контроле.

В короеднике размах изменений в первые годы после гибели ели меньше, значимые изменения отмечены только в 2018 г. и составили 1–3 вида. Ценотический спектр ельника с погибшим древостоем ели совпадает с исходным лесом, происходит значимое увеличение только числа сорно-лесных видов. При этом индекс разнообразия после перехода в валёж погибших елей значимо растёт и сохраняется значимо более высоким, чем в контроле до конца периода исследования.

Оба пути ведения лесного хозяйства на территориях, где погиб древостой имеют свои плюсы и минусы. И сплошные санитарные рубки, и сохранение погибшего древостоя могут эффективно применяться для поддержания и сохранения биоразнообразия в лесах в зависимости от природных условий и сложившейся ситуации. Локальные сплошные рубки способны

повысить биоразнообразие фитоценозов, а сохранение погибшего древостоя позволит сделать сообщества более стабильными.

Проведение рубок рекомендуется на небольших участках, где древостой погиб полностью, а сохранение погибшего древостоя — в местах, где есть выживший древостой ели и других пород. Комбинирование этих технологий позволит увеличить видовое разнообразие сообществ и обеспечить большее разнообразие доминирующих видов в течение длительного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абатуров А. В., Меланхолин П. Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie. Тула: Гриф и К, 2004. 336 с.
2. Браславская Т. Ю., Тихонова Е. В., Сухова Д. В. и др. Экологическая дифференциация синтаксонов лесной растительности Звенигородской биостанции МГУ // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 105–110.
3. Дымов А. А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798. DOI: 10.7868/S0032180X17070024
4. Коротков С. А., Киселёва В. В., Стоноженко Л. В. и др. О направлениях лесообразовательного процесса в северо-восточном Подмоскowie // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. № 3. С. 41–54.
5. Малахова Е. Г., Лямцев Н. И. Распространение и структура очагов усыхания еловых лесов Подмоскowie в 2010–2012 годах. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 207. С. 193–202.
6. Маслов А. Д., Комарова И. А., Котов А. С. Динамика размножения короеда-типографа в Центральной России в 2010–2013 гг. и прогноз на 2014 г. // Лесохозяйственная информация. 2014. Т. 1. С. 38–46.
7. Морозова О. В., Семенищенков Ю. А., Тихонова Е. В. и др. Неморальнотравные ельники Европейской России // Растительность России. 2017. № 31. С. 33–58.
8. Рысин Л. П. Сукцессионные процессы в лесах центральной части Русской равнины // Успехи современной биологии. 2009. Т. 129. № 6. С. 578–587.
9. Уланова Н. Г., Каплевский А. А. Мониторинг биоразнообразия ельников европейской части России после природных

- и антропогенных «катастроф» // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2024. № 4. С. 18–24.
10. Уланова Н. Г., Чередниченко О. В. Механизмы сукцессий растительности сплошных ветровалов южнотаежных ельников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1. С. 1399–1402.
 11. Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Калинин Н.А., Пьянков С.В. Ветровалы в лесной зоне России и условия их возникновения. Пермь.: Пермский национальный исследовательский университет, 2023. 284 с.
 12. Andrus R.A., Chai R.K., Harvey B.J., et al. Increasing rates of subalpine tree mortality linked to warmer and drier summers // Journal of Ecology. 2021. Vol. 109(5). P. 2204–2218. DOI: 10.1111/1365-2745.13634
 13. Blair D. P., McBurney L. M., Blanchard W., et al. Disturbance gradient shows logging affects plant functional groups more than fire // Ecology Applications. 2016. Vol. 26. P. 2280–2301.
 14. Erbilgin N, Gandhi K. J. K., Hofstetter R. W. Bark Beetle Management, Ecology, and Climate Change. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2022. 415 p.
 15. Furniss T. J., Larson A. J., Kane V. R., Lutz J.A. Wildfire and drought moderate the spatial elements of tree mortality // Ecosphere. 2020. Vol. 11 (8). P. 11–37. DOI: 10.1002/ecs2.3214
 16. Fornwalt P. J., Rhoades Ch. C., Hubbard R. M., et al. Short-term understory plant community responses to salvage logging in beetle-affected lodgepole pine forests // Forest Ecology and Management. 2018. Vol. 409. P. 84–93. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.10.056
 17. Huang J., Kautz M., Trowbridge A.M., et al. Tree defence and bark beetles in a drying world: Carbon partitioning, functioning and modelling // New Phytologist. 2020. Vol. 225(1). P. 26–36. DOI: 10.1111/nph.16173
 18. Hlásny T., Krokene P., Liebhold A., et al. Living with bark beetles: impacts, outlook and management options // From science to policy. 2019. Vol. 8. P. 4–52.
 19. Kolb T.E., Fettig C.J., Ayres M. P., et al. Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States // Forest Ecology and Management. 2016. Vol. 380. P. 321–334.
 20. Marini L., Økland B., Jönsson A. M., Bentz B., et al. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests // Ecography. 2016. Vol. 40(12). P. 1–10. DOI: 10.1111/ecog.02769
 21. Netherer S., Kandasamy D., Jirosova A., et al. Interactions among Norway spruce, the bark beetle *Ips typographus* and its fungal symbionts in times of drought // Journal of Pest Science. 2021. Vol. 94(3). P. 1–24. DOI: 10.1007/s10340-021-01341-y
 22. Thorn S., Bassler C., Brandl R., et al. Impacts of salvage logging on biodiversity: A meta-analysis // Journal of Applied Ecology. 2018. Vol. 55. P. 279–289. DOI: 10.1111/1365-2664.12945
 23. Waldron K., Ruel J., Gauthier S., et al. Effects of post-windthrow salvage logging on microsites, plant composition and regeneration // Applied Vegetation Science. 2014. Vol. 17(2). P. 323–337. DOI: 10.1111/avsc.12061

REFERENCES

1. Abaturov A. V., Melankholin P. N. *Yestestvennaya dinamika lesov na postoyannykh probnykh uchastkakh v Moskovskoy oblasti* [Natural forest dynamics on permanent sample plots in the Moscow region]. Tula: Grif i K Publ., 2004. 336 p.
2. Braslavskaya T. Yu., Tikhonova E. V., Sukhova D. V., et al. [Ecological differentiation of syntaxon of forest vegetation of the Zvenigorod Biological Station of Moscow State University]. In: *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2020, no. 3, pp. 105–110.
3. Dymov A. A. [Study of clear-cutting in boreal forests of Russia on land (review)]. In: *Pochvovedeniye* [Soil Science], 2017, no. 7, pp. 787–798. DOI: 10.7868/S0032180X17070024
4. Korotkov S. A., Kiseleva V. V., Stonozhenko L. V., et al. [On the directions of the forest formation process in the northeastern Moscow region]. In: *Zhurnal lesnogo khozyaystva* [Forestry Engineering Journal], 2015, vol. 5, no. 3, pp. 41–54.
5. Malakhova E. G., Lyamtsev N. I. [Distribution and structure of spruce forest dieback areas in the Moscow region in 2010–2012]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskoy akademii lesnogo khozyaystva* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2014, iss. 207, pp. 193–202.
6. Maslov A. D., Komarova I. A., Kotov A. S. [Dynamics of reproduction of the bark beetle in Central Russia in 2010–2013 and forecast for 2014]. In: *Lesnaya informatsiya* [Forestry information], 2014, vol. 1, pp. 38–46.
7. Morozova O. V., Semenishchenkov Yu. A., Tikhonova E. V., et al. [Nemoral grass spruce forests represent Russia]. In: *Rastitelnost Rossii* [Vegetation of Russia], 2017, no. 31, pp. 33–58.

8. Rysin L. P. [Succession processes in the forests of the central part of Russia]. In: *Dostizheniya sovremennoy biologii* [Advances in modern biology], 2009, vol. 129, no. 6, pp. 578–587.
9. Ulanova N. G., Kaplevsky A. A. [Monitoring the biodiversity of spruce forests in part of Russia after the natural and anthropogenic "disasters"]. In: *Vestnik Ufimskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2024, no. 4, pp. 18–24.
10. Ulanova N. G., Cherednichenko O. V. Mechanisms of vegetation succession of catastrophic windfalls in southern taiga spruce forests. In: *Vestnik Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, vol. 14, no. 1, pp. 1399–1402.
11. Shikhov A. N., Chernokulsky A. V., Kalinin N. A., Pyankov S. V. *Vetropady v lesnoy zone Rossii i usloviya ikh vozniknoveniya* [Windfalls in the forest zone of Russia and conditions of their occurrence]. Perm: Perm National Research University Publ., 2023. 284 p.
12. Andrus R.A., Chai R.K., Harvey B.J., et al. Increasing rates of subalpine tree mortality linked to warmer and drier summers. In: *Journal of Ecology*, 2021, vol. 109(5), pp. 2204–2218. DOI: 10.1111/1365-2745.13634
13. Blair D. P., McBurney L. M., Blanchard W., et al. Disturbance gradient shows logging affects plant functional groups more than fire. In: *Ecology Applications*, 2016, vol. 26, pp. 2280–2301.
14. Erbilgin N, Gandhi K. J. K., Hofstetter R. W. *Bark Beetle Management, Ecology, and Climate Change*. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2022. 415 p.
15. Furniss T. J., Larson A. J., Kane V. R., Lutz J.A. Wildfire and drought moderate the spatial elements of tree mortality. In: *Ecosphere*, 2020, vol. 11 (8), pp. 11–37. DOI: 10.1002/ecs2.3214
16. Fornwalt P. J., Rhoades Ch. C., Hubbard R. M., et al. Short-term understory plant community responses to salvage logging in beetle-affected lodgepole pine forests. In: *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 409, pp. 84–93. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.10.056
17. Huang J., Kautz M., Trowbridge A.M., et al. Tree defence and bark beetles in a drying world: Carbon partitioning, functioning and modeling. In: *New Phytologist*, 2020, vol. 225(1), pp. 26–36. DOI: 10.1111/nph.16173
18. Hlásny T., Krokene P., Liebhold A., et al. Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. In: *From science to policy*, 2019, vol. 8, pp. 4–52.
19. Kolb T.E., Fettig C.J., Ayres M. P., et al. Observed and anticipated impacts of drought on forest insects and diseases in the United States. In: *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 380, pp. 321–334.
20. Marini L., Økland B., Jönsson A. M., Bentz B., et al. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. In: *Ecography*, 2016, vol. 40(12), pp 1–10. DOI: 10.1111/ecog.02769
21. Netherer S., Kandasamy D., Jirosova A., et al. Interactions among Norway spruce, the bark beetle *Ips typographus* and its fungal symbionts in times of drought. In: *Journal of Pest Science*, 2021, vol. 94(3), pp. 1–24. DOI: 10.1007/s10340-021-01341-y
22. Thorn S., Bassler C., Brandl R., et al. Impacts of salvage logging on biodiversity: A meta-analysis. In: *Journal of Applied Ecology*, 2018, vol. 55, pp. 279–289. DOI: 10.1111/1365-2664.12945
23. Waldron K., Ruel J., Gauthier S., et al. Effects of post-windthrow salvage logging on microsites, plant composition and regeneration. In: *Applied Vegetation Science*, 2014, vol. 17(2), pp. 323–337. DOI: 10.1111/avsc.12061

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каплевский Андрей Андреевич (г. Москва) — аспирант кафедры экологии и географии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

e-mail: Dron_of_geobot@list.ru; ORCID: 0009-0006-3018-3444

Уланова Нина Георгиевна (г. Москва) — доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и географии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;

e-mail: Nulanova@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5364-940x

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Kaplevsky (Moscow) – Postgraduate student, Department of Ecology and Geography of Plants, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University.
e-mail: Dron_of_geobot@list.ru; ORCID: 0009-0006-3018-3444

Nina G. Ulanova (Moscow) – Dr. Sci. (Biology), Prof., Department of Ecology and Geography of Plants, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: Nulanova@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5364-940x

Original research article

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-70-81

STUDY ON BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF AMMONIA OXIDIZING BACTERIA ISOLATED FROM WASTEWATER SLUDGE AT SOME WOOD PROCESSING FACILITIES IN VIETNAM

© CC BY H. T. T. Do¹, T. K. T. Nguyen², T. D. Phung³, X. T. Phan⁴

¹ Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center
Hanoi, Vietnam
e-mail: hongdt1009@gmail.com

² Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center
Hanoi, Vietnam
e-mail: kimthanhnt2301@gmail.com

³ Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center
Hanoi, Vietnam
e-mail: phungductan1999@gmail.com

⁴ Center for New Technology Transfer, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center
Ho Chi Minh city, Vietnam
e-mail: namkim7878@gmail.com

Received 01.05.2025

Revised 19.08.2025

Accepted 12.09.2025

Abstract

Aim. This study investigates the biological characteristics of ammonia-oxidizing bacteria (AOB) isolated from wastewater sludge collected at several wood processing facilities in Vietnam.

Methodology. To achieve the objectives of the study, composite sludge samples were collected from wastewater treatment units and processed within 6 hours to preserve microbial integrity. Ammonium-oxidizing bacteria were isolated using serial dilution and selective AMS medium, followed by screening for ammonium removal capability. Physiological characteristics of the isolates were evaluated under varying pH, temperature, and ammonium concentrations. Molecular identification was performed by PCR amplification and sequencing of the 16S rRNA gene. The combined use of microbiological and molecular techniques provided a comprehensive understanding of the diversity and functional traits of ammonium-oxidizing bacteria in sludge.

Results. From six sludge samples collected at wood processing facilities in Yen Bai, Thanh Hoa, and Dong Nai provinces, a total of eleven bacterial strains with ammonium-oxidizing capabilities were isolated. Dong Nai samples yielded the highest number of isolates, suggesting favorable conditions for ammonia-oxidizing bacteria in this region. Among the isolates, three strains – *Bacillus subtilis* BT183.1.B1, *Bacillus velezensis* BT751.1.B2, and *Bacillus amyloliquefaciens* BT751.2.B1 – exhibited superior ammonium removal efficiency and were selected for detailed characterization. These strains showed optimal growth at neutral pH (7.0–7.5), temperatures between 35°C and 37°C, and ammonium concentrations up to 700 mg/L. Growth and activity decreased significantly at more extreme pH values, temperatures, and ammonium concentrations. The ability of these *Bacillus* strains to tolerate high ammonium levels and environmental variability highlights their potential for application in biological treatment of nitrogen-rich industrial wastewater, particularly in the wood processing sector.

Research implications. Vietnam ranks fifth globally, second in Asia, and first in Southeast Asia in wood and forest product exports. The rapid growth of the wood industry has brought substantial economic benefits but has also caused environmental challenges, particularly

pollution from wood processing wastewater containing high levels of ammonium – a pollutant difficult to treat biologically. These findings contribute to expanding the diversity of ammonium-oxidizing bacteria and highlight their potential application in treating ammonium-rich wastewater from wood processing industries.

Keywords: Ammonia-oxidizing bacteria, biological characteristics, environmental pollution, wood processing wastewater, *Bacillus*

Acknowledgments: This research has been supported by Project SH.D1.05/23 from Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center.

For citation:

Do H. T. T., Nguyen T. K. T., Phung T. D., Phan X. T. Study on biological characteristics of ammonia oxidizing bacteria isolated from wastewater sludge at some wood processing facilities in Vietnam. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 70–81. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-70-81

Научная статья
УДК 504.064

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АММОНИЙ-ОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НЕКОТОРЫХ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВЬЕТНАМА

© СС ВУ До Х. Т. Т.¹, Нгуен Т. К. Т.², Фунг Т. Д.³, Фан Х. Т.⁴

¹Департамент биотехнологии, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский центр
г. Ханой, Вьетнам
e-mail: hongdt1009@gmail.com

²Департамент биотехнологии, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский центр
г. Ханой, Вьетнам
e-mail: kimthanhnt2301@gmail.com

³Департамент биотехнологии, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский центр
г. Ханой, Вьетнам
e-mail: phungductan1999@gmail.com

⁴Центр передачи новых технологий, Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский центр,
г. Хошимин, Вьетнам
e-mail: namkim7878@gmail.com

Поступила в редакцию 01.05.2025

После доработки 19.08.2025

Принята к публикации 12.09.2025

Аннотация

Цель. Данное исследование посвящено изучению биологических характеристик аммоний-окисляющих бактерий (АОБ), выделенных из осадка сточных вод, собранных на нескольких деревообрабатывающих предприятиях Вьетнама.

Процедура и методы. Для достижения целей исследования были отобраны объединённые пробы осадка из очистных сооружений и обработаны в течение 6 часов для сохранения целостности микрофлоры. Аммоний-окисляющие бактерии выделяли методом серийных разведений на селективной питательной среде AMS с последующим скринингом на способность удалять аммоний. Физиологические характеристики изолятов оценивали при различных значениях pH, температуры и концентрации аммония. Молекулярная идентификация проводилась с помощью ПЦР-амплификации и секвенирования гена 16S рРНК. Комбинированное использование микробиологиче-

ских и молекулярных методов позволило получить комплексное представление о разнообразии и функциональных признаках аммоний-окисляющих бактерий в осадке. **Результаты.** Из 6 проб осадка, собранных на деревообрабатывающих предприятиях в провинциях Йенбай, Тханьхоа и Донгнай, было выделено в общей сложности одиннадцать штаммов бактерий, обладающих способностью окислять аммоний. Пробы из Донгнай дали наибольшее количество изолятов, что свидетельствует о благоприятных условиях для аммоний-окисляющих бактерий в этом регионе. Среди выделенных штаммов три – *Bacillus subtilis* BT183.1.B1, *Bacillus velezensis* BT751.1.B2 и *Bacillus amyloliquefaciens* BT751.2.B1 – продемонстрировали наивысшую эффективность удаления аммония и были отобраны для детальной характеристики. Эти штаммы показали оптимальный рост при нейтральном pH (7,0–7,5), температуре от 35°C до 37°C и концентрации аммония до 700 мг/л. Рост и активность значительно снижались при более экстремальных значениях pH, температуры и концентрации аммония. Способность данных штаммов *Bacillus* переносить высокие уровни аммония и изменчивость условий окружающей среды подчёркивает их потенциал для применения в биологической очистке богатых азотом промышленных сточных вод, особенно в деревообрабатывающей отрасли.

Теоретическая и/или практическая значимость. Вьетнам занимает пятое место в мире, второе в Азии и первое в Юго-Восточной Азии по экспорту древесины и лесной продукции. Быстрый рост деревообрабатывающей отрасли принёс значительные экономические выгоды, но также создал серьёзные экологические проблемы, в частности, загрязнение от сточных вод деревообработки, содержащих высокие уровни аммония – загрязнителя, трудно поддающегося биологической очистке. Полученные результаты способствуют расширению знаний о разнообразии аммоний-окисляющих бактерий и подчёркивают их потенциальное применение для очистки богатых аммонием сточных вод деревообрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: аммоний-окисляющие бактерии, биологические характеристики, загрязнение окружающей среды, сточные воды деревообрабатывающей промышленности, *Bacillus*

Acknowledgments: This research has been supported by Project SH.D1.05/23 from Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center.

Для цитирования:

До Х. Т. Т., Нгуен Т. К. Т., Фунг Т. Д., Фан Х. Т. Исследование биологических характеристик аммоний-окисляющих бактерий, выделенных из осадка сточных вод некоторых деревообрабатывающих предприятий Вьетнама // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 70–81. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-70-81

INTRODUCTION

Vietnam is recognized as the fifth largest exporter of wood and forest products worldwide, ranking second in Asia and first in Southeast Asia [1]. The rapid expansion of the wood processing industry has significantly contributed to the national economy. However, this growth has also led to serious environmental challenges, particularly the generation of large volumes of wood processing wastewater containing high concentrations of ammonium (NH_4^+), a nitrogenous compound that poses considerable treatment difficulties due to its toxicity and persistence in aquatic ecosystems [2].

Ammonium in wastewater exists primarily in two forms: ammonia gas (NH_3) and ammonium ion (NH_4^+), both of which contribute to nitrogen pollution and eutrophication in receiving water bodies [3]. High ammonium levels can lead to dissolved oxygen depletion, algal blooms, and fish mortality, making its removal a priority in wastewater treatment strategies [4].

The biological removal of ammonium is a complex, multi-step process involving diverse microbial communities. Nitrification, the aerobic oxidation of ammonium to nitrite (NO_2^-) and subsequently nitrate (NO_3^-), is a critical first step facilitating further nitrogen removal via denitrification or anaerobic ammonium oxidation (anammox) processes [3];

4; 5]. These microbial transformations play an essential role in reducing nitrogen loads and mitigating environmental risks associated with nitrogen pollution.

Ammonia-oxidizing bacteria (AOB) such as *Nitrosomonas* and *Nitrospira* are key players in the nitrification process. However, these bacteria are often difficult to isolate and cultivate due to their slow growth rates and sensitivity to environmental fluctuations such as pH, temperature, dissolved oxygen (DO), and chemical oxygen demand (COD) [5]. Autotrophic AOB are particularly vulnerable to competition from heterotrophic microorganisms, which often dominate in organic-rich wastewaters like those from wood processing plants [4].

In contrast, heterotrophic bacteria, particularly those of the genus *Bacillus*, have demonstrated robust ammonium oxidation capabilities. *Bacillus* species are known for their rapid growth, environmental resilience,

and ability to metabolize ammonium even at high concentrations exceeding 1000 mg/L [6]. Several studies have reported that certain *Bacillus* strains can directly convert ammonium into free nitrogen gas, bypassing intermediate accumulation of nitrite or nitrate, offering significant advantages for wastewater treatment applications [7].

Given these characteristics, this study focuses on isolating and characterizing *Bacillus* strains from wastewater sludge at wood processing facilities in Vietnam. The aim is to elucidate their biological properties, including optimal growth conditions and ammonium oxidation capacity, to explore their potential for bioremediation of ammonium-rich industrial wastewater. This research contributes to expanding the diversity of known ammonium-oxidizing bacteria and provides a foundation for developing effective biological treatment technologies tailored to the wood processing industry.

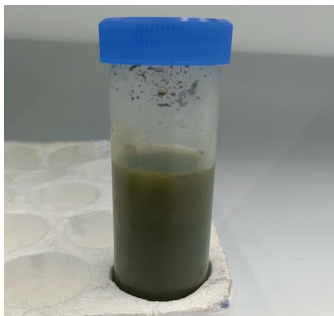
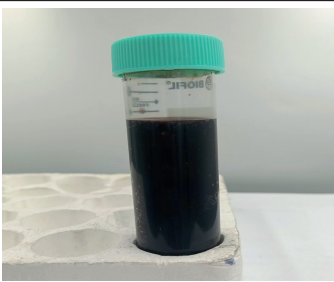
MATERIALS AND METHODS

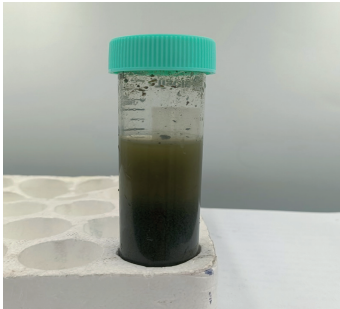
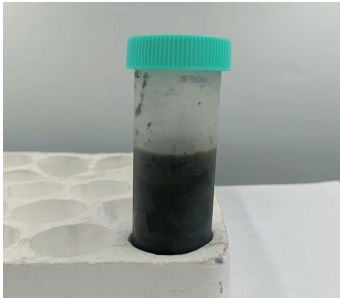

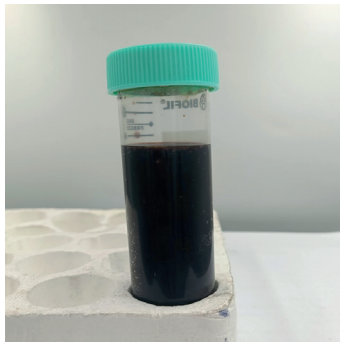
Materials

The research materials (selected samples for laboratory analysis) are presented in Table 1.

Table 1 / Таблица 1

List of samples / Список образцов

No.	Place	Code sample	Describe
01	Yen Bai province	BT183.1	 Blueish black
		BT183.2	 Black color, thick consistency

No.	Place	Code sample	Describe
02	Thanh Hoa province	BT111.1	 Blueish black
		BT111.2	 Dark brown
03	Dong Nai province	BT751.1	 Black color, thick consistency
		BT751.2	 Black color, thick consistency
Total			6

Source: compiled by the authors

Methods

Sample Collection: Composite sludge samples were obtained using a sterile stainless-steel sludge sampler (depth 0–50 cm) at three different points within each treatment unit to en-

sure representative coverage. The samples were collected in sterile 1 L polypropylene containers, pre-labeled, and stored at 4°C in an insulated icebox during transportation to the laboratory. All samples were processed within

6 hours of collection to minimize microbial activity loss and compositional changes [8].

Isolation of Microorganisms from Sludge Samples: To isolate ammonium-oxidizing bacteria from sludge samples, a serial dilution and spread plate technique was employed using selective and enrichment media. All microbiological procedures were conducted under aseptic conditions in a laminar flow cabinet. Approximately 10 g of well-homogenized sludge was suspended in 90 mL of sterile 0.85% saline solution and vortexed vigorously for 10 minutes to dislodge microbial cells. The resulting suspension was allowed to settle for 5 minutes, and the supernatant was serially diluted (10^{-1} to 10^{-6}). Selective enrichment was performed using a modified ammonium mineral salts (AMS) medium, containing (per liter): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 1.0 g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.2 g; CaCl_2 – 0.02 g; KH_2PO_4 – 1.0 g; Na_2HPO_4 – 1.0 g; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.01 g; trace elements – 1 mL; pH adjusted to 7.2. The medium was supplemented with 0.5% glucose to support heterotrophic nitrifiers [9]. From each dilution, 0.1 mL was spread onto AMS agar plates and incubated at 30 ± 2 °C for 3–5 days. Colonies exhibiting distinct morphologies (mucoid, opaque, cream-white, round) were selected and purified by repeated streaking on fresh AMS plates [7; 9]. Preliminary screening for ammonium oxidation capability was performed by inoculating isolates into 50 mL of liquid AMS medium containing 100 mg/L NH_4^+ -N. After incubation for 5 days at 30°C and 120 rpm, ammonium concentration was determined using the Nessler's reagent method, and positive isolates showing a significant decrease in NH_4^+ were retained for further study [7, 8]. Pure cultures were preserved in glycerol stocks (20%) at –80°C for long-term storage.

Determination of biological characteristics of bacterial strains: Effect of pH: Investigation in culture media with pH levels of 5, 6, 7, 8 and 9; Effect of temperature: Temperature levels of 5, 30, 37, 45 and 50 °C were investigated; Effect of ammonium concentration: the ammonium concentrations investigated were 100 mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L, 700 mg/L, 1000 mg/L. Each experiment was repeated 3 times [10].

PCR Amplification and Sequencing of 16S rRNA Gene: The 16S rRNA gene of bacterial isolates was amplified using the universal

primer pair 27F (5'-AGAGTTTGATCMT-GCCTCAG-3') and 1492R (5'-TACGGT-TACCTTGTTACGACTT-3'). The PCR reaction mixture (25 μL) included 12.5 μL of 2 \times PCR Master Mix, 1 μL of each primer (10 μM), 1 μL of template DNA, and nuclease-free water. Thermocycling was performed with the following conditions: initial denaturation at 95°C for 5 min; 35 cycles of denaturation at 95°C for 30 s, annealing at 55°C for 30 s, and extension at 72°C for 90 s; and a final extension at 72°C for 10 min [11]. Amplification products were confirmed via 1.5% agarose gel electrophoresis stained with ethidium bromide. Target bands were purified using a commercial gel extraction kit according to the manufacturer's instructions and submitted for Sanger sequencing [12].

Sequence analysis: The sequencing results were compared to related data in Genbank by the BLAST search on NCBI.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Isolation and identification results

From six wastewater sludge samples collected at wood processing facilities in Yen Bai, Thanh Hoa, and Dong Nai provinces, a total of 11 bacterial strains exhibiting ammonium oxidation activity were successfully isolated. The highest number of isolates (five strains) originated from Dong Nai, indicating a potentially higher microbial diversity or more favorable conditions for the proliferation of ammonia-oxidizing bacteria (AOB) in this region (Table 2).

The variation in isolate numbers among locations may be attributed to differences in the physicochemical characteristics of the sludge, such as ammonium concentration, pH, temperature, organic matter content, and other site-specific environmental factors. Previous studies have shown that the environmental context of sampling sites significantly influences the abundance and activity of specialized microbial groups such as AOB [1; 2].

Moreover, the higher number of isolates from Dong Nai may serve as a valuable basis for developing microbial technologies aimed at nitrogen removal in industrial wastewater treatment processes in this area.

Among the eleven isolates, three strains demonstrated superior ammonium metabo-

Table 2 / Таблица 2

Statistics of the number of strains isolated in the samples / Статистика количества штаммов, выделенных в образцах

Samples	BT183.1	BT183.2	BT111.1	BT111.2	BT751.1	BT751.2	Total
Strains	3	1	1	1	3	2	11

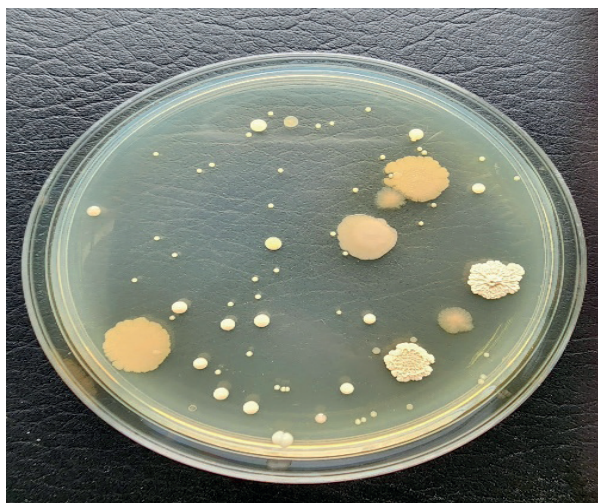


Fig. 1 / Рис. 1. Isolation results of sample BT175.1 / Результаты изоляции образцов BT175.1

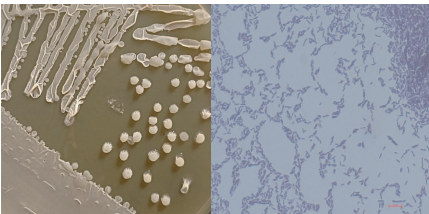
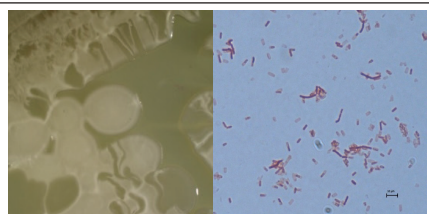
Source: compiled by the authors

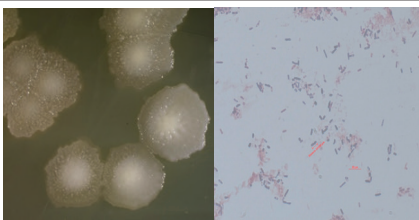
lism efficiency and were selected for detailed characterization. Molecular identification based on 16S rRNA gene sequencing revealed that these strains shared high sequence similarity with *Bacillus subtilis*, *Bacillus velezensis*, and *Bacillus amyloliquefaciens*, respectively. These strains were designated as *Bacillus subtilis* BT183.1.B1, *Bacillus velezensis* BT751.1.B2, and *Bacillus amyloliquefaciens* BT751.2.B1.

The identification of these *Bacillus* species is consistent with previous studies that underscore the genus's prominent role in ammonium oxidation across diverse wastewater environments, including both industrial and agricultural effluents. Their occurrence in sludge from wood processing wastewater highlights their adaptability to complex and potentially

Table 3 / Таблица 3

List of bacterial strains / Список штаммов бактерий

No.	Strains	Species	Similarity level	Morphology
1	BT183.1.B1	<i>Bacillus subtilis</i>	99,89% (KT236337)	 <p>Colony: Colonies are circular with entire margins, slightly wrinkled or dry surface, opaque white to pale yellow in color. Cell: Rod-shaped, Gram-positive cells, capable of forming central or subterminal spores, usually non-motile or weakly motile.</p>
2	BT751.1.B2	<i>Bacillus velezensis</i>	99% (NR116240)	 <p>Colony: Colonies are irregular or rosette-shaped, heavily wrinkled surface, with undulate or serrated margins, cream to deep yellow color, slightly sticky and opaque. Cell: Rod-shaped, Gram-positive cells, spore-forming, and motile.</p>

3	BT751.2.B1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	100% (NR041455)	 <p>Colony: Colonies are round with irregular margins, dry surface, cream to light yellow in color, opaque. Clear hydrolysis zones may be visible on starch-containing media. Cell: Rod-shaped, Gram-positive cells, motile, and spore-forming.</p>
---	------------	-----------------------------------	--------------------	---

Source: compiled by the authors

inhibitory conditions, such as elevated ammonium concentrations and high organic loads.

These results align with recent findings in Vietnam. For instance, Nguyen Thi Tham et al. [13] successfully isolated *Bacillus subtilis* and other heterotrophic nitrifying bacteria from aquaculture wastewater, reinforcing the prevalence and effectiveness of *Bacillus* species in ammonium removal across varied wastewater sources. Similarly, studies on nitrate-oxidizing bacteria in aquaculture systems in Thanh Hoa and Soc Trang provinces reported ammonium conversion efficiencies exceeding 95% under optimized conditions [14], further demonstrating the potential of indigenous *Bacillus* strains for practical application in local wastewater treatment systems [15].

Comparable results have been reported internationally. For example, Zhang et al. [16] isolated efficient ammonium-oxidizing *Bacillus* strains from municipal wastewater treatment plants in China, achieving removal rates above 90% under aerobic conditions. In another study, Yang et al. [17] highlighted the role of *Bacillus megaterium* in simultaneous nitrification and denitrification in high-ammonium synthetic wastewater. Likewise, Harshvardhan and Jha [18] demonstrated the capability of marine *Bacillus* spp. to degrade nitrogen-rich plastic-associated biofilms, underscoring the genus's environmental versatility.

Effect of pH on growth of bacterial strains

The three *Bacillus* strains exhibited optimal growth in culture media with pH values ranging from 7.0 to 7.5, which corresponds closely to neutral conditions commonly found in natural and engineered wastewater treatment

systems. Among them, *Bacillus amyloliquefaciens* BT751.2.B1 showed the highest growth rate at this pH range, suggesting a slightly better adaptation to neutral pH environments. Growth rates declined significantly at acidic (pH 5–6) and alkaline (pH 8–9) conditions, indicating sensitivity to pH extremes. This pH preference is consistent with the enzymatic activity of ammonia monooxygenase (AMO), the key enzyme catalyzing ammonium oxidation, which functions optimally near neutral pH. Maintaining pH within this optimal range is therefore critical for maximizing ammonium removal efficiency in bioreactors employing these strains.

These results are in line with international findings, such as those by Kim et al. [19], who demonstrated that *Bacillus* strains maintain robust ammonium oxidation activity at neutral pH and mesophilic temperatures, which are typical for many wastewater treatment systems globally. Furthermore, Bellucci and Curtis [20] highlighted the challenges of isolating autotrophic ammonia-oxidizing bacteria due to their slow growth and environmental sensitivity, whereas heterotrophic *Bacillus* species – like those isolated in this study – exhibit faster growth and greater adaptability. This advantage is especially relevant for practical applications in industrial wastewater treatment, where environmental conditions can fluctuate significantly.

Effect of temperature on growth of bacterial strains

Temperature is a crucial factor influencing microbial metabolism and enzyme kinetics. The three *Bacillus* strains demonstrated opti-

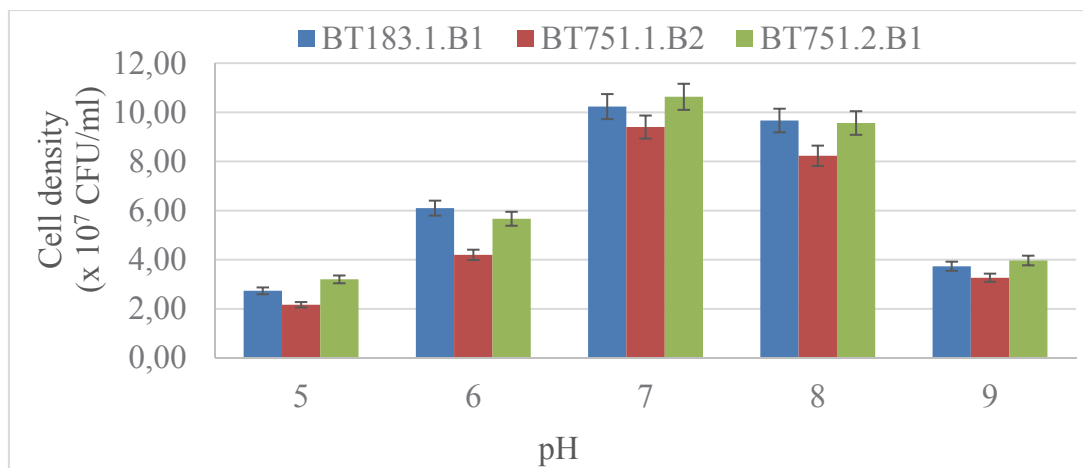


Fig. 2 / Рис. 2. Effect of pH on growth of bacterial strains / Влияние pH на рост бактериальных штаммов

Source: compiled by the authors

mal growth at temperatures between 35°C and 37°C, with *Bacillus subtilis* BT183.1.B1 exhibiting the highest growth rate within this range. Growth was substantially inhibited at temperatures below 30°C and above 45°C, reflecting the mesophilic nature of these bacteria.

This temperature range aligns well with typical conditions in tropical wastewater treatment environments, including those in Vietnam, facilitating their practical application without the need for extensive temperature control [13]. The ability to maintain high ammonium oxidation rates at these temperatures enhances the feasibility of deploying these strains in large-scale treatment systems.

Similar observations have been reported by Zhang et al. [16], who found that indigenous

Bacillus strains isolated from municipal wastewater systems in China exhibited optimal nitrification activity around 35 °C, with significant performance drops outside the 30–40 °C range. Likewise, Yang et al. [17] confirmed that *Bacillus megaterium* maintained simultaneous nitrification–denitrification capacity at mesophilic temperatures, further affirming the suitability of *Bacillus* species for mainstream treatment systems operating under mild thermal conditions.

In addition, Kim et al. [19] noted that while autotrophic nitrifiers often exhibit narrow optimal temperature ranges and decreased activity under fluctuating conditions, heterotrophic *Bacillus* strains display broader thermal tolerance and faster recovery from stress. This flex-

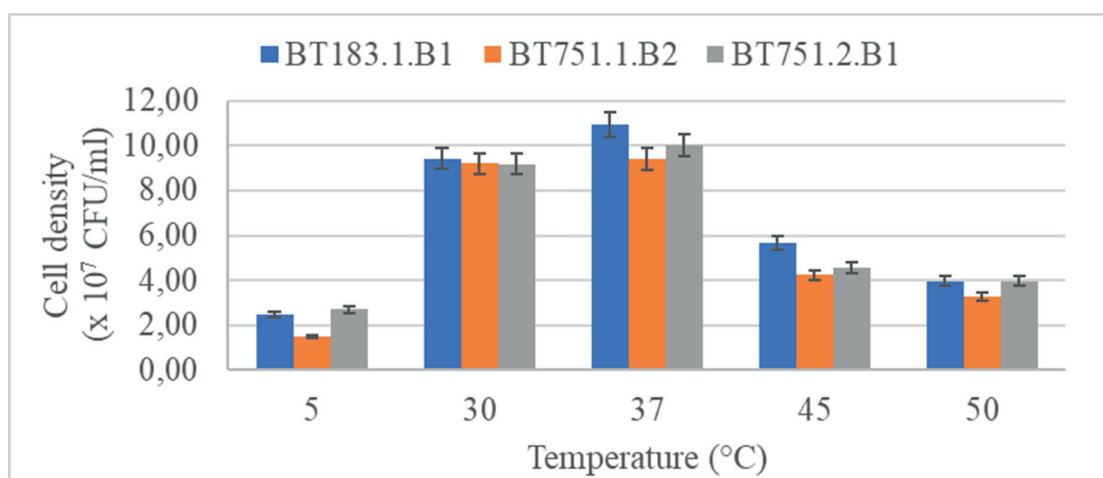


Fig. 3 / Рис. 3. Effect of temperature on growth of bacterial strains / Влияние температуры на рост штаммов бактерий

Source: compiled by the authors

ibility is particularly beneficial for decentralized or industrial treatment plants where environmental factors may be less controllable [8; 20].

Effect of ammonium concentration on growth of bacterial strains

The three *Bacillus* strains were tested for their capacity to metabolize ammonium at varying concentrations: 100, 300, 500, 700, and 1000 mg/L. All strains completely oxidized ammonium at concentrations up to 700 mg/L within five days of incubation, demonstrating strong tolerance and metabolic activity under high ammonium loads typical of wood processing wastewater. At 1000 mg/L ammonium, bacterial growth and ammonium oxidation rates declined markedly, indicating inhibitory effects likely due to ammonia toxicity or substrate inhibition. This finding is consistent with reports that high ammonium concentrations can disrupt cellular processes and enzyme function in nitrifying bacteria [13; 23].

The ability to efficiently oxidize ammonium at concentrations up to 700 mg/L positions these *Bacillus* strains as promising candidates for bioremediation of ammonium-rich industrial effluents. Their performance suggests potential for integration into biological treatment systems, either as pure cultures or as part of microbial consortia, to enhance nitrogen removal efficiency. This tolerance is particularly important for treating wastewater from wood processing and food industries, where ammonium concentrations often exceed the thresholds tolerated by traditional autotrophic nitrifiers [21; 22].

This outcome is consistent with both domestic and international studies. Vietnamese research has shown that locally sourced *Bacillus* strains can achieve high ammonium removal efficiency in both laboratory and field settings [13; 15]. For example, Pham et al. [15] reported efficient ammonium oxidation by indigenous *Bacillus* species up to 600–700 mg/L, with minimal performance loss. Internationally, Kim et al. [19] observed that selected *Bacillus* strains maintained nitrification activity even at concentrations exceeding 1000 mg/L, although metabolic inhibition was evident at extreme loads. Similarly, Zhang et al. [16] found that *Bacillus cereus* strains tolerated up to 800 mg/L ammonium without significant biomass loss, demonstrating strain-specific tolerance levels.

Such findings reinforce the value of using robust, heterotrophic ammonium-oxidizing bacteria like *Bacillus* in practical treatment applications, particularly under high-strength wastewater conditions where autotrophic nitrifiers underperform due to their lower resistance to ammonium toxicity and slower growth rates [24; 25].

CONCLUSION

This study successfully isolated eleven ammonia-oxidizing bacterial strains from wastewater sludge at wood processing facilities in Vietnam. Three *Bacillus* strains – *B. subtilis* BT183.1.B1, *B. velezensis* BT751.1.B2, and

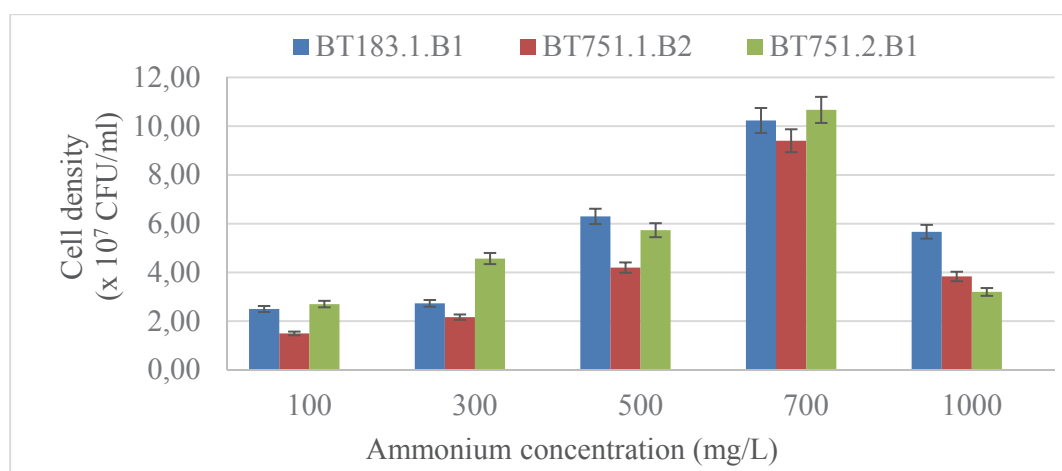


Рис. 4 / Рис. 4. Effect of ammonium concentration on growth of bacterial strains / Влияние концентрации аммония на рост бактериальных штаммов

Source: compiled by the authors

B. amyloliquefaciens BT751.2.B1 – demonstrated strong ammonium oxidation capacity under optimal conditions of pH 7–7.5 and 35–37°C. These strains completely metabolized ammonium at concentrations up to 700 mg/L, underscoring their potential for bioremediation applications in wood processing wastewater treatment.

REFERENCES

1. General Statistics Office of Vietnam. *Vietnam statistical yearbook 2022*. Hanoi: Statistical Publishing House, 2023.
2. Tran M. H., Nguyen T. T., Nguyen T. D., Nguyen C. T., Nguyen T. Q., Nguyen H. C. The effects of ammonium loading rates and salinity on ammonium treatment of wastewater from super-intensive shrimp farming. In: *Vietnam Journal of Science and Technology*, 2023, vol. 61, no. 5, pp. 854–864. DOI: 10.15625/2525-2518/16427
3. Sun Y., Ma Y., Cao Y., Liu S. Nitrogen removal performance and changes in microbial community structure of a single-stage partial nitrification-anammox (PNA) process for treating municipal wastewater with an extremely low carbon- to-nitrogen ratio. In: *Research Square*, 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-5369986/v1
4. Mai W., Chen J., Liu H., Liang J., Tang J., Wei Y. Advances in Studies on Microbiota Involved in Nitrogen Removal Processes and Their Applications in Wastewater Treatment. In: *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12. DOI: 10.3389/fmicb.2021.746293
5. Duan S., Zhang Y., Zheng S. Heterotrophic nitrifying bacteria in wastewater biological nitrogen removal systems: A review. In: *Environmental Science and Technology*, 2021, vol. 52, no. 3, pp. 1–37. DOI: 10.1080/10643389.2021.1877976
6. Kowalchuk G. A., Stephen J. R. Ammonia-oxidizing bacteria: A model for molecular microbial ecology. In: *Annual Review of Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 485–529. DOI: 10.1146/annurev.micro.55.1.485
7. Gao Z., Zhu T., Liu C., Zhang J. Ammonium removal characteristics of heterotrophic nitrifying bacterium *Pseudomonas stutzeri* GEP-01 with potential for treatment of ammonium-rich wastewater. In: *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2020, vol. 43, no. 1, pp. 959–969. DOI: 10.1007/s00449-020-02292-x
8. Ding C., He T. *Bacillus thuringiensis* EM-A1: A novel bacterium for high concentration of ammonium elimination with low nitrite accumulation. In: *Chemosphere*, 2023, vol. 338, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139465
9. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017.
10. Sheela B., Khasim B. S., Yellaji R. O. Bioremediation of ammonia using ammonia oxidizing bacteria isolated from sewage. In: *International Journal of Environmental Bioremediation and Biodegradation*, 2014, vol. 4, pp. 146–150.
11. Frank J. A., Reich C. I., Sharma S., Weisbaum J. S., Wilson B. A., Olsen G. J. Critical evaluation of two primers commonly used for amplification of bacterial 16S rRNA genes. In: *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, vol. 74, no. 8, pp. 2461–2470. DOI: 10.1128/AEM.02272-07
12. Srinivasan R., Karaoz U., Volegova M., MacKichan J., Kato-Maeda M., Miller S., Lynch S. V. Use of 16S rRNA gene for identification of a broad range of clinically relevant bacterial pathogens. In: *PLOS ONE*, 2015, vol. 10, no. 2, e0117617. DOI: 10.1371/journal.pone.0117617
13. Nguyen T. T., Tran V. A., Do T. T. H. Study on heterotrophic nitrifying bacteria in aquaculture wastewater in Vietnam. In: *Journal of Environmental Biotechnology*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 45–52.
14. Nguyen D. H., Bui V. T., Vo C. D. Nitrate-oxidizing bacteria in aquaculture systems: A case study in Thanh Hoa and Soc Trang provinces. In: *Journal of Water Science and Technology*, 2022, vol. 85, no. 4, pp. 867–875.
15. Pham T. H., Le M. T., Tran Q. H. Ammonium removal efficiency of indigenous *Bacillus* strains in high-load wastewater. In: *Environmental Technology*, 2023.
16. Zhang L., Liu Y., Yang M., Ni B.-J. High ammonium removal efficiency by *Bacillus* strains isolated from municipal wastewater treatment plants. In: *Bioresource Technology*, 2018, vol. 256, pp. 70–76.
17. Yang J., Chen X., Guo W., Ngo H. H., Zhang J. Simultaneous nitrification and denitrification by *Bacillus megaterium* in aerobic granular sludge system. In: *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 240, pp. 136–143.
18. Harshvardhan K., Jha B. Biodegradation of low-density polyethylene by marine bacteria from pelagic waters, Arabian Sea, India. In: *Marine Pollution Bulletin*, 2013, vol. 77, no. 1–2, pp. 100–106.
19. Kim D. J., Kim S. H., Lee D. I. Effect of pH and temperature on nitrogen removal ef-

- iciency and microbial structure of biofilms in a nitrifying trickling filter. In: *Journal of Biotechnology*, 2005, vol. 115, no. 3, pp. 317–328.
20. Bellucci M., Curtis T. P. The effect of heterotrophic and autotrophic conditions on nitrifying bacterial populations in activated sludge. In: *Water Research*, 2011, vol. 45, no. 13, pp. 4399–4406.
 21. Nguyen H. D., Nguyen T. V., Dinh T. T. H., Phan D. H., Tran H. D. Ammonia oxidation capacity of bacillus bacteria in swine wastewater after biogas treatment. In: *Hue University Journal of Science: Natural Science*, 2022, vol. 131, no. 1D, pp. 77–87.
 22. Xu M., Chen L., Xin Y., Wang X., Wang Z., Meng X., Zhang W., Sun W., Geng B., Li L. Characteristics and Mechanism of Ammonia Nitrogen Removal by Heterotrophic Nitrification Bacterium *Klebsiella pneumoniae* LCU1 and Its Application in Wastewater Treatment. In: *Microorganisms*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 297. DOI: 10.3390/microorganisms13020297
 23. Wang L., Si Z., Yu H., Yu L., Lin Q., Liu W., Jiang L., Jiang S., Peng S. Unveiling the dual role of heterotrophic ammonia-oxidizing bacteria: enhancing plant regrowth through modulating cytokinin delivery. In: *Frontiers in Microbiology*, 2023, vol. 14. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1268442
 24. Qiang L., Hao R., Wang X., Li J., Lin Q., Peng S. Dual function of heterotrophic ammonia-oxidizing bacteria in facilitating maize compensatory growth under limited rewatering after drought. In: *BMC Biotechnology* 25, 2025, vol. 71. DOI: 10.1186/s12896-025-01006-z
 25. Martikainen P. J. Heterotrophic nitrification – An eternal mystery in the nitrogen cycle. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 2022, vol. 168. DOI: 10.1016/j.soilbio.2022.108611

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Hong T. T. Do (Hanoi) – Master of Science, Deputy Head, Microbiology Research Department, Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center; e-mail: hongdt1009@gmail.com

Thanh K. T. Nguyen (Hanoi) – Master of Science, Assistant, Microbiology Research Department, Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center; e-mail: kimthanhnt2301@gmail.com

Tan D. Phung (Hanoi) – Engineer, Assistant, Microbiology Research Department, Department of Biotechnology, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center; e-mail: phungductan1999@gmail.com

Xuan T. Phan (Ho Chi Minh city) – Master, Vice president, Center for New Technology Transfer, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center; e-mail: namkim7878@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хонг Т. Т. До (г. Ханой) – магистр наук, заместитель начальника отдела микробиологических исследований Департамента биотехнологии Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского центра; e-mail: hongdt1009@gmail.com

Тхань К. Т. Нгуен (г. Ханой) – магистр наук, ассистент кафедры микробиологических исследований Департамента биотехнологии Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского центра; e-mail: kimthanhnt2301@gmail.com

Тан Д. Пхунг (г. Ханой) – инженер, ассистент кафедры микробиологических исследований Департамента биотехнологии Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского центра; e-mail: phungductan1999@gmail.com

Хуан Т. Фан (г. Хошимин) – магистр, вице-президент Центра передачи новых технологий, Объединённый центр исследований тропической науки и технологий Вьетнама и России; e-mail: namkim7878@gmail.com

ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Научная статья

УДК 504.3.054(470.2)

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ ПО ДАННЫМ РАЗНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

© СС ВУ Стурман В. И.

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997*

Поступила в редакцию 06.05.2025

После доработки 22.07.2025

Принята к публикации 05.09.2025

Аннотация

Цель. Оценка достоверности, факторов и особенностей динамики показателей доступной в интернете информации о загрязнении атмосферного воздуха.

Процедура и методы. Выполнено сопоставление показателей загрязнения атмосферного воздуха из официальных источников с находящимися в свободном доступе данными из интернет-источников о текущих концентрациях загрязняющих веществ и о метеорологических характеристиках на примере диоксида азота для городов Северо-Запада России: Калининграда, Пскова, Великого Новгорода, Санкт-Петербурга, Кириши, Пикалёво, Петрозаводска. Выполнена количественная оценка зависимости концентраций от скоростей ветра, атмосферного давления, наличия или отсутствия атмосферных осадков, рабочих или нерабочих дней.

Результаты. Концентрации диоксида азота по данным наземных измерений и представленным на сайте *Ventusky.com* результатам расчётов с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий сопоставимы и подчиняются одним и тем же закономерностям изменчивости во времени. Корреляционные связи между концентрациями диоксида азота по данным наземных измерений и представленными на сайте *Ventusky.com* результатами расчётов по модели *SILAM* с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий слабые, но устойчивые. В зимне-весенний период отмечалась отчётливая тенденция к снижению концентраций, что отражает уменьшение использования топлива для отопления. Нисходящий тренд наиболее выражен в городах с преобладанием промышленных источников выбросов – Кириши и Пикалёво, а также Пскове, что может быть объяснено выбросами локальных котельных и индивидуальных печей. Снижение концентраций в нерабочие дни по сравнению с рабочими составляет от 15,8% до 50%, а при выпадении атмосферных осадков – от 4,4% до 33,3%. Данные сайта *Ventusky.com* могут рассматриваться как важное дополнение к результатам наземных наблюдений, но не как равнозначная альтернатива.

Теоретическая и/или практическая значимость. Проведена оценка возможностей дополнения информации о загрязнении атмосферного воздуха из официальных источников доступными в интернете данными. Выявлены и количественно охарактеризованы тенденции динамики концентраций.

Ключевые слова: воздушная среда, двуокись азота, загрязнение, интернет-источники, Северо-Западная Россия

Для цитирования:

Стурман В. И. Сравнительное исследование динамики концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе городов северо-запада России по данным разных информационных источников // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 82–91. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

Original Article

COMPARATIVE EXPLORATION OF THE DYNAMICS OF NITROGEN DIOXIDE CONCENTRATIONS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF CITIES IN NORTHWESTERN RUSSIA ACCORDING TO VARIOUS INFORMATION SOURCES

© CC BY V. Sturman

*The Bonch-Bruевич St. Petersburg State University of Telecommunications
St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997*

Received 06.05.2025

Revised 22.07.2025

Accepted 05.09.2025

Abstract

Aim. Assessment of the reliability, factors and features of the dynamics of information on atmospheric air pollution available on the Internet.

Methodology. A comparison of nitrogen dioxide concentration indicators from official sources with freely available data from Internet sources on current concentrations of pollutants and meteorological characteristics, using the example of nitrogen dioxide, for cities in Northwestern Russia has been performed.: Kaliningrad, Pskov, Veliky Novgorod, Saint Petersburg, Kirishi, Pikalevo, Petrozavodsk. A quantitative assessment of the dependence of concentrations on wind speeds, atmospheric pressure, the presence or absence of precipitation, working or non-working days had been performed.

Results. Nitrogen dioxide concentrations according to ground-based measurements and calculation results presented on the Ventusky website, using data from remote monitoring of emissions and weather conditions, are comparable and follow the same patterns of temporal variability. The correlations between nitrogen dioxide concentrations according to ground-based measurements and the calculation results presented on the Ventusky website using the SILAM model, using data from remote monitoring of emissions and weather conditions, are weak but stable. In the winter and spring period, there was a clear tendency to decrease concentrations. This reflects a decrease in the use of fuel for heating. The downward trend is in cities with a predominance of industrial sources of emissions – Kirishi and Pikalevo, as well as Pskov, which can be explained by emissions from local boilers and individual furnaces. The decrease in concentrations on non-working days compared to working days ranges from 15.8% to 50%, and during precipitation from 4.4% to 33.3%. The data from the Ventusky website can be considered as an important addition to the results of ground-based observations, but not as an alternative.

Research implications. It is an assessment of the possibilities of supplementing information on atmospheric air pollution from official sources with data available on the Internet. Trends in concentration dynamics have been identified and quantified.

Keywords: air environment, nitrogen dioxide, pollution, Internet sources, North-Western Russia

For citation:

Sturman, V. I. Comparative exploration of the dynamics of nitrogen dioxide concentrations in the atmospheric air of cities in northwestern Russia according to various information sources. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 82–91. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы загрязнения и охраны атмосферного воздуха неизменно привлекают внимание общественности. Состояние этого компонента окружающей среды жизненно важно и при этом сложно поддаётся корректировке посредством технических решений. Информация о состоянии атмосферного воздуха из официальных источников (ежегодники загрязнения атмосферы..., государственные доклады о состоянии окружающей среды..., в отдельных городах – сайты региональных управлений Росгидромета и других организаций) не вполне удовлетворяет общественный запрос в силу невысокого пространственного разрешения и задержек во времени. С другой стороны, развитие телекоммуникаций, технологий дистанционного зондирования атмосферы и моделирования атмосферных процессов создаёт новые возможности для мониторинга воздушного загрязнения. Однако разрешающая способность и количество дистанционных газоанализаторов недостаточны для ежедневного мониторинга [14]. Также определённые ограничения создаёт облачность [15].

Объектом спутникового мониторинга в настоящее время являются выбросы примесей, включая в т. ч. диоксид азота [17]. Данные о выбросах в сочетании с метеорологическими параметрами используются в химико-транспортных моделях [18], что позволяет получать постоянно меняющиеся поля концентраций примесей. Доступные в интернете ресурсы (*Ventusky.com*, *BreezoMeter.com*, *AirVisual Earth (iqair.com)* и др.) позволяют оценивать состояние атмосферного воздуха в режиме реального времени. Сопоставления спутниковых и наземных данных пока немногочисленны и свидетельствуют в основном о достаточно хорошей сходимости, в частности для оксида углерода и метана [9], аэрозольных частиц и оксида углерода [12; 19], диоксида серы [6].

Однако в целом вопрос о сопоставлении официальной информации о загрязнении воздуха и доступных неофициальных данных в интернете изучен и освящён в литературных источниках крайне скупо. Хотя вопрос о необходимости интеграции

спутниковых и наземных методов мониторинга ставится уже более 20 лет [2; 7], в публикациях преобладает изолированное рассмотрение либо только спутниковых, либо только наземных данных.

В основе нашего исследования – оценка достоверности, факторов и особенностей динамики показателей доступной в интернете информации о загрязнении атмосферного воздуха путём сравнения с официальными результатами мониторинга.

Исследование выполнено на примере диоксида азота для крупных городов и промышленных центров Северо-Запада России, включая Калининград, Псков, Великий Новгород, Санкт-Петербург, Кириши, Пикалево, Петрозаводск. Диоксид азота выбран в качестве примера потому, что это вещество, образующееся при всех высокотемпературных процессах в техносфере и в природе, является одним из наиболее характерных и приоритетных для крупных городов [4]. Также диоксид азота даже при концентрациях ниже действующих предельно допустимых способен оказывать существенное негативное влияние на здоровье [10; 16; 20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования нами выполнено сопоставление показателей концентраций из официальных источников (ежегодника «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2023 г.», докладов о состоянии окружающей среды Санкт-Петербурга, Ленинградской, Калининградской, Псковской и Новгородской областей, Республики Карелия; Экологического портала Санкт-Петербурга – *infoeco.ru*) с общедоступными данными о текущих концентрациях загрязняющих веществ и метеорологических характеристиках. За текущие показатели по данным сайта *Ventusky.com* принимались наибольшие значения в пределах приуроченной к городу зоны повышенных концентраций, независимо от нахождения максимума в пределах городской территории или вне её. Протяжённость ветровых шлейфов повышенных концентраций диоксида азота по

спутниковым данным может достигать до 300–400 км [5]; максимальные значения в рамках выполненного исследования были примерно такие же. Точки максимальных концентраций находились в пределах городских территорий или отстояли от них не более чем на первые десятки километров.

Сайт *Ventusky.com* основывается на модели *SILAM (System for Integrated modeling of Atmospheric composition)* и представляет расчётные концентрации для высотного уровня 10 м над поверхностью земли, с разрешением 8 км. Данные об объёмах эмиссии представляет газоанализатор *OMI*, установленный на спутнике *AURA* (США) и определяющий суммарное содержание примеси по всей атмосфере в ячейках размером 13×24 км по трассам пролёта спутника [13].

Снятие значений с сайта *Ventusky.com* производилось в феврале–апреле 2025 г., дважды по рабочим дням (утренние и вечерние часы «пик») и 1 раз в середине нерабочих дней. Одновременно фиксировались скорости и направления ветра, атмосферное давление и осадки, по данным сайта Расписание погоды (*rp5.ru*). Всего получено и обработано при помощи типовых программных средств *Excel* по 104 значения для каждого города.

Данные наземных наблюдений имеются только по Санкт-Петербургу как среднесуточные значения по постам наблюдения за загрязнением (ПНЗ). В исследовании учтены средние и максимальные по городу среднесуточные значения по всем 25 ПНЗ.

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ РОССИИ

Оценка достоверности доступной в интернете информации выполнена путём сопоставления с данными ПНЗ, включая аспекты:

1. сопоставление средних характеристик загрязнения по городам;
2. сравнительный анализ характера сезонной динамики;
3. сопоставление показателей, полученных при разных условиях (рабочие и не-

рабочие дни, наличие и отсутствие атмосферных осадков);

4. прямое сравнение ежедневных данных для Санкт-Петербурга.

Краткое изложение основных результатов исследования представлено в таблице 1.

Как видно из представленных данных, соотношения концентраций по данным ПНЗ и сайта *Ventusky.com* различны: средние по ПНЗ для Калининграда, Пскова и Пикалево больше, чем по *Ventusky.com*, а для Великого Новгорода, Санкт-Петербурга и Кириши – наоборот. Максимальные значения по *Ventusky.com* больше, чем по ПНЗ только для г. Кириши, причём разница в этом случае незначительна.

Влияние сезонных факторов на концентрацию загрязняющих веществ в общих чертах общеизвестно. Согласно преобладающих оценок, для диоксида азота характерны зимние максимумы концентраций, обусловленные сжиганием топлива в отопительных системах, хотя возможны и иные варианты [1; 8; 14]. Так, А. В. Ахтиманкина и О. А. Лопаткина [3] отметили для Иркутска максимумы достигаются летом, которые объясняются лесными пожарами и фотохимическими реакциями (рис. 1). Как видно, во всех 7 городах тренд концентраций в зимне-весенний период нисходящий.

Наиболее выражен нисходящий тренд в городах с преобладанием промышленных источников выбросов – Кириши и Пикалево, а также Пскове, что может быть объяснено выбросами локальных котельных и индивидуальных печей. Это вполне закономерно, поскольку господствующие в остальных городах выбросы от автотранспорта более устойчивы по сезонам.

Общеизвестно снижение концентраций в нерабочие дни и при выпадении атмосферных осадков. Средние концентрации в рабочие и нерабочие дни и при наличии или отсутствии атмосферных осадков представлены в таблицах 2–3.

Таким образом, по данным ПНЗ, в Санкт-Петербурге снижение концентраций в нерабочие дни составляет 16% для средних и 17% – для максимальных из всех постов. Снижение при выпадении осадков – 21% на уровне средних и отсутствует для максимальных. Вероятно, последнее

Таблица 1 / Table 1

Характерные значения и площади распространения концентраций диоксида азота, мг/м³ / Characteristic values and distribution areas of nitrogen dioxide concentrations, mg/m³

Города	Среднегодовые по ПНЗ	Максимальные по ПНЗ	Средние из максимальных по данным Ventusky	Максимальные по данным Ventusky	Средняя протяжённость зоны значений выше 10 мг/м ³ , км	Средняя площадь зоны значений выше 10 мг/м ³ , км ²
Калининград	0,04	0,31	0,030	0,096	134	2400
Псков	0,048	0,38	0,006	0,033	5	46
Великий Новгород	0,015	0,087	0,018	0,067	67	1070
Санкт-Петербург	0,024	0,54	0,049	0,125	164	5100
Кириши	0,016	0,056	0,022	0,063	66	990
Пикалёво	0,047	0,099	0,014	0,050	31	360
Петрозаводск	<0,04	<0,2	0,005	0,038	4	30

Источники: составлено автором по: Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2023 году». Калининград, 2024. 200 с.; Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Псковской области в 2023 году». Псков, 2024. 170 с.; Обзор «О состоянии и об охране окружающей среды Новгородской области в 2022 г.». В. Новгород, 2023. 434 с.; Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2023 году. СПб., 2024. 221 с.; Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2022 году. СПб., 2023. 219 с.; Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 году. Петрозаводск, 2023. 265 с.; Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025)

Таблица 2 / Table 2

Средние значения концентраций диоксида азота по ПНЗ Санкт-Петербурга в зависимости от условий измерения, мг/м³ / Average values of nitrogen dioxide concentrations according to the monitoring points of St. Petersburg, depending on the measurement conditions, mg/m³

Показатели	Все дни	Рабочие	Нерабочие	Без осадков	С осадками
Средние	0,065	0,064	0,054	0,063	0,05
Максимальные	0,114	0,119	0,099	0,114	0,115

Источники: составлено автором по данным: Погода в России: [сайт]. URL: rp5.ru/ (дата обращения 28.04.2025); Экологический портал Санкт-Петербурга: [сайт]. URL: public.mon.ecopass.adc.spb.ru/air/ concentrate (дата обращения: 28.04.2025)

отражает преобладающее влияние эмиссионного фактора. Для Санкт-Петербурга подобные тенденции выявлялись и ранее [11]. Сопоставление наземных и спутниковых данных позволяет трактовать их как более распространённые, отражающие общие закономерности.

Из представленных данных видно, что снижение концентраций в нерабочие дни и при выпадении атмосферных осадков проявляется во всех городах. При этом снижение в нерабочие дни менее выражено в городах с преобладанием промыш-

ленных источников выбросов, в т. ч. с непрерывным производственным циклом (Великий Новгород, Кириши, Пикалёво). В отношении влияния атмосферных осадков подобной закономерности не отмечается. Вероятно, снижение концентраций становится выраженным не сразу после начала дождя или снегопада, а после выпадения некоторого количества осадков.

Связи концентраций со скоростями ветра обратные, слабые и средней силы (r от -0,394 до -0,701). Связи с атмосферным давлением слабые и очень слабые прямые

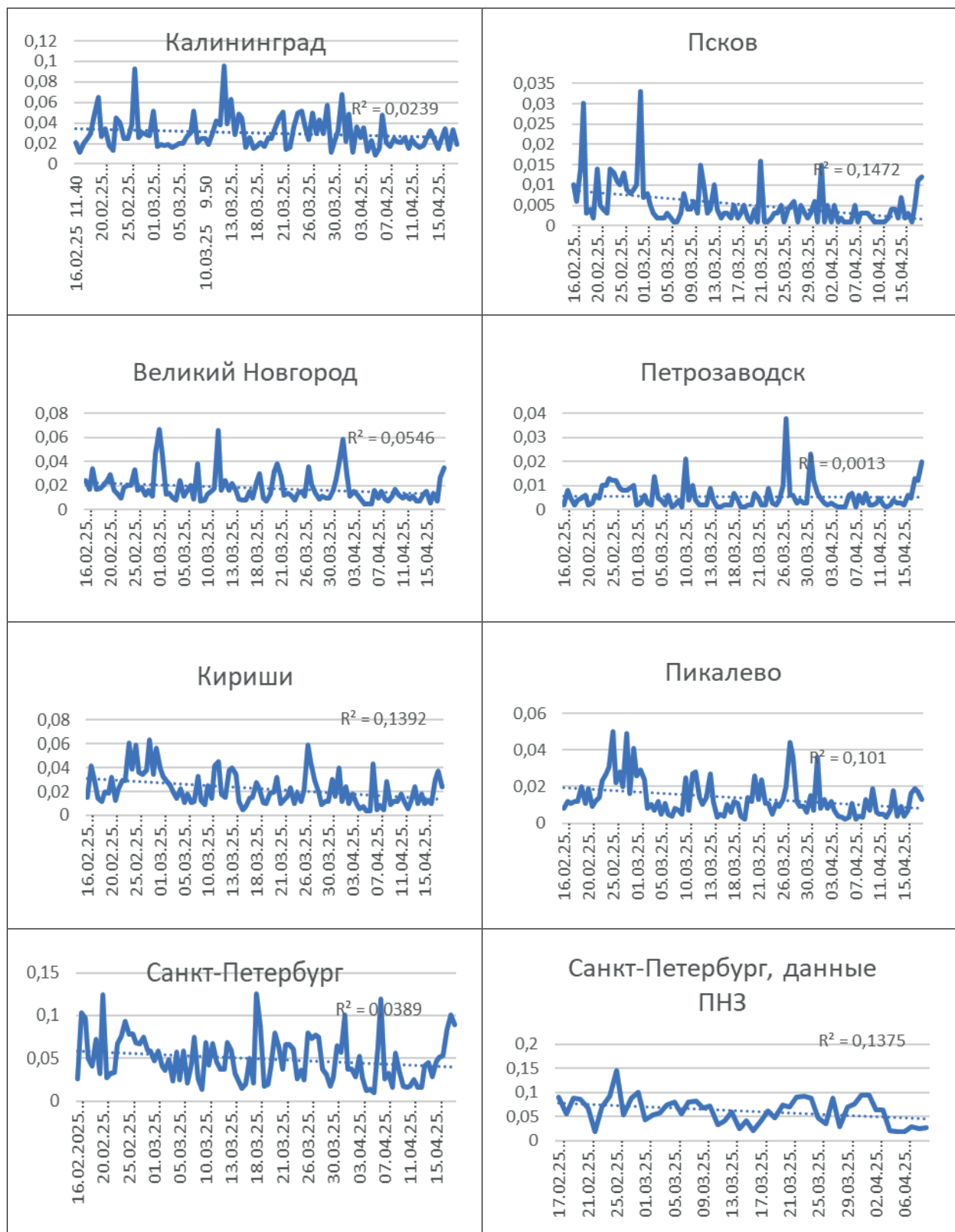


Рис. 1 / Fig. 1. Динамика концентраций диоксида азота (мг/м³) по городам и линии тренда / Dynamics of nitrogen dioxide concentrations (mg/m³) by cities and trend lines

Источник: составлено автором: для Санкт-Петербурга слева указаны данные сайта Ventusky, а справа – данные ПНЗ, для остальных городов – только данные сайта Ventusky.com

Таблица 3 / Table 3

Средние (из максимальных) значения концентраций диоксида азота по данным сайта Ventusky.com в зависимости от условий измерения, мг/м³ / The average (of the maximum) values of nitrogen dioxide concentrations according to the Ventusky website, depending on the measurement conditions, mg/m³

Города	Все дни	Рабочие	Нерабочие	%% снижения	Без осадков	С осадками	%% снижения
Калининград	0,030	0,032	0,020	37,5	0,030	0,028	6,7
Псков	0,006	0,006	0,004	33,3	0,005	0,003	40
Великий Новгород	0,018	0,019	0,016	15,8	0,019	0,015	21,1
Санкт-Петербург	0,049	0,052	0,033	36,5	0,051	0,041	19,7
Кириши	0,022	0,023	0,015	34,8	0,023	0,022	4,4
Пикалево	0,014	0,014	0,01	28,6	0,014	0,012	14,3
Петрозаводск	0,005	0,006	0,003	50	0,006	0,004	33,3

Источники: составлено автором по: Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025); Погода в России: [сайт]. URL: rp5.ru/ (дата обращения 28.04.2025); Экологический портал Санкт-Петербурга: [сайт]. URL: public.mon.ecopass.adc.spb.ru/air/concentrate (дата обращения: 28.04.2025)

(г от 0,108 до 0,284). Интересно отметить, что теснота связей увеличивается с запада на восток, по мере роста континентальности климата и увеличения контрастности метеорологических характеристик.

Прямое сопоставление ежедневных данных ПНЗ и сайта Ventusky.com для Санкт-

Петербурга представлено на рисунке 2.

Итак, тенденции и даты максимумов и минимумов в основном совпадают, в отличие от конкретных минимальных и максимальных значений. Коэффициент корреляции составляют 0,465 для средних из всех ПНЗ и 0,312 – для максимальных.

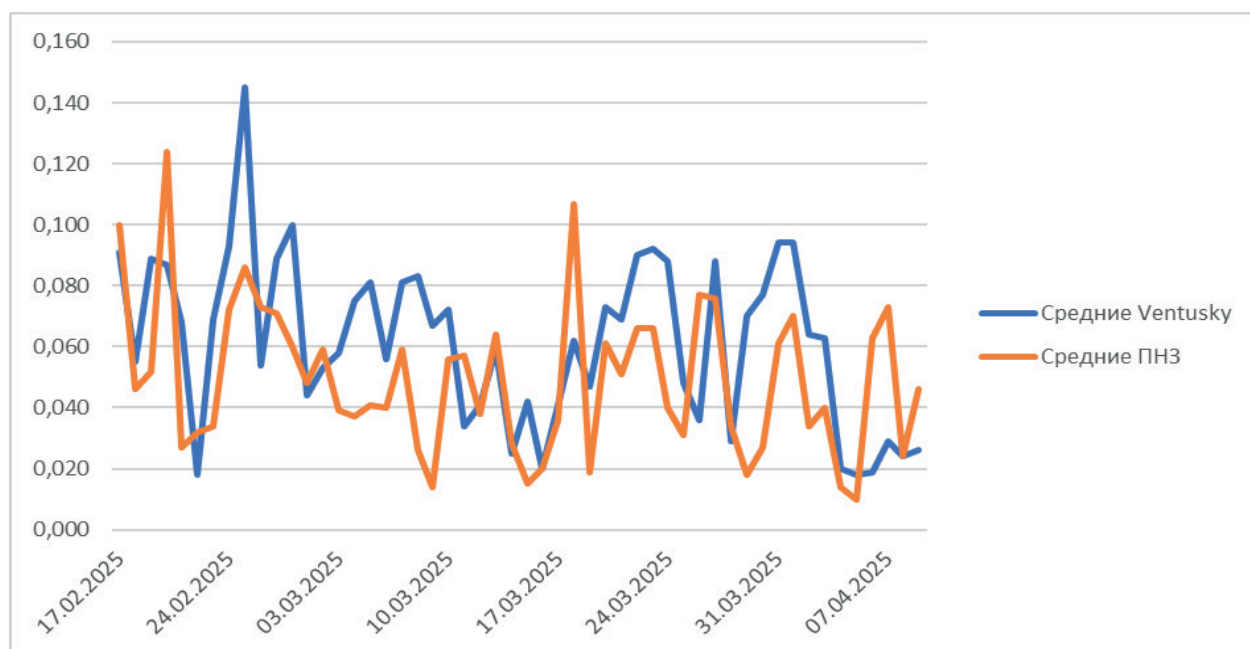


Рис. 2 / Fig. 2. Динамика средних значений концентраций диоксида азота (мг/м³) по данным сайта Ventusky и ПНЗ в Санкт-Петербурге / Dynamics of average nitrogen dioxide concentrations (mg/m³) according to the website Ventusky and monitoring points in St. Petersburg.

Источник: составлено по данным: Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение показателей загрязнения воздуха по данным стационарных постов наблюдения и доступной в интернете (*Ventusky.com*) информации в целом сопоставимо и подчиняются одним и тем же закономерностям, что может рассматриваться как свидетельство достоверности упомянутого интернет-источника. В то же время доступные в интернете данные могут рассматриваться как важное дополнение к результатам наземных наблюдений, но не как равнозначная альтернатива им.

Во всех изученных городах в зимне-весенний период имела место тенденция к снижению концентраций, причём нисходящий тренд был более выражен в городах с преобладанием промышленных источников выбросов (Кириши и Пикалево, а также Пскове), что может быть объяснено значительной долей выбросов локальных котельных и индивидуальных печей. Средние концентрации по данным ПНЗ и сайта *Ventusky.com* в целом сопоставимы и различаются как в одну, так и в другую сторону, тогда как максимальные по данным *Ventusky.com*, как правило, ниже. Концентрации в нерабочие дни на 15–50% меньше, чем в рабочие (в городах с преобладанием промышленных выбросов это выражено в меньшей степени), а в дни с осадками – на 4,4–33,3% меньше, чем в дни без осадков.

Корреляционные связи между концентрациями диоксида азота по данным наземными измерениями на ПНЗ и представленными на сайте *Ventusky.com* результатами расчётов по модели *SILAM*, с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий, характеризуются как слабые. Даты максимумов и минимумов по данным сравниваемых источников в основном совпадают, в отличие от их конкретных значений. Поэтому, несмотря на хорошую сходимость тенденций, корреляция между значениями слабая. Определённую роль в этом играет и то, что наблюдения на ПНЗ характеризуют высотный уровень от 1,5 до 3,5 м, а расчётные характеристики *Ventusky.com* – 10 м от поверхности земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л. М., Акимов Е. Л. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж // Региональные геосистемы. 2021. № 45. С. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557.
2. Амикишиева Р. А., Рапута В. Ф., Соловьёва И. А. Наземный и спутниковый мониторинг процессов загрязнения Искитимо-Линевской промышленной зоны // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 1 С. 60–65. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-4-1-60-65
3. Ахтиманкина А. В., Лопаткина О. А. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 9. С. 2–15.
4. Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. СПб.: Гидрометеиздат, 2008. 200 с.
5. Еланский Н. Ф. Примеси в атмосфере континентальной России // Природа. 2002. № 2. С. 32–43.
6. Зуев Д. В., Кашкин В. Б., Симонов К. В. Использование спутниковых методов мониторинга для оценки экологического состояния северных территорий Красноярского края // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 86–92.
7. Кудашев Е. Б., Мясников В. П., Сюнтюренко О. В. Конвергенция новейших информационных технологий и методов дистанционного зондирования Земли для построения экологического мониторинга мегаполисов // Вестник РФФИ. 2001. № 2. С. 37–43.
8. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
9. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2004 г. / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2008. 472 с.
10. Раkitин В. С., Еланский Н. Ф., Панкратова Н. В., и др. Использование спутниковых данных о составе атмосферы в фоновых и загрязнённых условиях / Турбулентность, динамика атмосферы и климата: мат-лы конф. М., 2018. С. 160. DOI: 10.13140/RG.2.2.30690.07362

11. Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. № 85: Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: ВОЗ, 2001. 293 с.
12. Родионова Н. В. Оптические характеристики аэрозоля и содержание угарного газа в атмосфере над районами Иркутской области и Бурятии в 2010–2021 гг. // Исследование Земли из космоса. 2023. № 2. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0205961423020033
13. Трони А. А., Крицук С. Г., Киселёв А. В. Многолетние тренды содержания диоксида азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-259-265
14. Тронин А. А., Крицук С. Г., Латыпов И. Ш. Диоксид азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 2. № 6. С. 217–223.
15. Фатеева Ю. Г., Легович Ю. С., Ефремов А. Ю. Методы прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха на основе исторических данных / Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020: мат-лы конф. Под ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. М., 2020. С. 1753–1760. DOI: 10.25728/mlsd.2020.1753
16. Чичерин С. С. О критериях качества атмосферного воздуха и их применении в целях его мониторинга и охраны // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, 2024. Вып. 612. С. 6–36.
17. Kuhlmann G., Henne S., Meijer Y., Brunner D. Quantifying CO₂ Emissions of Power Plants With CO₂ and NO₂ Imaging Satellites // *Frontiers in Remote Sensing*. 2021. Iss. 2. P. 689838. DOI: 10.3389/frsen.2021.689838
18. Ponomarev N., Yushkov V., Elansky N. Air Pollution in Moscow Megacity: Data Fusion of the Chemical Transport Model and Observational Network // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. P. 374–393. DOI: 10.3390/atmos12030374
19. Popp T., Hegglin M., Hallmann R., et al. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2020. Iss. 101. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0127.1
20. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Bonn, 2021. 290 p.

REFERENCES

1. Akimov L. M., Akimov E. L. Seasonal dynamics and spatial distributions of concentrations of anthropogenic pollutants in the atmosphere in Voronezh. In: *Regionalnyye geosistemy* [Regional Geosystems], 2021, no. 45, pp. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557.
2. Amikisheva R. A., Raputa V. F., Solovyova I. A. [Solar and satellite monitoring of pollution processes in the Iskitim-Linevskaya industrial zone]. In: *Inter Ekspo Geo-Sibir* [Inter Expo Geo-Siberia], 2021, vol. 4, no. 1, pp. 60–65. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-4-1-60-65
3. Akhtimankina A. V., Lopatkina O. A. Study of the dynamics of pollutant concentrations in the atmospheric air in Irkutsk. In: *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences], 2014, vol. 9, pp. 2–15.
4. Bezuglaya E. Yu., Smirnova I. V. *Gorodskoy vozdukh i yego izmeneniya* [Urban air and its changes]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2008. 200 p.
5. Elansky N. F. [Impurities in the atmosphere of continental Russia]. In: *The Nature* [Priroda], 2002, no. 2, pp. 32–43.
6. Zuev D. V., Kashkin V. B., Simonov K. V. [Using satellite methods to assess the environmental state of the northern territories of Krasnoyarsk Krai]. In: *Dostizheniya sovremennoy yestestvennoy nauki* [Advances in Modern Natural Science], 2018, no.2, pp. 86–92.
7. Kudashev E. B., Myasnikov V. P., Syuntyurenko O. V. [Convergence of the latest information technologies and methods of remote sensing of the Earth for constructing environmental Diptychs of megacities]. In: *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamentalnykh issledovaniy* [Bulletin of the Russian Foundation for Basic Research], 2001, no. 2, pp. 37–43.
8. Lupyan E. A., Proshin A.A., Burtsev M. A., et al. [The Vega-Science system: design features, main capabilities, and experience of use]. In: *Sovremennyye problemy rentgenovskogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of X-ray sounding of the Earth from space], 2021, vol. 18, no. 6, pp. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
9. Golubev D. A., Sorokin N. D., eds. *Okhrana okruzhayushchey sredy, prirodopol'zovaniye i bezopasnost v Sankt-Peterburge v 2004 godu* [Environmental Protection, Nature Management, and Safety in St. Petersburg in 2004]. St. Petersburg: Sezam-Print Publ., 2008. 472 p.

10. Rakitin V. S., Elansky N. F., Pankratova N. V., et al. [Use of Satellite Data on Atmospheric Composition in Background and Polluted Conditions]. In: *Turbulentnost, atmosfernaya i klimaticheskaya dinamika* [Turbulence, Atmospheric and Climate Dynamics]. Moscow, 2018, p. 160. DOI: 10.13140/RG.2.2.30690.07362.
11. *Regionalnyye publikatsii VOZ. Yevropeyskaya seriya. № 85: Monitoring kachestva vozdukhа dlya otsenki vozdeystviya na zdorovye* [WHO Regional Publications. European Series. No. 85: Monitoring Air Quality for Health Impact Assessment]. Copenhagen: WHO, 2001. 293 p.
12. Rodionova N. V. [Optical characteristics of aerosol and carbon monoxide content in the atmosphere over the areas of the Irkutsk region and Buryatia in 2010–2021]. In: *Issledovaniya Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], 2023, no. 2, pp. 3–15. DOI: 10.31857/S0205961423020033
13. Troni A. A., Kritsuk S. G., Kiselev A. V. [Long-term trends in nitrogen dioxide content in the air basin of Russia based on satellite data]. In: *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, vol. 16, no. 2, pp. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-259-265
14. Tronin A. A., Kritsuk S. G., Latypov I. Sh. [Nitrogen dioxide in the air basin of Russia based on satellite data]. In: *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2009, vol. 2, no. 6, pp. 217–223.
15. Fateeva Yu. G., Legovich Yu. S., Efremov A. Yu. Methods for forecasting atmospheric air pollution based on historical data. In: Vasiliev S. N., Tsvirkun A. D., eds. *Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem MLSД'2020* [Management of the development of large-scale systems MLSД'2020]. Moscow, 2020, pp. 1753–1760. DOI: 10.25728/mlsd.2020.1753
16. Chicherin S. S. [On the criteria for atmospheric air quality and their application for its monitoring and protection]. In: *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii imeni A. I. Voyeykova* [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov], 2024, iss. 612, pp. 6–36.
17. Kuhlmann G., Henne S., Meijer Y., Brunner D. Quantifying CO₂ Emissions of Power Plants With CO₂ and NO₂ Imaging Satellites. In: *Frontiers in Remote Sensing*, 2021, iss. 2, p. 689838. DOI: 10.3389/frsen.2021.689838
18. Ponomarev N., Yushkov V., Elansky N. Air Pollution in Moscow Megacity: Data Fusion of the Chemical Transport Model and Observational Network. In: *Atmosphere*, 2021, vol. 12, pp. 374–393. DOI: 10.3390/atmos12030374
19. Popp T., Hegglin M., Hallmann R., et al. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2020, iss. 101. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0127.1
20. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Bonn, 2021. 290 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Стурман Владимир Ицхакович (г. Санкт-Петербург) – доктор географических наук, профессор кафедры экологической безопасности телекоммуникаций факультета социальных технологий и экономики данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича;
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir I. Sturman (St. Petersburg) – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Environmental Safety, Faculty of Social Technologies and Data Economics, Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications;
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997

Original research article

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-92-105

ESTIMATION OF BASAL AREA IN COPPICE OAK FORESTS USING GEOSTATISTICAL KRIGING

© CC BY L. Ghahramany¹, M. Pir Bavaghar²

¹ University of Kurdistan,

Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros
Sanandaj, Iran

e-mail: l.ghahramany@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-3721-8084

² University of Kurdistan,

Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros
Sanandaj, Iran

e-mail: m.bavaghar@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-4649-6705

Received 27.04.2025

Revised 03.06.2025

Accepted 29.08.2025

Abstract

Aim. This study evaluates the application of Ordinary Kriging, a geostatistical interpolation method, for estimating basal area index in coppice oak forests of the northern Zagros region, Iran.

Methodology. The research was conducted in a 6,103-hectare coppice oak forest in northern Zagros, Iran, dominated by *Quercusbrantii* alongside other oak species (*Q. infectoria* and *Q. libani*). A systematic-random sampling grid was employed to establish 136 sample plots (0.1 ha each), where diameter at breast height (DBH) was measured for all trees (DBH \geq 5 cm) to calculate basal area. Exploratory data analysis was conducted to assess data normality and spatial trends, while variogram analysis was performed to determine the spatial correlation structure. Ordinary Kriging was then applied to predict basal area across the study area, with prediction accuracy evaluated through leave-one-out cross-validation using statistical metrics including mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and their relative values.

Results. The forest exhibited relatively low basal area (14.53 m²/ha) despite high stem density (350 stems/ha), indicating the dominance of young trees and coppice regeneration. Variogram analysis revealed strong spatial dependence (spatial dependence degree = 99.8%), with an exponential model providing the best fit to the data ($r^2 = 0.676$). Ordinary Kriging yielded accurate spatial predictions (MAE = 1.25 m²/ha, RMSE = 3.26 m²/ha), demonstrating its effectiveness for basal area estimation in coppice oak forests.

Research implications. These findings demonstrate that geostatistical methods such as Ordinary Kriging provide a precise and cost-effective alternative to traditional forest inventories, enhancing sustainable forest management practices. The observed strong spatial dependence of basal area confirms its suitability as a regionalized variable, facilitating the development of optimized sampling strategies for future forest assessments. This geostatistical approach has significant potential to improve forest resource assessment, carbon stock estimation, and conservation planning in ecologically important ecosystems such as the Zagros oak forests.

Keywords: Basal area estimation, Coppice forests, Geostatistics, Ordinary Kriging, Spatial interpolation, Zagros Mountains, *Quercusbrantii*

For citation:

Ghahramany L., PirBavaghar M. Estimation of basal area in coppice oak forests using geostatistical kriging. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 92–105. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-92-105

Научная статья
УДК 630*5

ОЦЕНКА БАЗАЛЬНОЙ ПЛОЩАДИ ДРЕВОСТОЯ В ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБЫКНОВЕННОГО КРИГИНГА

© СС ВУ Гахрамани Л.¹, Пир Бавагар М.²

¹ Университет Курдистана, Научно-исследовательский центр по изучению и развитию лесного хозяйства Северного Загроса имени доктора Хедаята Газанфари
г. Санандадж, Иран

e-mail: l.gahramany@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-3721-8084

² Университет Курдистана, Научно-исследовательский центр по изучению и развитию лесного хозяйства Северного Загроса имени доктора Хедаята Газанфари
г. Санандадж, Иран

e-mail: m.bavaghar@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-4649-6705

Поступила в редакцию 27.04.2025

После доработки 03.06.2025

Принята к публикации 29.08.2025

Аннотация

Цель. В данном исследовании оценивается применение обыкновенного кригинга, геостатистического метода интерполяции, для оценки индекса базальной площади древостоя в порослевых дубовых лесах северного региона Загрос, Иран.

Процедура и методы. Исследование проводилось в порослевом дубовом лесу в северном Загросе, Иран, с доминированием *Quercus brantii* наряду с другими видами дуба (*Q. infectoria* и *Q. libani*). Лес занимает площадь около 6103 га, расположен на высоте от 1280 до 2040 м и уклоны варьируются от 0 до 137%. Для закладки 136 пробных площадей (по 0,1 га каждая) применялась систематически-случайная сетка выборки размером 520×520 м. На каждом участке с помощью штангенциркуля измеряли диаметр на высоте груди (ДВН) всех деревьев с ДВН 5 см и более и рассчитывали прикорневую площадь на гектар для каждого участка на основе собранных данных с целью расчёта базальной площади. Был проведён предварительный анализ данных с целью оценки нормальности данных о базовой площади, выявления отклонений и анализа тенденций, связанных с направлением склона. Вариограммный анализ выполнялся для определения структуры пространственной корреляции. Затем применялся обыкновенный кригинг для прогнозирования базальной площади по всей исследуемой территории, при этом точность прогноза оценивалась посредством перекрёстной проверки с исключением по одному с использованием статистических метрик, включая среднюю абсолютную ошибку (MAE), среднеквадратичную ошибку (RMSE) и их относительные значения.

Результаты. Лес демонстрировал относительно низкую базальную площадь (14,53 м²/га) несмотря на высокую плотность стволов (350 стволов/га), что указывает на доминирование молодых деревьев и порослевого возобновления. Анализ тенденций данных о базальной площади, связанных с направлением склона, выявил слабые тенденции вдоль осей север-юг и восток-запад, но включение этих тенденций в кригинговую интерполяцию не повысило точность, поэтому они были исключены из карт прогнозирования и оценки ошибок для индекса базальной площади. Вариограммный анализ выявил сильную пространственную зависимость (степень зависимости 99,8%), что позволяет классифицировать индекс базальной площади как регионализированную переменную и подтверждает использование геостатистических методов для эффективного моделирования и прогнозирования. При этом экспоненциальная модель обеспечивала наилучшее соответствие данным ($r^2 = 0,676$). Диапазон влияния индекса базальной площади составляет 1554 м – максимальное расстояние, на котором сохраняется пространственная зависимость между данными, что делает этот диапазон решающим для определения размеров сети выборки. Валидация обычного кригинга для прогнозирования базальной площади продемонстрировала его высокую эффективность: MAE = 1,25 м²/га, MAE_r = 8,61%, RMSE = 3,26 м²/га и RMSE_r = 22,4%, что позволяет использовать его для создания карт прогнозирования и стандарт-

ных ошибок прогнозирования для базальной площади в порослевых дубовых лесах. **Теоретическая и/или практическая значимость.** Полученные результаты демонстрируют, что геостатистические методы, такие как обыкновенный кригинг, обеспечивают точную и экономически эффективную альтернативу традиционным лесным инвентаризациям, тем самым способствуя развитию устойчивых практик лесопользования. Наблюдаемая сильная пространственная зависимость базальной площади подтверждает её пригодность в качестве регионализованной переменной, способствуя разработке оптимизированных стратегий выборочного обследования для будущих лесных оценок. Данный геостатистический подход обладает значительным потенциалом для улучшения оценки лесных ресурсов, определения запасов углерода и планирования природоохранных мероприятий в экологически важных экосистемах, таких как дубовые леса Загроса.

Ключевые слова: анализ семивариограмм, дуб, пространственная изменчивость, оценка структуры леса, горы Загрос, *Quercus brantii*

Для цитирования:

Гахрамани Л., Пир Бавагар М. Оценка базальной площади древостоя в порослевых дубравах с применением геостатистического метода обыкновенного кригинга // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 92–105. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-92-105

INTRODUCTION

Basal area is a fundamental forestry metric that quantifies the cross-sectional area of a tree trunk at breast height, typically measured at 1.3 m above ground level. Expressed in square meters per hectare (m²/ha), it represents the cumulative area occupied by tree stems within a forest stand, indicating stand density and structural complexity [41; 45].

This measure is instrumental in assessing stand density, forest structure, and biomass, informing sustainable forest management and ecological research. Changes in basal area over time can indicate growth trends, competition levels, and the effects of silvicultural treatments. Additionally, basal area measurements are integral to allometric equations that estimate tree biomass and carbon stocks, facilitating assessments of carbon sequestration and informing climate change mitigation strategies [1; 8; 13; 28; 31; 35].

Traditional forest inventory methods involve ground-based data collection techniques such as fixed-radius plots, variable-radius plots, and transects. While these approaches provide detailed information, they are labour-intensive, time-consuming, and may not adequately capture spatial variability across large or inaccessible areas. Additionally, the reliance on limited sample plots can lead to sampling errors and may not reflect the heterogeneity of complex forest stands [33; 38; 45; 52].

To overcome the limitations of traditional inventory methods — namely, their time-consuming nature and high costs — advanced techniques such as geostatistics are increasingly employed to model spatial patterns of forest attributes, enabling the prediction of variables at unsampled locations through spatial data analysis. Among these techniques, kriging has emerged as a particularly effective tool for forest inventory and monitoring, offering unbiased estimates with minimal variance and quantifiable uncertainty by leveraging spatial autocorrelation — the principle that nearby observations are more similar than those farther apart. This enhances the accuracy of forest attribute estimations, including biomass, basal area, and volume, especially in heterogeneous or uneven-aged stands. Furthermore, kriging's adaptability allows for the integration of auxiliary data sources, such as LiDAR and satellite imagery, thereby refining forest parameter assessments. Its proven effectiveness across various forest types and terrains makes it invaluable for comprehensive forest resource evaluations. By generating continuous surface maps and quantifying estimation errors, kriging supports more nuanced assessments of forest resources, ultimately facilitating sustainable management practices and advancing ecological research [17; 21; 22; 37; 39; 40; 48].

Geostatistical methods, particularly kriging and its variants, have been widely applied

to improve forest attribute estimation across diverse ecosystems. In Spain, universal kriging outperformed the area-based approach in predicting structural parameters such as stem density and basal area in Scots pine stands, especially under conditions of spatial autocorrelation [7]. In northern China, regression kriging using Landsat 9 imagery significantly reduced estimation errors for above-ground biomass (AGB) in coniferous forests [27], while a hybrid random forest/co-kriging model showed high reliability in subtropical regions with complex terrain [47]. Similarly, geographically weighted regression kriging improved AGB predictions in heterogeneous Amazonian forests by accounting for spatial variation [9]. In temperate North America, both kriging and co-kriging methods effectively modeled basal area in lodgepole pine forests using field and NDVI data, with co-kriging yielding higher efficiency due to auxiliary variables [10]. However, in highly fragmented Amazonian landscapes, kriging alone struggled to capture biomass extremes, underscoring the importance of additional data integration [43]. At broader scales, the combination of field, LiDAR, and satellite data within geostatistical frameworks enabled accurate national-scale AGB mapping in Mexico [49]. Collectively, these studies highlight the versatility and effectiveness of kriging-based approaches in enhancing the precision and spatial resolution of forest resource assessments when combined with remote sensing and ancillary data. Kriging methods have been successfully applied across Iranian forests for estimating tree density, stand volume, productivity, and health indicators. Studies show Co-kriging outperforms Simple Kriging for tree density estimation [16], while Ordinary Kriging provides more accurate site productivity assessments than IDW [2]. Kriging excels in mapping stand volume [23] and diameter growth, though IDW may be preferable for volume increment.

In Zagros forests, Co-kriging effectively assessed oak dieback intensity using auxiliary variables [29], while in Caspian forests, Kriging's accuracy varied with spatial autocorrelation—strong for stem density but weaker for basal area and volume [3]. Long-term monitoring in Mazandaran revealed Kriging's utility in tracking biodiversity changes [23]. Over-

all, Kriging is a powerful tool for forest management but requires consideration of spatial structure for optimal accuracy [16; 24; 29].

Geostatistical methods, particularly Kriging, have been effectively utilized in various forest management applications across Iran, demonstrating their efficiency in estimating forest attributes such as tree density, stand volume, and site productivity. However, their application in the coppice oak forests of western Iran remains limited. A significant challenge in applying geostatistical techniques to these forests is the clumped spatial distribution of trees, a characteristic resulting from traditional silvopastoral management practices. This clustering complicates the modeling of spatial autocorrelation, which is fundamental to the success of geostatistical analyses.

Spanning approximately 5.5 million hectares in western Iran, the Zagros oak forests constitute one of the nation's most ecologically and economically significant ecosystems [25; 42]. Dominated by *Quercusbrantii* Lindl.—a foundational and keystone species—these woodlands support a complex forest structure and host a diverse assemblage of ecologically important companion species, including *Quercusinfectoria*, *Quercuslibani*, *Pistaciaatlantica* Desf., and various species of *Pyrus*, *Amygdalus*, and *Crataegus* [29; 42].

Beyond their ecological significance, the Zagros forests provide considerable economic value to local communities through the supply of diverse non-timber forest products (NTFPs). Medicinal plants, fodder, and edible fruits collected from these woodlands contribute substantially to rural livelihoods [25]. Additional income is generated through ecotourism and traditional practices such as pollarding—locally known as Galazani, the systematic collection of tree foliage for fodder, which further strengthens local economies. Nevertheless, unsustainable harvesting methods continue to threaten the long-term health and sustainability of these forest ecosystems [29].

The ecological services rendered by the Zagros forests are equally vital. Functioning as a major regional carbon sink, these woodlands play a key role in climate change mitigation through substantial carbon sequestration [36]. Their dense vegetation cover also significantly reduces soil erosion relative to adjacent non-forested areas, thereby preserving watershed

integrity and minimizing sedimentation in critical water resources [25]. Furthermore, the forests support rich belowground biodiversity, particularly diverse communities of arbuscularmycorrhizal fungi (AMF), including *Glomus* and *Acaulospora* species. These symbiotic fungi enhance soil fertility by improving nutrient cycling, while also boosting the drought tolerance and overall resilience of the dominant oak species [26].

This research aims to evaluate the use of Ordinary Kriging, a geostatistical approach, for estimating the basal area index in coppice oak forests of northern Zagros, Iran, offering a precise method to enhance sustainable management of these ecologically vital ecosystems.

The main research question is: To what extent can Ordinary Kriging accurately estimate the basal area in coppice oak forests of the northern Zagros region?

The findings of this study can significantly enhance the evaluation of forest resources, improve the accuracy of carbon stock assessments, and inform conservation planning efforts, particularly in ecologically sensitive regions such as the Zagros oak forests.

MATERIAL AND METHODS

Study Area

The studied forest, covering approximately 6,103 hectares in the northern Zagros region of western Iran, is located between 45°46'45"E to 45°54'05"E and 35°48'34"N to 35°53'30"N, with elevations ranging from 1,280 to 2,040 m and slopes varying from 0 to 137% (Figure 1). The region receives an average annual rainfall of 647 mm and has an average temperature of 11.4 °C (Kurdistan Meteorological Bureau, 2024). The forest is predominantly coppice (sprout-origin) due to traditional silvopastoral practices, including livestock grazing, pollarding, charcoal production, and the harvesting of non-timber forest products.

Data collection and analysis

A total of 136 circular sample plots, each measuring 0.1 hectares, were established using a systematic-random grid with dimensions of 520×520 m. In this study, the minimum measurable diameter at breast height (DBH, 1.3 m) was set at 5 cm, and trees with a diameter

≥5 cm were included in the calculation of stand basal area. This threshold aligns with the traditional pollarding management practice, in which oak trees are harvested once they reach a 5 cm diameter. Trees with diameters less than 5 cm are considered natural regeneration.

Within each plot, the diameter at breast height (DBH) of all trees with a DBH of 5 cm or greater was measured using a caliper, and the basal area per hectare was calculated for each plot based on the collected data using Equation (1).

$$g_{1.30} = \frac{\pi}{4} \times d_{1.30}^2 \text{ (Equation 1)}$$

Where $g_{1.30}$ is the basal area of an individual tree in the plot (cm²) and $d_{1.30}$ is its diameter at breast height (DBH) in centimeters.

After calculating the basal area (BA) of individual trees with DBH ≥5 cm within each sample plot, the sum of these values yielded the total BA per plot. The plot-level BA was then converted to a per-hectare basis using Equation 2:

$$BA(m^2/ha) = (\sum BA_{perplot}) \times 10 \text{ (Equation 2)}$$

In Equation 2, the conversion factor of 10 reflects the fact that each sample plot covers 1,000 m². The resulting basal area per hectare values for all sample plots were then used to compute the statistical indices of this parameter.

Exploratory data analysis was conducted using to assess the normality of basal area data, identify outliers, and analyze trends related to slope direction. The spatial structure of the basal area index was analyzed by constructing and plotting semi-variograms using GS+ software, with variogram parameters determined to assess spatial patterns. Additionally, the isotropy or anisotropy (directional variability) of the basal area index was evaluated by generating and analyzing surface variograms. The degree of spatial dependence (DSD) was calculated using equation 3:

$$DSD = \left(\frac{Sill - Nugget\ effect}{Sill} \right) \times 100 \text{ (Equation 3)}$$

where: Sill represents the total variance of the data and nugget effect is the variance at zero distance.

The spatial dependence degree (SDD) was categorized based on the thresholds proposed by [14; 18]: Weak structure: $SDD < 25\%$; Average structure: $25\% \leq SDD \leq 75\%$; Strong structure: $SDD > 75\%$.

Ordinary Kriging interpolation was used to generate prediction and prediction standard error maps for the basal area index, based on data from 136 georeferenced sample plots. The accuracy of Ordinary Kriging estimates was evaluated through cross-validation using statistical metrics such as Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), relative MAE (MAEr), and relative RMSE (RMSEr), calculated with Equations (4) to (7) [15].

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z(X_i) - \hat{z}(X_i)| \quad (\text{Equation 4})$$

$$MAEr = \frac{MAE}{\bar{z}(X_i)} \times 100 \quad (\text{Equation 5})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(X_i) - \hat{z}(X_i)]^2} \quad (\text{Equation 6})$$

$$RMSEr = \frac{RMSE}{\bar{z}(X_i)} \times 100 \quad (\text{Equation 7})$$

where: N is the number of sample plots, $\hat{z}(X_i)$ is the predicted basal area, and $Z(X_i)$ refers to the observed basal area.

Software Tools

Descriptive statistics and data normality tests were performed in R. Spatial trend analysis of density indices was carried out in ArcGIS 10.8. GS+ 5 was used to generate semi-variograms and analyze the spatial structure of stand density. Geostatistical analyses – including trend assessment and Ordinary Kriging interpolation – were executed in ArcGIS 10.8 via the Geostatistical Analyst extension's Geostatistical Wizard. Finally, to evaluate model accuracy, we applied leave-one-out cross-validation in ArcGIS 10.8, comparing the predicted values for each of the 136 sample plots against the corresponding field-measured values and calculating error statistics (MAE, MAEr, RMSE, and RMSEr). In this method, each sample is used once as a test case, while the remaining samples constitute the training set for model generation.

RESULTS AND DISCUSSION

Data analysis from sample plots indicates that the mean basal area is 14.53 m² per hectare. Despite a relatively high tree density of 350 stems per hectare, the low basal area suggests a predominance of young trees and root/stem sprouts with small diameters in the structural composition of the studied forest (Table 2). These findings are consistent with previous research conducted in the same region, which reported similar stand structures characterized by high stem density and low basal area due to the abundance of juvenile trees and root sprouts [19].

A trend analysis of basal area data related to slope direction revealed weak trends along the north-south and east-west axes (Figure 2), but incorporating these trends into Kriging interpolation did not enhance accuracy, so they were excluded from the prediction and error estimation maps for the basal area index.

The variogram analysis for basal area, as presented in Table 1, indicated that the exponential model provided the best fit, supported by a coefficient of determination ($r^2 = 0.676$) and a low residual sum of squares (RSS = 0.0129), explaining approximately 68% of the variability in basal area. The moderate RI value suggests that while the model captures a significant portion of the spatial variability, there remains unexplained variance, possibly due to factors not accounted for in the model or inherent randomness in the system. The choice of the exponential model is particularly appropriate when the spatial autocorrelation decreases gradually with distance, a common scenario in forest stands where environmental factors and biological interactions influence tree growth over space. In summary, the application of the exponential variogram model in this context is supported by both the statistical metrics obtained and corroborating studies in similar forest settings, reinforcing its validity for analyzing spatial patterns in basal area. This outcome aligns with findings from other studies that have employed exponential variogram models to characterize spatial variability in forest attributes [32; 46].

The basal area displayed isotropic behavior, as indicated by an anisotropy ratio of less than 2 (Table 1) and confirmed by the symmetrical surface variogram in Figure 3, lead-

ing to the use of an omnidirectional variogram for geostatistical modeling of the basal area index (Figure 4).

The basal area index shows a spatial dependence degree (SDD) of 99.8%, indicating very strong spatial dependence and classifying it as a regionalized variable, which validates the use of geostatistical methods for effective modeling and prediction [6; 18].

The range of influence for the basal area index was determined to be 1,413 m, indicating the maximum spatial extent over which significant spatial dependence exists among observations. Beyond this threshold, spatial autocorrelation diminishes and the basal area values become effectively independent. In geostatistics, the range parameter derived from the variogram is a critical measure, as it defines the distance beyond which spatial correlation between sampling points becomes negligible. This metric plays a fundamental role in the design of an efficient sampling network by guiding the optimal spacing between sample plots to accurately capture spatial variability [5; 12; 20].

The nugget effect for the basal area was found to be very small (0.001), indicating that only a minimal portion of the total variance is attributable to unexplained factors such as measurement error or microscale variability. This low nugget value reflects high spatial continuity and suggests that the exponential variogram model effectively captures the underlying spatial structure of the data.

According to Webster and Oliver [50], a negligible nugget effect implies that the majority of spatial variation is accounted for by

the structured component of the variogram, thereby enhancing the precision and reliability of spatial predictions. Similarly, Goovaerts [20] highlights that a small nugget effect is indicative of strong spatial autocorrelation, demonstrating that the spatial variability is well-organized and predictable – an essential attribute for robust spatial interpolation and modeling.

The sill value of 0.4, determined through variogram analysis (Table 1), indicates the level at which the semivariance reaches stability, signifying the distance beyond which spatial dependence among observations becomes negligible. In geostatistics, the sill represents the total variance of the variable when spatial autocorrelation ceases, thereby quantifying the overall variability in the absence of spatial structure. The observed sill value of 0.4 for the basal area index suggests a moderate level of total variance, beyond which spatial correlation is minimal and data points can be considered spatially independent. This information is vital for guiding the design of sampling networks and for improving the understanding of the spatial structure of basal area in the study region.

A higher sill value reflects greater variability within the dataset, whereas a lower sill indicates greater homogeneity. As a key parameter in variogram modeling, the sill defines the plateau reached by the semivariogram and serves as a measure of the spatial range of correlation. Precise estimation of the sill is crucial for effective spatial interpolation and modeling, as it delineates the extent to which spatial dependence influences the variable of interest [34; 44].

Table 1 / Таблица 1

Result of variogram analysis for basal area / Результат анализа вариограммы для базальной области

Fitted model	(Co)	(C)	Co + C	A0 (m)	SDD(%)	Ar	r ²	RSS
Exponential	0.001	0.400	0.401	1,413	99.8	1.6	0.676	0.0129
Spherical	0.279	0.280	0.559	9,110	50.1	1.6	0.289	0.271
Gaussian	0.323	0.486	0.809	12,464	60.1	1.6	0.179	0.0312

Symbols:

Co – nugget effect;

C – Structural variance;

Co + C – sill;

A0 – range of spatial dependence;

SDD – Spatial dependence degree according to Ganawa et al. (2003);

Ar – Anisotropy ratio;

r² – coefficient of determination;

RSS – residual sum of squares

Source: compiled by the authors

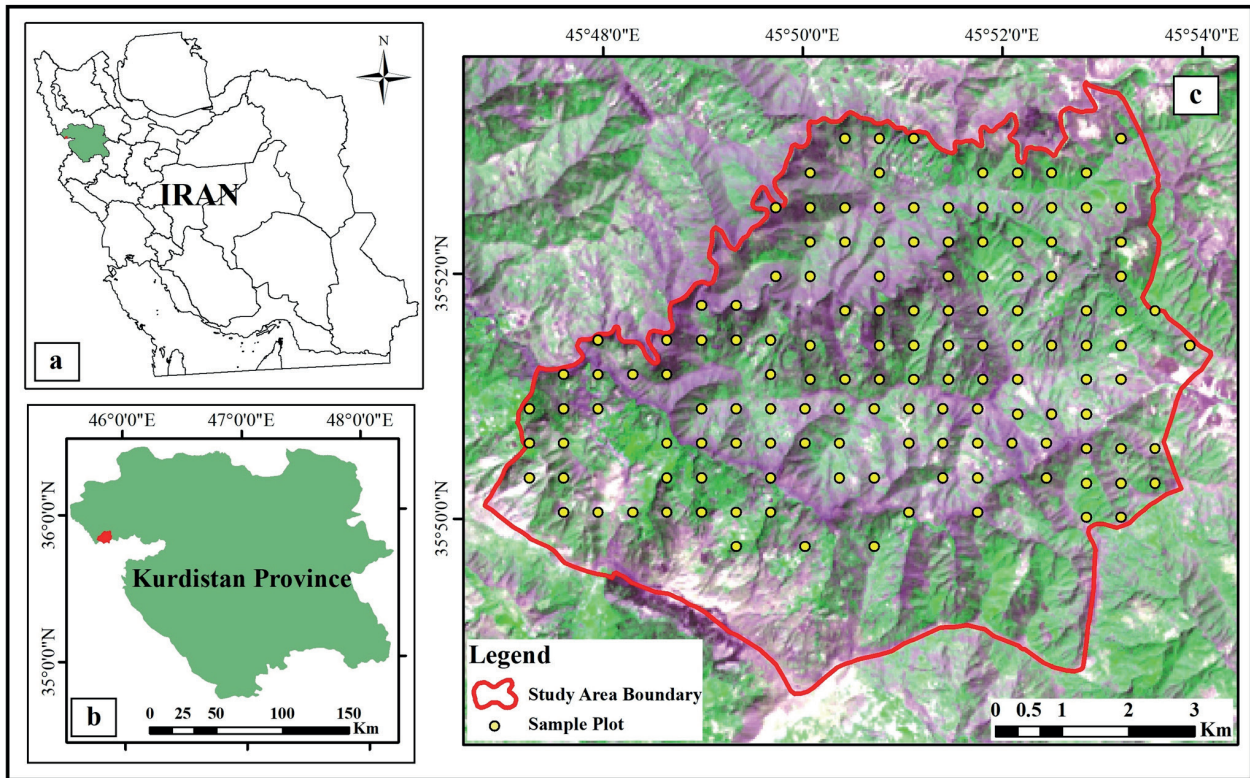


Fig. 1 / Рис. 1. Location of the study area in Iran (a), Kurdistan Province (b), and sample plot's locations within the study area (c) (Satellite Image from Landsat 8 (RGB 453)) / Местоположение исследуемого района в Иране (a), провинции Курдистан (b) и местоположения участка для отбора проб в пределах исследуемого района (c) (спутниковое изображение с Landsat 8 (RGB 453))

Source: compiled by the authors

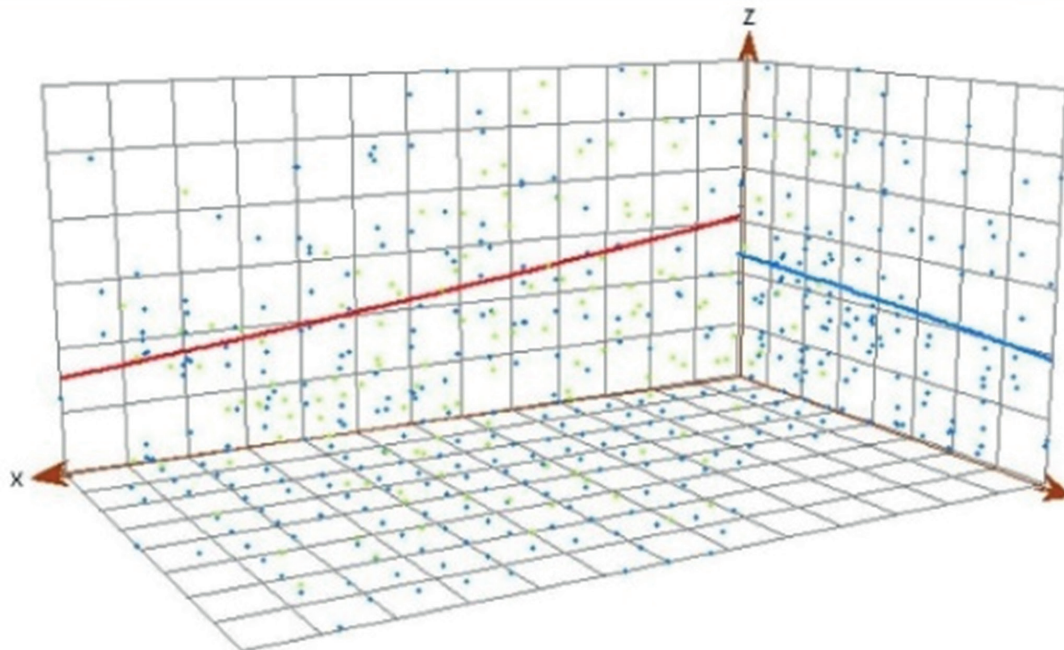


Fig. 2 / Fig. 2. Spatial trends in basal area field data across the study area in the west-east (X) and the north-south (Y) directions. The Z-axis represents the values of the examined basal area / Пространственные тренды полевых данных базальной площади по исследуемой площади в направлениях запад-восток (X) и север-юг (Y). Ось Z представляет значения исследуемой базальной площади

Source: compiled by the authors

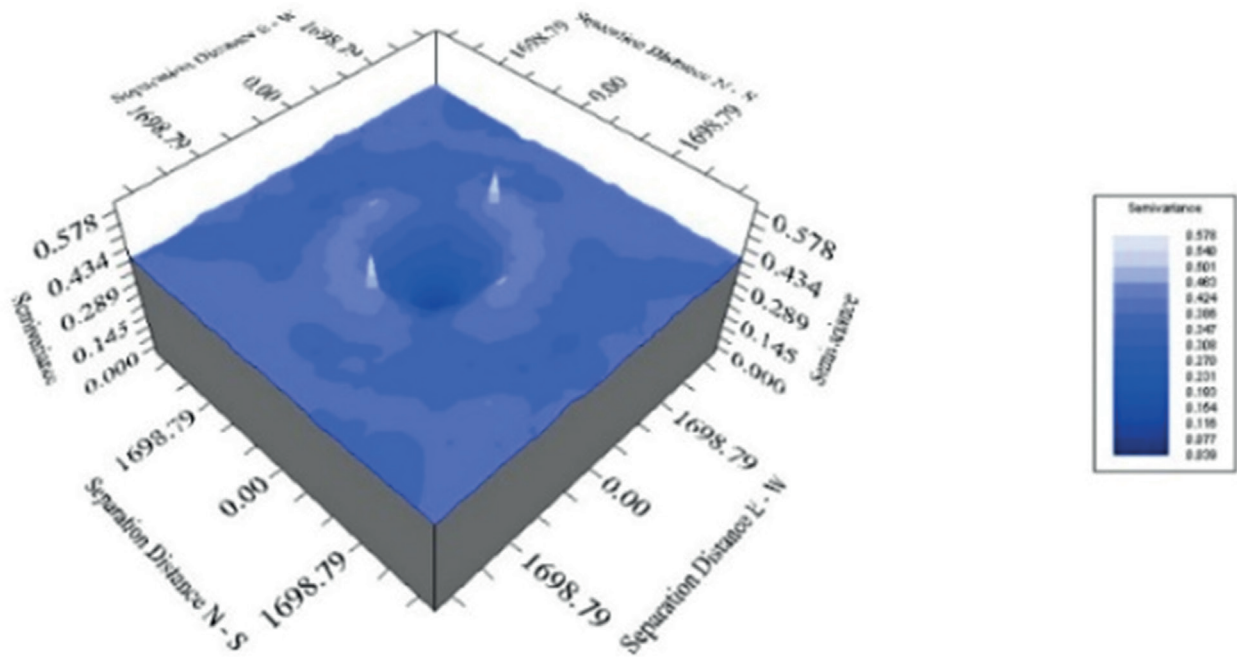


Fig. 3 / Рис. 3. Surface variogram maps in the west-east (W-E) and north-south (N-S) directions, calculated for tree basal area / Карты вариограмм поверхности в направлениях запад-восток (W-E) и север-юг (N-S), рассчитанные для площади основания деревьев

Source: compiled by the authors

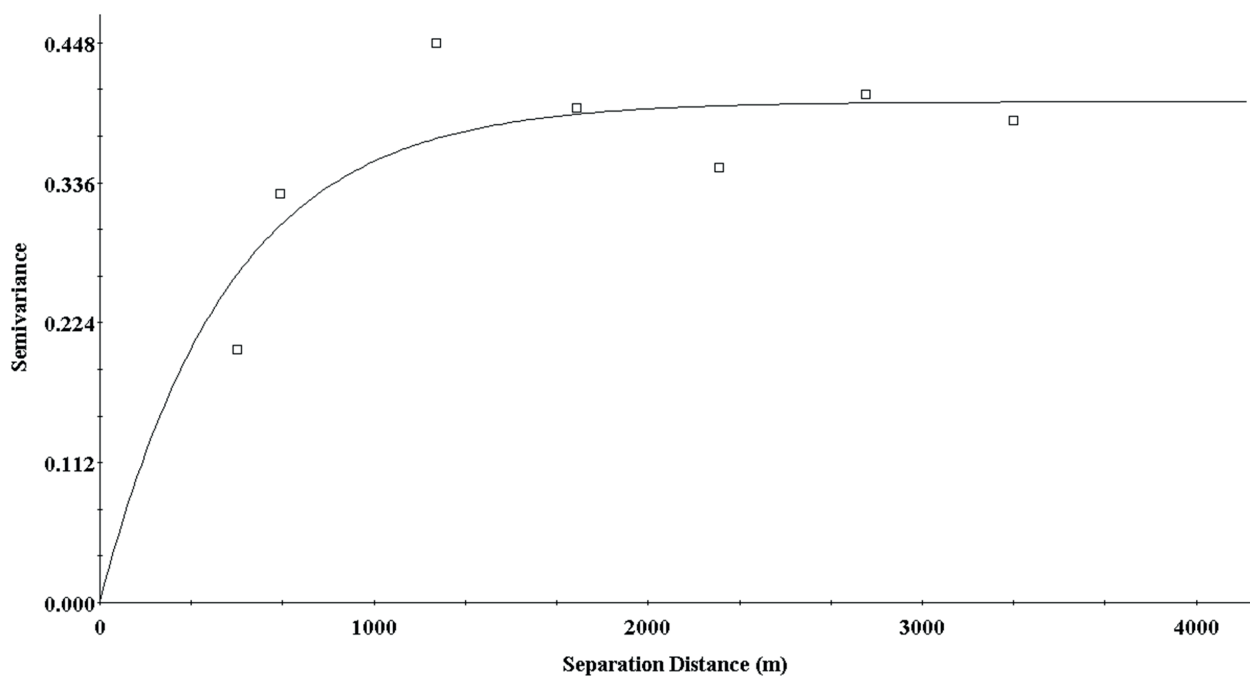


Fig. 4 / Рис. 4. Best-fit isotropic semivariogram models (with search neighborhood=5) of basal area / Наиболее подходящие изотропные семивариограммные модели (с поисковой окрестностью = 5) базальной площади

Source: compiled by the authors

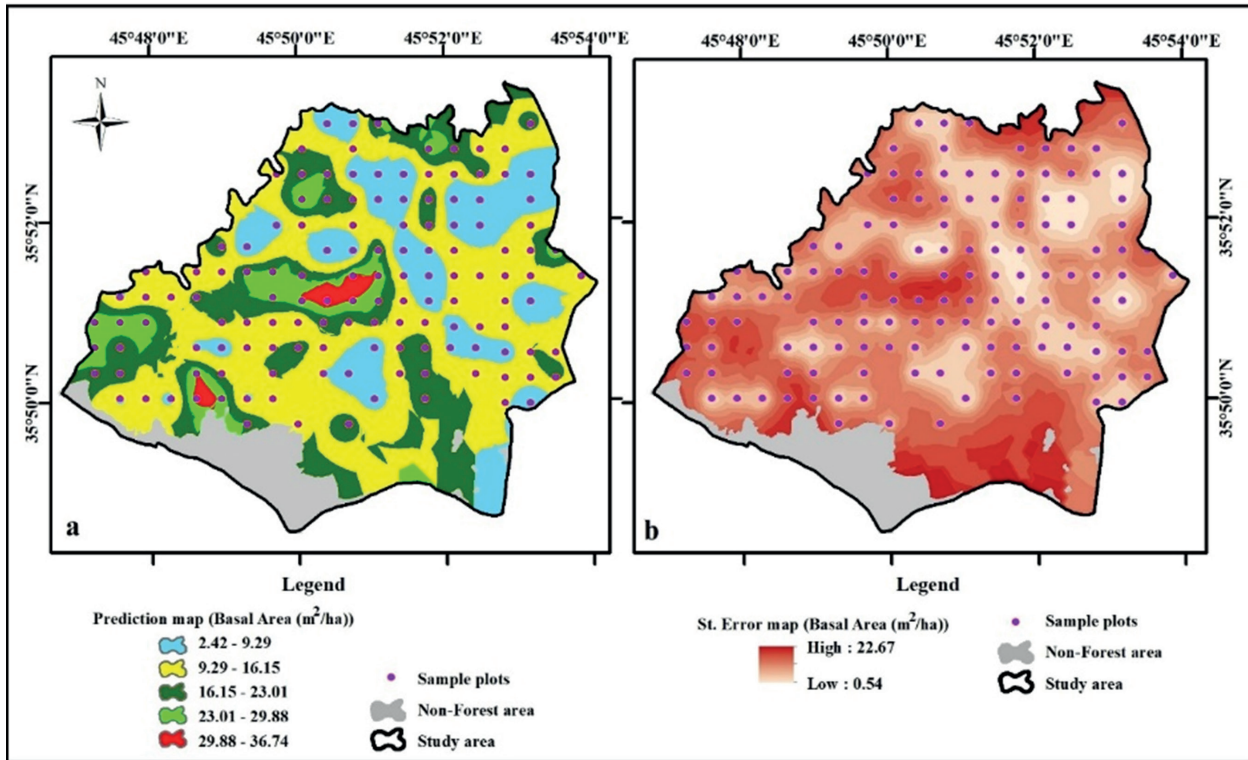


Fig. 5 / Рис. 5. Prediction map (a) and prediction standard error map (b) of basal area for the study area / Прогнозная карта (a) и стандартная карта ошибок прогнозирования (b) базальной области для исследуемой области

Source: compiled by the authors

The validation of ordinary kriging for predicting basal area demonstrated its strong performance, with MAE = 1.25 m²/ha, MAEr = 8.61%, RMSE = 3.26 m²/ha, and RMSEr = 22.4%, leading to its use in generating prediction and prediction standard error maps for basal area, as shown in Figure 5.

The ordinary kriging method provided basal area estimates very close to field-measured values, with an estimation error of 9.9%,

matching the field sampling error and confirming the reliability of geostatistical estimates (Table 2).

Ordinary kriging has been proven effective in estimating forest characteristics such as stand volume, basal area, tree density, tree height, Forest canopy height, and canopy cover, making it a reliable and accurate tool for gathering forest structure data and supporting effective forest management [3; 4; 11; 16; 30; 33; 48; 51].

Table 2 / Таблица 2

Summary statistics of basal area index at field sample plots and estimated using the ordinary kriging interpolation method / Сводная статистика индекса базальной площади на участках полевых выборок и оценка с использованием метода обычной интерполяции кригинга

Estimation method	n	Mean	SD	Min	Max	CV (%)	CS	CK	E (%)
Georeferenced sampling	136	14.53	8.5	2.39	35.84	58.5	0.61	-0.46	9.9
Ordinary Kriging	136	14.52	8.36	2.40	35.8	57.6	0.61	-0.46	9.9

Symbols:

n – Sample Size;

SD – Standard deviation;

CV – Coefficient of variation;

CS – Coefficient of asymmetry;

CK – Coefficient of kurtosis;

E – Error of estimate

Source: compiled by the authors

CONCLUSION

This study demonstrates that Ordinary Kriging is an effective geostatistical method for estimating basal area in coppice oak forests of northern Zagros, Iran. The results revealed strong spatial dependence (SDD = 99.8%) in basal area distribution, with the exponential variogram model providing reliable predictions (MAE = 1.25 m²/ha, RMSE = 3.26 m²/ha). The minimal nugget effect (0.001) and high model accuracy confirm the robustness of this approach for spatial forest assessment. Based on the variogram range of 1,413 m, a sampling interval of approximately 700 m is recommended. This spacing balances the need to capture spatial autocorrelation effectively while providing sufficient resolution for detailed spatial analysis. Adjustments to this spacing may be necessary based on specific study objectives, terrain complexity, and resource availability.

The findings highlight the potential of geostatistical techniques to overcome limitations of traditional forest inventories, offering a cost-effective and precise tool for sustainable forest management. By enabling accurate mapping of basal area, this method supports improved biomass estimation, carbon storage assessment, and conservation planning in ecologically vital oak ecosystems. Future research could expand applications to other forest attributes and regions, further validating the utility of geostatistical approaches in forestry.

REFERENCES

1. Aguirre A., del Río M., Ruiz-Peinado R., Condés S. Stand-level biomass models for predicting C stock for the main Spanish pine species. In: *Forest Ecosystems*, 2021. Vol. 8. № 1. P. 29.
2. Ahadi Z., Alavi J., Hoseini M. Beech forest site productivity mapping using ordinary kriging and IDW (Case study: research forest of TarbiatModares University). In: *Forest and Wood Products*, 2017, vol. 70, no. 1, pp. 93–102.
3. Akhavan R., Kia Daliri H., Etemad V., Hassani M., Mirakhorlou K. Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran (Case study: Keyroud forest, Nowshahr). In: *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2014, vol. 22, no. 2, pp. 188–203.
4. Akhavan R., Kia-Daliri H., Etemad V. Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran In: *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 61–76.
5. Akhavan R., Kleinn C. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock (Case study: Beneshki plantation). In: *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2009, vol. 17, no. 2, pp. 318–303.
6. Appel E., Barbosa I. C., Seidel E. J., Oliveira M. S. D. Spatial dependence index for cubic, pentaspherical and wave semivariogram models. In: *Boletim de Ciências Geodésicas*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 142–151.
7. Aully-Maestro I., Gómez C., Marino E., Cabrera M., De La Cueva A. V., Montes F. Integration of field sampling and LiDAR data in forest inventories: comparison of area-based approach and (lognormal) universal kriging. In: *Annals of Forest Science*, 2021, vol. 78, pp. 1–14.
8. Balderas Torres A., Lovett J. C. (2013). Using basal area to estimate aboveground carbon stocks in forests: La Primavera Biosphere's Reserve, Mexico. In: *Forestry*, 2013, vol. 86, no. 2, pp. 267–281.
9. Benítez F. L., Anderson L. O., Formaggio A. R. Evaluation of geostatistical techniques to estimate the spatial distribution of aboveground biomass in the Amazon rainforest using high-resolution remote sensing data. In: *Acta Amazonica*, 2016, vol. 46, no. 2, pp. 151–160. DOI: 10.1590/1809-4392201501254
10. Blodgett C. F. *Geostatistical modeling of lodgepole pine basal area in Grand Teton National Park with geostatistical techniques and satellite imagery*. University of Kansas, 2004.
11. Bolat F., Bulut S., Günlü A., Ercanlı İ., Şenyurt M. Regression kriging to improve basal area and growing stock volume estimation based on remotely sensed data, terrain indices and forest inventory of black pine forests. In: *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2020, vol. 50. DOI: 10.33494/nzjfs502020x49x
12. Brown E. The Variogram Basics: A visual introduction to one of the most useful geostatistical concepts. In: *CSEG*, 2022, vol. 47, pp. 1–30.
13. Calvo-Alvarado J. C., McDowell N. G., Waring R. H. (2008). Allometric relationships predicting foliar biomass and leaf area: sapwood area ratio from tree height in five Costa Rican rain forest species. In: *Tree physiology*, 2008, vol. 28, no. 11, pp. 1601–1608. DOI: 10.1093/treephys/28.11.1601
14. Cambardella C. A., Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., et al.. Field-scale vari-

- ability of soil properties in central Iowa soils. In: *Soil science society of America journal*, 1994, vol. 58, no. 5, pp. 1501–1511.
15. Chiles J. P., Delfiner P., *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. Iss. 713. John Wiley & Sons, 2012.
 16. Fakhire A., Zilaie M. N. Comparison of different kriging methods to estimate the tree density. A case study: West of Karkheh in Southwest of Iran. In: *ProEnvironment Promeditu*, 2014, vol. 20, no. 7, pp. 204–212.
 17. Freeman E. A., Moisen G. G. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. In: *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, vol. 128, no. 1-3, pp. 395–410. DOI: 10.1007/s10661-006-9322-6
 18. Ganawa E.S.M., Soom M.A.M., Musa M.H., Shariff A.M., Wayayok A. Spatial variability of total nitrogen and available phosphorus of large rice field in SawahSempadan Malaysia. In: *Science Asia*, 2003, vol. 29, pp. 7–12.
 19. Ghahramany L., Ghazanfari H., Fatehi P., Valipour A. Structure of pollarded oak forest in relation to aspect in Northern Zagros, Iran. In: *Agroforestry Systems*, 2018, vol. 92, no. 6, pp. 1567–1577.
 20. Goovaerts P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford university press, 1997. 496 p.
 21. Hemingway H., Opalach D. Integrating Lidar Canopy Height Models with Satellite-Assisted Inventory Methods: A Comparison of Inventory Estimates. In: *Forest Science*, 2024, vol. 70, no. 1, pp. 2–13. DOI: 10.1093/forsci/xfad047
 22. Hershey R. R., Ramirez M. A., Drake D. A. Using geostatistical techniques to map the distribution of tree species from ground inventory data. In: *Modelling Longitudinal and Spatially Correlated Data*. Springer New York, 1997, pp. 187–198.
 23. Hoseinpour A., Jalilvand H., Niknejad M., Savadkahi A. Investigating the effects of forestry plans on tree diversity indices mapped by Kriging Method (A Case Study: Watson forestry plan in the Eastern of Mazandaran). In: *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 17–30.
 24. Hoseinpour A., Fallah A., Niknejad M., Hejazian M., Kalbi S. Investigating of kriging geostatistic method capability for forest stand volume zoning (case study: Haftkhal area). In: *Ecology of Iranian Forests*, 2022, vol. 10, no. 20, pp. 120–128. DOI: 10.52547/ifej.10.20.120
 25. Jafarzadeh A. A., Mahdavi A., FallahShamsi S. R., Yousefpour R. Economic evaluation of some of the most important ecosystem services in Zagros forests. In: *Environmental Sciences*, 2020, vol. 18, no. 1, pp. 137–150.
 26. Jafarian N., Mirzaei J., Omidipour R., Kooch Y. Identification of ArbuscularMycorrhizal Fungi Coexist with Plant Species in Different Habitats of Iranian Oak (*QuercusbrantiLindl.*) in Ilam. In: *Ecology of Iranian Forest*, 2023, vol. 11, no. 22, pp. 73–87.
 27. Jiang F., Sun H., Chen E., Wang T., Cao Y., Liu Q. Above-ground biomass estimation for coniferous forests in Northern China using regression kriging and landsat 9 images. In: *Remote Sensing*, 2022, vol. 14, no. 22, pp. 5734. DOI: 10.3390/rs14225734
 28. Illarionova S., Tregubova P., Shukhratov I., Shadrin D., et al. Advancing forest carbon stocks' mapping using a hierarchical approach with machine learning and satellite imagery. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, no. 1, p. 21032. DOI: 10.1038/s41598-024-71133-8
 29. Karimi M., Fallah A. Spatial Pattern and Interaction Analysis of *QuercusBrantiLindl.* and *PistaciaAtlanticaDesf.* in Qalajeh Forests of Kermanshah using K2 Function. In: *Ecology of Iranian Forest*, 2017, vol. 5, no. 9, pp. 8–16. DOI: 10.29252/ifej.5.9.8
 30. Li W., Niu Z., Liang X., Li Z., Huang N., et al. Geostatistical modeling using LiDAR-derived prior knowledge with SPOT-6 data to estimate temperate forest canopy cover and above-ground biomass via stratified random sampling. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, vol. 41, pp. 88–98. DOI: 10.1016/j.jag.2015.04.020
 31. Li Z., Bi S., Hao S., Cui Y. Aboveground biomass estimation in forests with random forest and Monte Carlo-based uncertainty analysis. In: *Ecological Indicators*, 2022, vol. 142, p. 109246. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109246
 32. Luo S., Xu L., Yu J., Zhou W., Yang Z., et al. Sampling estimation and optimization of typical forest biomass based on sequential gaussian conditional simulation. In: *Forests*, 2023, vol. 14, no. 9, p. 1792. DOI: 10.3390/f14091792
 33. Maselli F., Chiesi M. Evaluation of statistical methods to estimate forest volume in a Mediterranean region. In: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, vol. 44, no. 8, pp. 2239–2250. DOI: 10.1109/TGRS.2006.872074
 34. McDonnell R., Kemp K. K. *International GIS dictionary*. John Wiley & Sons, 1995. 112 p.
 35. McIntire C. D., Cunliffe A. M., Boschetti F., Litvak M. E. Allometric relationships for predicting aboveground biomass, sapwood, and leaf area of two-needle Picon pine (*Pinusedu-*

- lis) amid open-grown conditions in central New Mexico. In: *Forest Science*, 2022, vol. 68, no. 2, pp. 152–161.
36. Moradi A., Shabanian N. Sacred groves: A model of Zagros forests for carbon sequestration and climate change mitigation. In: *Environmental Conservation*, 2023, vol. 50, no. 3, pp. 163–168.
 37. Nanos N., Calama R., Montero G., Gil L. Geostatistical prediction of height/diameter models. In: *Forest ecology and management*, 2004, vol. 195, no. 1-2, pp. 221–235. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.02.031
 38. Pascual C., Mauro F., Hernando A., Martín-Fernández S. Inventory techniques in participatory forest management. In: *Quantitative techniques in participatory forest management*. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton, 2013, pp. 53–134.
 39. Raju N. J. *Geostatistical and geospatial approaches for the characterization of natural resources in the environment*. Cham: Springer, 2016. 969 p.
 40. Raimundo M. R., Scolforo H. F., de Mello J. M., Scolforo J.R.S., McTague J. P., dos Reis A. A. Geostatistics applied to growth estimates in continuous forest inventories. In: *Forest Science*, 2017, vol. 63, no. 1, pp. 29–38. DOI: 10.5849/FS-2016-056
 41. Ray D., Seymour R., Fraver S., Berrill J. P., et al. Relative density as a standardizing metric for the development of size-density management charts. *Journal of Forestry*, 2023, vol. 121, no. 5-6, pp. 443–456.
 42. SaghebTalebi K., Sajedi T., Pourhashemi M. Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future (No. 15325). Springer Netherlands, 2014. DOI: 10.1007/978-94-007-7371-4 (12)
 43. Sales M. H., Souza Jr.C.M., Kyriakidis P. C., Roberts D. A., Vidal E. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondônia, Brazil. In: *Ecological Modelling*, 2007, vol. 205, no. 1-2, pp. 221–230.
 44. Samson M., Deutsch C. The Sill of the Variogram. *Geostatistics Lessons*, 2021. Available at: <https://geostatisticslessons.com/lessons/sillofvariogram> (accessed: 09.10.2025).
 45. Scott C. T., Gove J. H., Scott C. T., Gove J. H. Forest inventory. In: *Encyclopedia of Environmetrics*, 2002, vol. 2, pp. 814–820. DOI: 10.1002/9780470057339.vaf013
 46. Solana-Gutiérrez J., Merino-de-Miguel S. A variogram model comparison for predicting forest changes. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, vol. 7, pp. 383–388. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.07.066
 47. Su H., Shen W., Wang J., Ali A., Li M. Machine learning and geostatistical approaches for estimating aboveground biomass in Chinese subtropical forests. In: *Forest Ecosystems*, 2020, vol. 7, pp. 1–20. DOI: 10.21203/rs.3.rs-25148/v1
 48. Tiryana T. Predicting spatial distribution of stand volume using geostatistics. In: *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 2005, vol. 11, no. 2, pp. 15–27.
 49. Urbazaev M., Thiel C., Cremer F., Dubayah R., Migliavacca M., Reichstein M., Schmullius C. Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. In: *Carbon balance and management*, 2018, vol. 13, pp. 1–20.
 50. Webster R., Oliver M. A. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, 2007. 354 p. DOI: 10.1007/S11004-009-9221-9
 51. Zhao Z., Feng Z., Liu J., Wang Y. Development and Testing of a New UWB Positioning Measurement Tool to Assist in Forest Surveys. In: *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 24, p. 17042. DOI: 10.3390/su142417042
 52. Zhao J., Zhao L., Chen E., Li Z., Xu K., Ding X. An improved generalized hierarchical estimation framework with geostatistics for mapping forest parameters and its uncertainty: a case study of forest canopy height. In: *Remote Sensing*, 2022, vol. 14, no. 3, p. 568.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ghahramany L. (Sanandaj, Iran) – Assoc. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry;
e-mail: l.ghahramany@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-3721-8084

PirBavaghar M. (Sanandaj, Iran) – Assoc. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry;
e-mail: m.bavaghar@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-4649-6705

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гахрамани Л. (г. Санандадж, Иран) – доцент кафедры лесного хозяйства факультета природных ресурсов Университета Курдистана и Научно-исследовательского центра по изучению и развитию лесного хозяйства Северного Загроса имени доктора Хедаята Газанфари;
e-mail: l.ghahramany@uok.ac.ir; ORCID: 0000-0002-3721-8084

Пир Бавагар М. (г. Санандадж, Иран) – доцент кафедры лесного хозяйства факультета природных ресурсов Университета Курдистана и Научно-исследовательского центра по изучению и развитию лесного хозяйства Северного Загроса имени доктора Хедаята Газанфари;
e-mail: m.bavaghar@uok.ac.ir; ORCID 0000-0002-4649-6705

ТЕНДЕНЦИИ И ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

Научная статья
УДК 911.37+338.432
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-106-126

МАЛЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ ГОРОДА КАК ЧАСТЬ КУЛЬТУРНОГО ЛАНДШАФТА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

© СС ВУ Катровский А. П.

*Смоленский государственный университет
г. Смоленск, Российская Федерация
e-mail: alexkatrovsky@mail.ru; ORCID:0000-0001-5954-3833*

Поступила в редакцию 11.02.2025
После доработки 16.09.2025
Принята к публикации 10.10.2025

Аннотация

Цель. Выявить место и миссию малых исторических городов России и Республики Беларусь в культурном ландшафте Союзного государства.

Процедура и методы. На основе обобщения опыта выделения исторических поселений в Российской Федерации переосмыслить критерии отнесения городов к категории «исторических». Отмечается, что имеется 2 основных критерия отнесения города к категории «исторических». Во-первых, это город в истории, т. е. роль города как актора исторических событий. Во-вторых, история в городе, т. е. насыщенность города объектами историко-культурного наследия и памятниками, напоминающими о прошлом. Впервые на основе контент-анализа российских и белорусских учебников отечественной истории количественно оценена роль городов как участников исторического процесса своих стран. В Республике Беларусь в отличие от Российской Федерации нет официального статуса «историческое поселение», различны в двух странах и критерии отнесения городов к малым.

Результаты. Установлено, что большинство малых исторических городов Союзного государства возникли до XIX в., многие до XIV в. Развитие малых городов в значительной степени было детерминировано их географическим положением. На первом этапе положением на важнейших водных коммуникациях, далее на основных водных и гужевых дорогах. В XIX в. главным фактором развития городов стали железные дороги. Со второй половины XX в. главным фактором успешного развития городов стало положение на основных транспортных коридорах. Упоминание малых городов в школьных учебниках истории в значительной степени зависит от их административной миссии в прошлом, а также роли в военной истории.

Теоретическая и/или практическая значимость. Проанализированы и переосмыслены предыдущие перечни исторических населённых пунктов, предложен авторский перечень малых исторических городов Союзного государства, отмечается высокая их туристская привлекательность и роль в патриотическом воспитании. Впервые дана количественная оценка «историчности» официальных малых исторических городов, их иерархия, а также неофициальных исторических городов, которые рассматриваются как претенденты на включение в список.

Ключевые слова: исторические города, историческая память, историческое наследие, индекс «историчности», туристификация

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-27-00357 «Малый город в приграничных с Белоруссией регионах России: новая миссия и функции в эпоху неоиндустриальных трансформаций».

Для цитирования:

Катровский А. П. Малые исторические города как часть культурного ландшафта союзного государства // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 106–126. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-106-126

Original Article

SMALL HISTORICAL TOWNS AS PART OF THE CULTURAL LANDSCAPE OF THE UNION STATE

© CC BY A. Katrovsky

*Smolensk State University**Smolensk, Russian Federation**e-mail: alexkatrovsky@mail.ru; ORCID:0000-0001-5954-3833*

Received 11.02.2025

Revised 16.09.2025

Accepted 10.10.2025

Abstract

Aim. To identify the place and mission of small historical cities of Russia and the Republic of Belarus in the cultural landscape of the Union State

Methodology. Based on the generalization of the experience of identifying historical settlements in the Russian Federation, rethink the criteria for classifying cities as "historical". It is noted that there are two main aspects of classifying the city as "historical". Firstly, it is a city in history, i.e. the role of the city as an actor of historical events. Secondly, there is history in the city, i.e. the saturation of the city with objects of historical and cultural heritage and monuments reminiscent of the past. For the first time, based on the content analysis of Russian and Belarusian textbooks of national history, the role of cities as participants in the historical process of their countries has been quantified. In the Republic of Belarus, unlike the Russian Federation, there is no official status of a "historical settlement", and the criteria for classifying cities as small are different.

Results. It has been established that most of the small historical cities of the Union State arose before the 19th century, many before the 14th century. The development of small towns was largely determined by their geographical location. At the first stage, the situation is on the most important water communications, then on the main water and horse-drawn roads. In the 19th century, railways became the main factor in development. Since the second half of the 20th century, the main factor in the successful development of cities has been the location on the main transport corridors. The mention of small towns in school history textbooks largely depends on their administrative mission in the past, as well as their role in military history.

Research implication. The previous lists of historical settlements are analyzed and reinterpreted, the author's list of small historical cities of the Union State is proposed, their high tourist attractiveness and their role in patriotic education are noted. For the first time, the "historicity" of official small historical cities, their hierarchy, and candidates for inclusion in the list have been quantified.

Keywords: historical cities, historical memory, historical heritage, the index of "historicity", touristification

Acknowledgements. The study was carried out with the support of a grant from the Russian National Research Fund no. 23-27-00357 "Small City in the Regions of Russia Bordering Belarus: A New Mission and Functions in the Era of Neo-Industrial Transformations."

For citation:

Kaplevsky A. A., Ulanova N. G. Dynamics of the herbaceous layer of spruce forest phytocoenosis for nine years after a bark beetle outbreak. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 106–126. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-106-126

ВВЕДЕНИЕ

Союзное государство России и Беларуси было образовано в декабре 1999 г. В настоящее время, помимо 89 субъектов Российской Федерации, в него входят 7 субъектов Республики Беларусь. Площадь территории Союзного государства с учётом новых регионов 17 441,6 тыс. км². Численность населения на 01.01.2025 – 155,2 млн. чел. (без учёта 4 новых регионов РФ).

Исторические поселения, городские и сельские – это особый тип, который обладает бесценным даром – вводить в историю. В настоящее время, когда вопросам исторического просвещения, сохранения исторической памяти, развитию патриотизма уделяется много внимания, изучение их обретает особую значимость и актуальность. Д. С. Лихачёв называл исторические города университетами патриотизма. Наряду с крупнейшими городами, городами-«миллионерами» среди исторических поселений достаточно много небольших городов. Как заметил Г. М. Лаппо, «Привилегия быть хранителем истории сохраняется и за маленькими, некогда знаменитыми городами» [19]. По его мнению, «Малый город способен лучше хранить историю, чем большой, у которого история заслонена современностью... Историческая память у малых городов крепче. Они одновременно живут в разных исторических эпохах» [20].

Исторические города можно считать своеобразными ДНК стран и регионов. Более того, они являются носителями определённого историко-культурного кода страны и региона локализации. В процессе исторического развития происходит смена историко-культурного кода. На территории современной Беларуси такие изменения происходили неоднократно: после образования первых княжеств и христианизации, после вхождения её земель в состав Великого княжества Литовского, после вхождения в состав Российской империи, после Великой Октябрьской революции, после распада СССР. История государственности в значительной степени отражается через историю городов.

Белорусские земли на протяжении более двух столетий входили в состав Рос-

сийской империи. Однако для российских и белорусских исторических городов наиболее уместна формула «Единство в разнообразии». При наличии многих общих черт историко-культурный код белорусских городов, возникших до вхождения белорусских земель в состав Российской империи, несколько отличен от российских городов. Об этом свидетельствуют и различия в городских культурных ландшафтах. Не только Гродно, Новогрудок или Пинск, но и Витебск, Могилёв, Минск, многие другие исторические города имеют своеобразие, которое необходимо сохранить.

ОБ ИСТОРИЧЕСКОМ МАЛОМ ГОРОДЕ: КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ

Прежде чем выявить особенности культурных ландшафтов малых исторических городов Союзного государства, необходимо ответить на ряд вопросов. Во-первых, что в статье понимается под понятием «малый город»? Во-вторых, что есть исторический город, каковы его критерии? В-третьих, что подразумевается под культурным ландшафтом? При всей кажущейся простоте данных вопросов, ответы на них далеко не очевидны. Начнём с понятия «малый город». В России и Беларуси разные критерии малого города. Если в России малый город – это город с численностью населения менее 50 тыс. чел.¹, то в Беларуси, согласно нормативным документам, малые города – это города с численностью населения менее 20 тыс. чел.² В России после преобразования в 2024 г. 4 сельских населённых пунктов Чеченской республики (Ойсхара, Наурская, Шелковская, Серноводское и посёлков Тельмана и Бугры Ленинградской области) общее число городов достигло 1 125. Из них малыми являлись 814 или 72,4%. Число малых городов в России меняется в результате образования новых городов из сельских населённых пунктов, за счёт перехода в данную груп-

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации: официальный текст от 7 мая 1998 г. М.: НОРМА; ИНФРА-М, 1998.

² Планировка и застройка населённых пунктов. СН 3.01.03-2020. Официальное издание. Минск: Минстройархитектуры, 2023. 59 с.

пу средних городов, за счёт поглощения более крупными городами и преобразования городов в посёлки городского типа, сельские населённые пункты. В 2024 г. из группы средних городов в малые перешла Вязьма Смоленской области. В 2015 г. Железнодорожный вошёл в состав Балашихи, Климовск в состав Подольска, Ожерелье в состав Каширы. В 2017 г. г. Шахтёрск Сахалинской области был «разжалован» до посёлка городского типа.

В Республике Беларусь на 1 января 2025 г. из 115 городов 77 являлись малыми³. В стране различаются малые города I категории, малые города II категории и малые города III категории⁴. К III категории относятся города с численностью населения менее 5 тыс. чел., ко II категории – города с численностью населения от 5 до 10 тыс. чел., к I категории – города с численностью населения от 10 до 20 тыс. чел.

Таким образом, на 1 января 2025 г. в границах Союзного государства имелось 1 240 городов, из которых малыми считалось 891.

Следующий вопрос, на который необходимо получить ответ, что считать историческими городами в России и Беларуси. Проблема идентификации исторического города – одна из сложнейших. Перечень исторических городов неоднократно изменялся, что свидетельствует о его субъективности [13].

В Беларуси, в отличие от России, отсутствует официальный статус «исторического поселения». Что касается России, то следует различать понятия «исторический город» и «историческое поселение» в узком и широком смысле. В узком смысле, когда речь идёт об официальных, выделенных государственными и региональными органами власти исторических поселениях. С 2002 г. в нормативных документах чаще используется понятие «историческое по-

селение». В научных статьях по-прежнему используются понятия «исторический город» «исторический населённый пункт». В 2002 г., в соответствии с Федеральным законом № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», было введено понятие «историческое поселение». Согласно ст. 59 данного закона, (в редакции Федерального закона от 12.11.2012 № 179-ФЗ), «историческим поселением» в целях настоящего Федерального закона являются включённые в перечень исторических поселений федерального значения или в перечень исторических поселений регионального значения населённый пункт или его часть, в границах которого расположены объекты культурного наследия, включённые в реестр, выявленные объекты культурного наследия и объекты, составляющие предмет охраны исторического поселения». Судя по данному определению, историческая ценность поселения связана исключительно с наличием в нём объектов культурного наследия (ОКН). И хотя приказ, изданный 4 апреля 2023 г. Министерством культуры Российской Федерации, назывался «Об утверждении перечня исторических поселений, имеющих особое значение для истории и культуры Российской Федерации», но никакой особой роли поселений для истории страны он не учитывал. В перечне исторических поселений, имеющих особое значение для истории и культуры Российской Федерации нет Великого Новгорода, Пскова, Казани, Старой Ладogi, Изборска. Нет даже Москвы в этом перечне.

Известный отечественный географ Ю. А. Веденин, ещё до выхода данного приказа, заметил: «Ведущую роль в определении ценности исторического города играли градостроители, в поле внимания которых находились такие вопросы как планировочная структура, особенности застройки и архитектурное оформление отдельных сооружений. Но при этом нередко игнорировалось нематериальное наследие, в т. ч. связь городского пространства с важными историческими событиями и выдающимися личностями, с традиционными функциями города и его отдельных районов, топонимы, поведение людей» [6].

³ Численность населения на 1 января 2025 г. и среднегодовая численность населения за 2024 г. по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов, посёлков городского типа. Статистический бюллетень. Минск, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3SzCc5> (дата обращения: 25.09.2025).

⁴ Планировка и застройка населённых пунктов. СН 3.01.03-2020. Официальное издание Минстройархитектуры. Минск, 2023.

Понятия «исторический город», «исторический населённый пункт» и «историческое поселение» не являются синонимами, однако в официальных перечнях приводятся населённые пункты (городские и сельские). Перечень исторических поселений федерального значения неоднократно пересматривался. Если в 2002 г. он насчитывал 478, то в 2010 г. он был «секвестирован» более чем в 10 раз и включал 41 населённый пункт. В настоящее время в 44 городских и 2 сельских населённых пунктах имеются исторические поселения федерального значения.

Помимо официальных исторических поселений федерального значения в ряде субъектов РФ (Вологодская, Псковская, Брянская, Московская, Ленинградская, Ярославская области и др.) имеются и официальные исторические поселения регионального значения. Часть региональных исторических пунктов в прошлом входило в перечень официальных исторических пунктов, но в 2010 г. попало под «сокращение». Решение о статусе исторического поселения регионального значения принимают региональные органы власти.

Для оценки значимости исторических населённых пунктов можно использовать индекс «историчности», который зависит от насыщенности их объектами культурного наследия (ОКН) федерального значения, роли в истории. В качестве вспомогательного показателя в данном исследовании рассматривался возраст. Значимый возраст не есть гарант высокого индекса «историчности». Здесь несколько причин. Во-первых, города, возникнув в далёком прошлом, могли оказаться на «обочине» главного исторического процесса. Во-вторых, объекты культурного наследия не всегда сохраняются.

В Беларуси и ряде регионов России среди архитектурных историко-культурных ценностей есть особый вид — «утраченное» культурное наследие». И хотя в современном перечне официальных исторических поселений России отсутствуют населённые пункты, основанные в XIX–XXI вв., нельзя утверждать о тесной корреляции между возрастом и индексом «историчности». В Беларуси и России ряд малых городов, основанных в IX–XI вв. (Белозерск,

Дорогобуж, Заславль, Дисна, Волковыск и др.) уступают по индексу «историчности» поселениям, возникшим много позднее. В процессе исследования всех исторических городов России возникло сомнение о целесообразности учёта возраста при расчёте индекса «историчности». Это сомнение связано с тем, что по насыщенности ОКН мирового и федерального уровня выделяются города, основанные в XVIII в. И это не только Санкт-Петербург и его окружение. Данное ограничение не касается городов Республики Беларусь, где самые молодые исторические города возникли в XVI в., а города с наивысшим значением соответствующего индекса — до XIV в.

Индекс «историчности» некая количественная оценка исторической значимости пункта, где в равной степени учитывается и количество (ОКН) федерального значения и роль в истории, критерием которой выступает количество упоминаний в главных источниках исторического просвещения населения — школьном учебнике «История России» или «История Беларуси». Максимальное значение индекса в данном исследовании — 20. На основе значения индекса «историчности», а также официального признания особой ценности историко-культурной среды, возможно построение иерархии исторических населённых пунктов. При этом, в зависимости от значения индекса, принято выделять исторические населённые пункты мирового значения, исторические населённые пункты наднационального (международного) значения, исторические населённые пункты национального значения, исторические населённые пункты межрегионального значения, исторические населённые пункты регионального значения. Последние могут быть выделены не только на основе индекса «историчности», но и как уже отмечалось, решением региональных органов власти. В. Р. Крогиус выделял ещё исторические города местного значения [15]. Основанием для отнесения исторического населённого пункта к пунктам мирового значения является также включение самого пункта или его объектов в перечень объектов Всемирного культурного наследия.

Впервые в СССР исторические города с целью сохранения культурного насле-

дия были выделены в 1946 г. Тогда среди 32 городов страны, статус «исторического» получили 17 городов РСФСР, включая малые на то время: Петродворец, Павловск, Пушкин, Гатчину, Ростов Великий, Суздаль, Феодосию, Керчь и Дербент. В БССР к историческим городам был отнесён только Витебск, который не являлся малым городом. Спустя 3 года список исторических городов СССР был сокращён до 20, из которых городами РСФСР являлось 10. К малым из них относились: Суздаль, Ростов Великий и Дербент. В начале 1960-х гг. Дербент перешёл в категорию средних городов. В перечне 1949 г. исторические города БССР отсутствовали. В дальнейшем список исторических городов России неоднократно обновлялся. Поскольку статус исторического города присваивался на основе экспертных оценок, то подобные изменения были естественны.

К списку исторических городов в РСФСР вернулись в 1970 г. Тогда появился Список городов и других населённых мест РСФСР, имеющих архитектурные памятники, градостроительные ансамбли и комплексы, являющиеся памятниками национальной культуры, а также сохранившиеся природные ландшафты и древний культурный слой земли, представляющий археологическую и историческую ценность. В данный список вошло 115 населённых пунктов, из которых 67 были малыми городами, 5 – посёлками городского типа. Впервые в список населённых пунктов, имеющих историческую ценность, были включены 3 сельских пункта, которые в прошлом были городами: Старый Изборск, Старая Ладога и станица Старочеркасская.

Спустя 10 лет, благодаря работам ЦНИИП градостроительства был разработан новый перечень исторических городов Советского Союза. В списке исторических оказалось 584 городских и сельских пунктов. Больше всего исторических пунктов было из РСФСР – 146. Из общего числа исторических населённых пунктов РСФСР 56 являлись малыми городами.

В исследовании 1980 г. была систематизирована информация о возрасте возникновения, численности населения и её ди-

намике. Критерий малого города для всех республик СССР в данном исследовании был единым (менее 50 тыс. чел.). Впервые на основе ценности архитектурно-планировочного наследия все города были разделены на несколько классов. Это был первый опыт иерархии исторических населённых пунктов.

В класс «А» вошли наиболее ценные города. В них сохранились основы исторической планировки, ведущие ансамбли и комплексы высокого качества и т. д. В РСФСР самой высокой оценки было удостоено 18 городов, включая такие малые, как Великий Устюг, Кириллов, Ростов Великий, Суздаль и др. Из белорусских малых городов самую высокую оценку получили Несвиж, Новогрудок и Слоним.

В класс «Б» были включены города, в которых фрагментарно сохранилась историческая застройка, но была нарушена целостность архитектурно-планировочного наследия. В этот класс было включено 33 малых города РСФСР, включая Белев, Верхотурье, Вязьму, Дмитров, Торжок и др. В БССР к классу «Б» было отнесено 3 города (Кобрин, Мстиславль, Поставы) и 1 пгт (Мир).

В класс «В» вошли города с отдельными элементами исторической планировки, обособленными памятниками. Из малых исторических городов России в него вошло 17, в т. ч. Гагарин, Козельск, Порхов, Ялуторовск и др. Из городов БССР – 8, включая Волковыск, Заславль, Туров, Черчерск и др.

При отнесении города к определённому классу особое внимание обращалось на архитектурно-планировочное состояние его исторического центра, поскольку центры исторических населённых пунктов часто выступали как «музеи под открытым небом».

В 1990 г. общее число исторических населённых пунктов в РСФСР достигло 536. Что касается Беларуси, то после 1980 г. перечень официальных исторических населённых пунктов не составлялся. Однако эту миссию в некоторой мере могут выполнять выделенные Министерством культуры в качестве самостоятельного вида материальных историко-культурных ценностей, памятники градостроитель-

ства, в качестве которых выступают исторические центры отдельных городов [8].

В Список историко-культурных ценностей Республики Беларусь в середине 2025 г. входили 14 памятников градостроительства, представленные в 11 городах. Это исторические центры Бреста, Кобрина, Пинска, Витебска, Полоцка, Мозыря, Гродно, Новогрудка, Могилёва, Заславля и Минска. Из данного перечня только Заславль соответствует белорусскому критерию малого города. Памятники градостроительства имелись во всех регионах Республики Беларусь.

В Российской Федерации к официальным историческим городам относятся населённые пункты, входящие в Перечень

исторических поселений, определённый официальными государственными документами. Современный список исторических поселений определён соответствующим приказом Министерства Культуры Российской Федерации от 4 апреля 2023 г. В 2024 г. в список была включена Вологда, и общее число исторических населённых пунктов России федерального значения достигло 46. При этом в современный список исторических поселений федерального значения входят отдельные населённые пункты, отсутствующие в большинстве перечней предыдущих лет. Представление о времени основания официальных малых исторических городов федерального значения даёт рисунок 1.

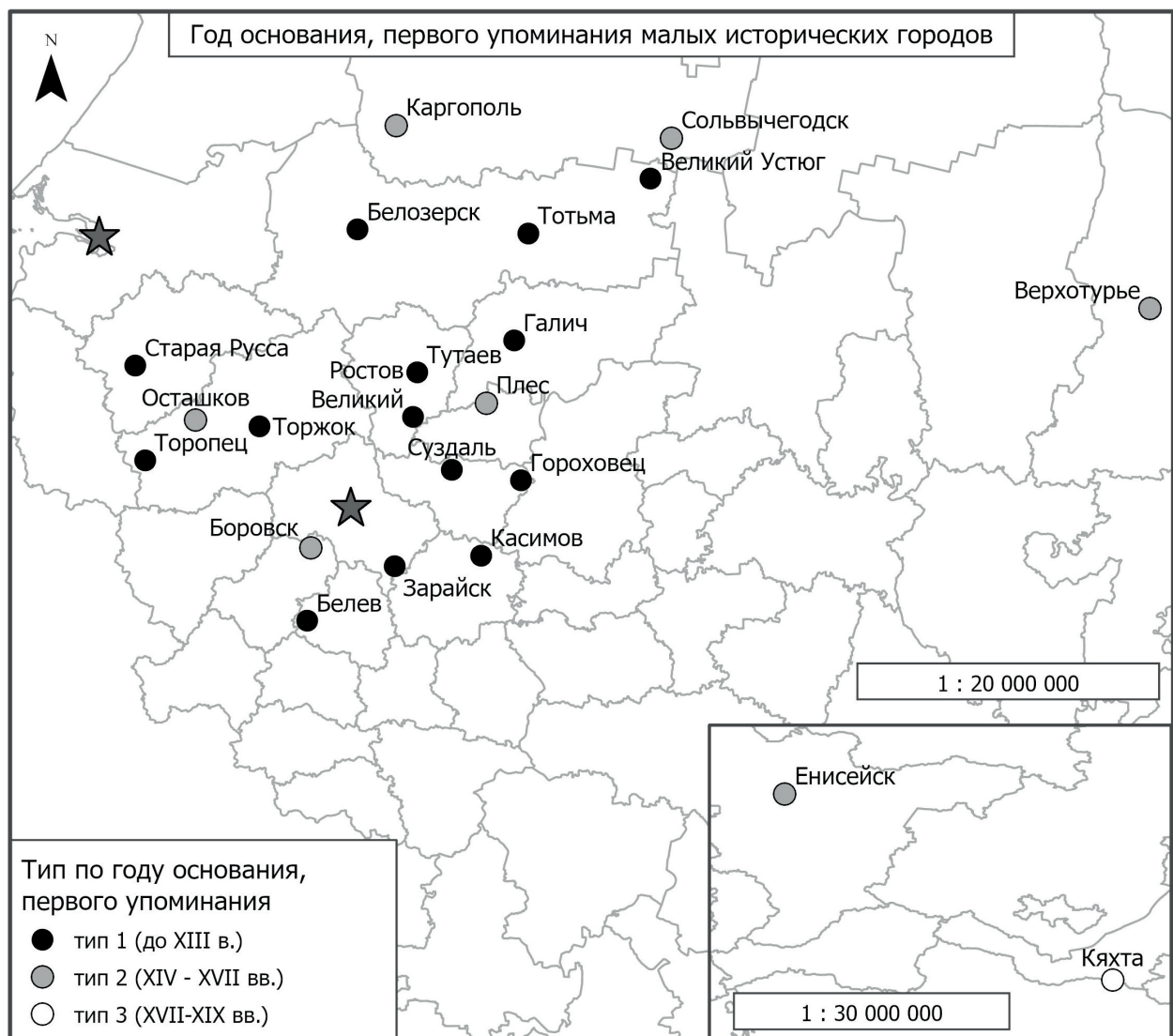


Рис. 1 / Fig. 1. Год основания, упоминания официальных малых исторических городов / The Year of foundation, mention of small historical cities

Источник: составлено автором

Помимо официальных исторических населённых пунктов, выделяют ещё неофициальные. К ним относятся города, посёлки городского типа и сельские населённые пункты, обладающие существенным историко-культурным потенциалом, значимой ролью в отечественной истории, но не входящие в официальный перечень исторических поселений федерального значения. Часть из них является историческими поселениями регионального значения, значительно опережая при этом и по роли в истории, и по насыщенности ОКН поселения, включённые в федеральный перечень. Часть вообще не имеет статуса исторических поселений. Их можно рассматривать как первоочередных претендентов на включение в федеральный перечень.

Среди неофициальных малых исторических городов России: Переславль-Залес-

ский, Вязьма, Козельск, Бахчисарай и др. По аналогии с работой В. П. Семёнова-Тян-Шанского официальные и неофициальные исторические населённые пункты можно отнести к истинным историческим населённым пунктам [25]. При этом истинный исторический город должен, с одной стороны, насыщен объектами культурного наследия, а с другой, быть участником исторического процесса, т. е. играть заметную роль в отечественной истории хотя бы в один период. При расчёте показателей, отражающих вклад города в историю и насыщенность города ОКН, использовалась экспоненциальная шкала. Представление о количестве ОКН федерального значения на июнь 2025 г. в малых официальных исторических городах федерального значения даёт рисунок 2. Не менее важна для исторического поселения

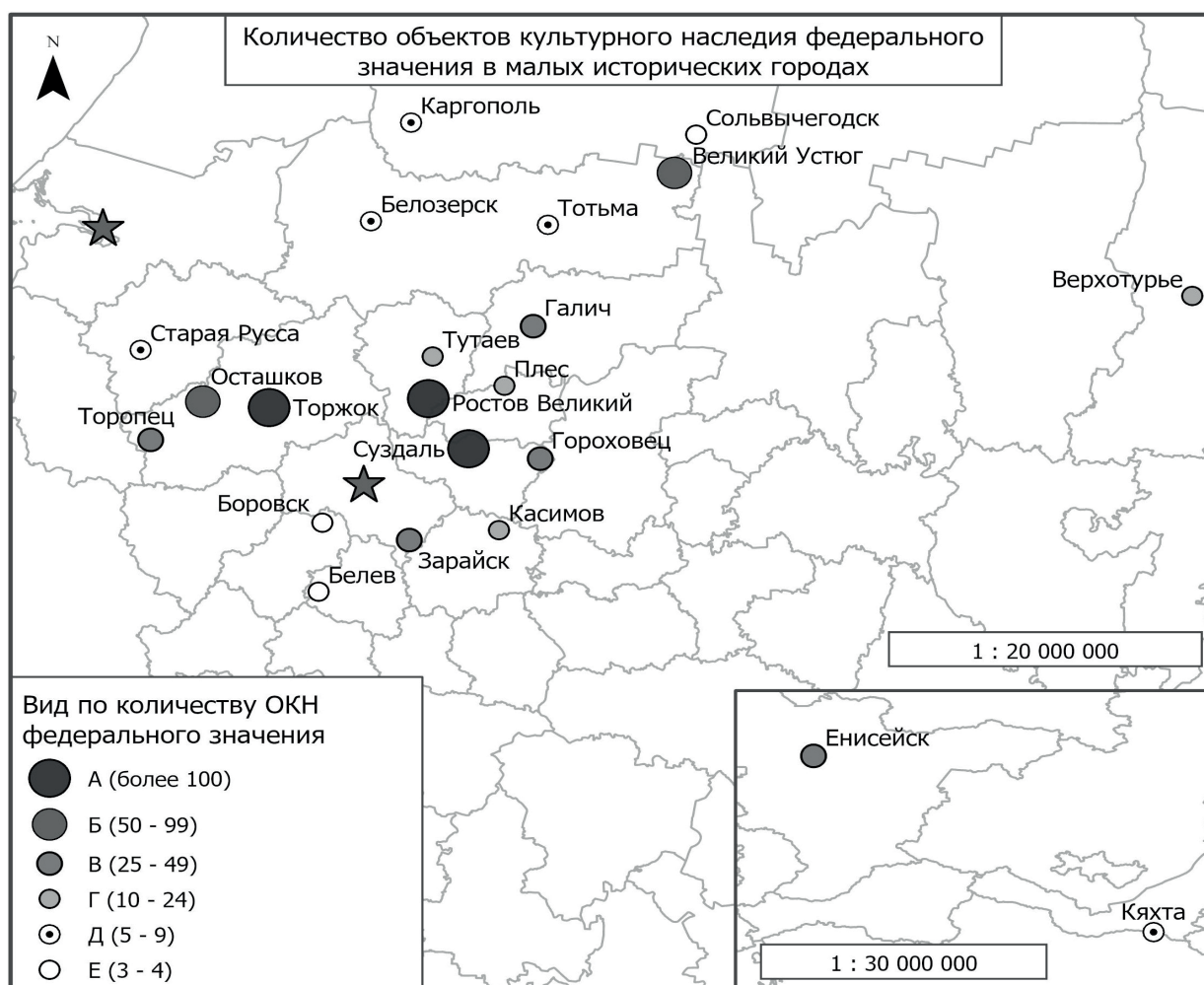


Рис. 2 / Fig. 2. Количество ОКН федерального значения в малых исторических городах / Number of federal OKNs in small historical cities

Источник: составлено автором

и роль в истории. Представление о роли в российской истории официальных малых исторических городов федерального значения даёт рисунок 3.

Поскольку исторические поселения существенно отличаются по историко-культурному потенциалу, роли в истории, то целесообразно различать исторические поселения по значимости. Для исторических городов мирового значения, в рамках данного исследования, индекс «историчности» должен быть от 17 до 20 баллов. Для исторических городов наднационального (международного) значения подобный индекс от 13 до 16. Исторические города национального значения имеют

индекс «историчности» от 9 до 12, межрегионального значения – от 5 до 8. Данную иерархию исторических населённых пунктов можно распространять как на официальные, так и на неофициальные исторические населённые пункты. Вместе с тем, наличие в населённом пункте объектов Всемирного культурного наследия позволяет его отнести к историческим поселениям мирового значения независимо от величины индекса историчности. Аналогично, вне значения индекса историчности, при решении региональных властей о данном статусе, населённый пункт обретает статус исторического поселения регионального значения.

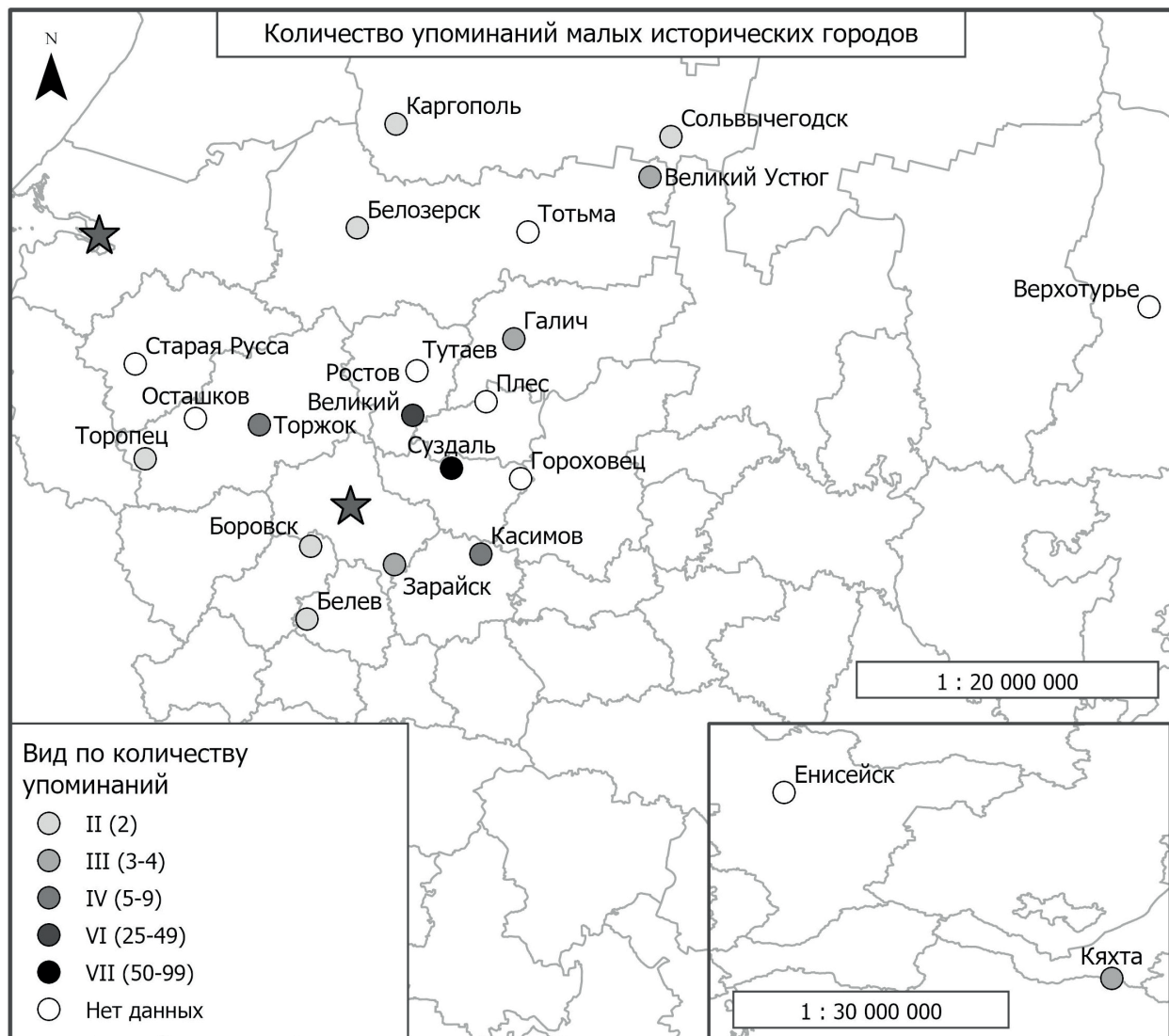


Рис. 3 / Fig. 3. Количество упоминаний малых исторических городов / Number of mentions of small historic towns

Источник: составлено автором на основе контент-анализа школьных учебников Истории России (6–11 класс) 2025 г.

Процесс накопления исторической памяти начинается задолго до основания города и связан с историей данного места. Когда-то на месте многих ныне существующих городов располагались сельские поселения, монастыри, крепости или остроги [3]. Самыми молодыми, получившие городской статус населёнными пунктами в Республике Беларусь являются Островец, Бельнич и Круглое.

Островец, ставший городом в 2012 г. и известный как «город белорусских атомщиков», был основан ещё во второй половине XVI в. До наших дней дошли костёл Космы и Дамиана, построенный во второй половине XVIII в., костёл Воздвижения начала XX в. В культурном ландшафте Островецкого района католические и православные храмы сочетаются с Белорусской АЭС, которая находится к 18 км от районного центра. Строительство её началось в 2011, а завершилось в 2023 г.

Бельнич, ставший городом в ноябре 2017 г., известен с XVI в. В прошлом они имели городской статус. В Бельничих с начала XVII в. действовал известный кармелитский монастырь. Ставшие российскими городами в 2024 г. бывшие сельские населённые пункты Шелковская, Наурская, Серноводское, основанные в XVII–XIX вв., играли в прошлом значимую роль как часть Кавказской укрепленной линии. За последние 30 лет часть их материального культурного наследия XVIII – начала XX вв. утрачена. Главными доминантами культурного ландшафта стали многочисленные мечети, большая часть из которых построена в XXI в. Произошла смена историко-культурного кода.

Как уже отмечалось, по данной методике индекс «историчности» варьирует от 1 до 20. Ни один из малых исторических городов Союзного государства не набрал максимального значения индекса «историчности» (табл. 1–2).

Таблица 1 / Table 1

Индексы историчности, насыщенность объектами культурного наследия федерального значения, и возраст официальных исторических малых поселений России / Indices of historicity, saturation with objects of cultural heritage of federal significance, and the age of official historical small settlements of Russia

Историческое поселение	Количество упоминаний (Роль в истории)	Количество ОКН федерального значения	Год основания, первого упоминания	Интегральный «исторический индекс»
1. Белёв	2	4	XII	2+3+4=9
2. Белозерск	2	6	IX	2+4+4=10
3. Боровск	2	4	XIV	2+3+3=8
4. Великий Устюг	4	52	XIII	3+7+4=14
5. Верхотурье	-	24	XVI	0+5+3=8
6. Галич	4	29	XIII	3+6+4=13
7. Гороховец	-	36	XIII	0+6+4=10
8. Енисейск	-	32	XVII	0+6+3=9
9. Зарайск	3	26	XII	3+6+4=13
10. Касимов	6	14	XII	4+5+4=13
11. Каргополь	2	9	XV	2+4+3=9
12. Кяхта	4	8	XVIII	3+4+2=9
13. Осташков	-	87	XIV	0+7+3=10
14. Плес	-	10	XV	0+5+3=8
15. Ростов Великий	39	104	IX	6+8+4=18
16. Сольвычегодск	2	4	XIV	2+3+3=8
17. Старая Русса	-	9	XII	0+4+4=8
18. Суздаль	72	106	XI	7+8+4=19
19. Торжок	7	108	XII	4+8+4=16
20. Торопец	2	42	XI	2+6+4=12
21. Тотьма	-	8	XII	0+4+4=8
22. Тутаев	-	13	XIII	0+5+4=9

Источник: составлено автором

Таблица 2 / Table 2

Индексы «историчности», насыщенность объектами культурного наследия федерального значения, и возраст неофициальных исторических малых поселений России / Indices of "historicity," saturation with objects of cultural heritage of federal significance, and the age of unofficial historical small settlements in Russia/

Исторические поселения	Количество упоминаний. / Роль в истории	Количество ОКН федерального значения	Основание. Первое упоминание. Век. (возраст)	Индекс «историчности»
Переславль-Залесский	13	45	XII	15 Б
Углич	11	27	X	15 Б
Вязьма	15	24	XIII	14 Б
Козельск	9	38	XII	14 Б
Бахчисарай	8	35	XVI	13 Б
Волоколамск	13	7	XII	13 Б
Шлиссельбург	11	7	XIV	12 Б
Ивангород	8	6	XV	11 В
Ржев	18	2	XI	11 В

Источник: составлено автором

Таким образом, все официальные исторические малые города Российской Федерации и Республики Беларусь подтвердили статус «исторических поселений». Судя по значению индекса «историчности», к историческим городам мирового значения из малых городов России относятся только Суздаль и Ростов Великий. Суздаль, как город, в котором находится объект Всемирного культурного наследия – Архитектурный ансамбль Троице-Сергиевой лавры вошёл бы в перечень исторических малых городов и с меньшим значением индекса. Наднациональное значение среди исторических малых городов России имеют Торжок, Великий Устюг, Галич, Зарайск и Касимов. Историческими малыми городами национального значения, с индексом «историчности» (9–12 баллов), входящими в третий «квартиль» из перечня Министерства культуры Российской Федерации являются Белев, Белозерск, Гороховец, Каргополь, Кяхта, Осташков, Торопец, Тутаев. Оставшиеся официальные исторические малые города, со значением индекса историчности (5–8 баллов) входят в четвёртый «квартиль» и являются историческими городами межрегионального значения. Из официальных исторических малых городов в данную группу входят: Тотьма, Сольвычегодск, Старая Русса. Боровск, Плёс.

А какова ситуация с индексом «историчности» у неофициальных исторических

городов? В таблице 2 представлена лишь небольшая часть неофициальных исторических малых городов, но отдельные из них по значению индекса «историчности» превосходят официальные исторические города. Так, Вязьма, Бахчисарай, Волоколамск, Углич, Козельск и Переславль Залесский, судя по расчётам, достигли уровня исторического города наднационального значения. К историческим городам национального значения из указанного списка относятся Ивангород и Ржев, сильно пострадавший в годы Великой отечественной войны. Шлиссельбург в силу того, что его центральная часть и крепость Орешек находятся в перечне объектов Всемирного культурного наследия в составе объекта «Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним комплексы памятников», входит в группу исторических малых городов мирового значения.

Как уже отмечалось, в Беларуси после 1980 г. список исторических поселений (городов) не составлялся. Однако, судя по насыщенности историко-культурными ценностями мирового, международного и национального значения, а также роли в истории, целый ряд белорусских малых городов, соответствуют критериям исторических поселений мирового (Несвиж) и национального (Глубокое, Быхов, Заславль, Мстиславль и др.) значения (рис. 4 и 5).



Рис. 4 / Fig. 4. Число историко-культурных ценностей разного значения в исторических городах Белоруссии / The number of historical and cultural values of different significance in the historical cities of Belarus

Источник: составлено автором

Историческим городам присуща иерархия. В 1980 г., когда для всей территории СССР были выделены города по ценности архитектурно-градостроительного наследия, к классу «А» из малых городов Белоруссии были отнесены только Несвиж, Слоним, Новогрудок, к классу «Б»: Кобрин, Мстиславль, Поставы и пгт Мир. В настоящее время, поскольку к малым в Республике Беларусь относятся города с численностью населения менее 20 тыс. чел., то Кобрин, Новогрудок, Слоним перешли в категорию средних городов. Посёлок Мир не имеет статуса города.

Что касается российских городов, то малыми в 1980 г. из 115 российских исторических городов являлись 66. Из них по

ценности архитектурно-градостроительного наследия к классу «А» относилось 18, к классу «Б» — 31 и к классу «В» — 17. Через 45 лет к историческим поселениям федерального значения в России относятся 22 малых города, причём Кяхта и Плёт не входили в 1980 г. ни в один из классов. Упоминаемые в классе «А» в 1980 г. Ивановгород, Кириллов, Переславль-Залесский, Печеры, Старица, Углич и Усолье не входят в современный перечень официальных исторических поселений федерального значения.

В. Р. Крогиус [15] в России к историческим городам мирового значения относил 12, из которых лишь 2 (Суздаль и Ростов) являлись малыми. К историческим



Рис. 5 / Fig. 5. Число упоминаний исторических городов в учебниках по истории Белоруссии / The number of references to historical cities in textbooks on the history of Belarus

Источник: составлено автором

городам России национального значения по сводному индексу градостроительной ценности наследия он относил 55, из которых малыми являлись 23 (Белозерск, Великий Устюг, Вязьма, Гороховец, Енисейск, Кашин, Старица, Торжок, Устюжна, Чердынь и ряд других). Большая часть малых исторических городов по сводному показателю градостроительной ценности наследия (по В. Р. Крогиусу) имели региональное или даже местное значение [15].

Наша иерархия несколько отличается от предыдущих, хотя имеются и общие черты. Исторические города мирового значения — группа «А», исторические города наднационального значения — группа «Б», группы «В» и «Г» — исторические го-

рода национального и межрегионального значения.

В Союзном государстве к историческим городам мирового значения (группа «А») в первую очередь необходимо включать города, обладающие объектами Всемирного культурного наследия. В Российской Федерации это Суздаль, Булгар, в окрестностях которого расположен уникальный историко-археологический комплекс, а также Шлиссельбург. Из белорусских малых городов к городам мирового уровня относятся только Несвиж, замок которого с 2005 г. входит в число объектов Всемирного культурного наследия.

Статус «исторического поселения» (исторического города) отражает ситуа-

цию на конкретный период времени. Этот статус могут приобретать или его лишаться отдельные населённые пункты. Из всех современных малых городов Союзного государства только 2 – Суздаль и Ростов Великий – присутствовали во всех официальных перечнях исторических поселений с 1949 г. по настоящее время. Города могут как повышать свой исторический статус, так и понижать. Для учёта роли населённого пункта в истории можно использовать метод возрастных срезов. Каждый период истории имеет собственную картину исторических поселений.

Учитывая перспективу развития Союзного государства целесообразно выделить в качестве особого типа исторические города союзного (наднационального) значения. Из российских малых официальных исторических городов статус исторического города наднационального (союзного) значения помимо Суздаля и Ростова Великого, имеют Великий Устюг, Торжок, Галич, Зарайск, Касимов. Из неофициальных исторических городов в этот список можно включить Переславль-Залесский, который неоднократно входил в перечень исторических городов. В списке истинных исторических малых городов наднационального значения по нашим расчётам Козельск, Углич, Вязьма, Волоколамск, Бахчисарай.

Ни один малый город Республики Беларусь не соответствует критериям исторического города наднационального значения. Однако если руководствоваться российскими критериями численности населения малого города, то в Беларуси этим требованиям будут соответствовать Слоним и Новогрудок Гродненской области. Из малых городов Беларуси максимальной «историчностью» обладают Мстиславль, Туров, Глубокое. Несколько меньше показатели Постав, Кричева, Черческа и Быхова. Однако значение индекса «историчности» не позволяет включить эти города в группу исторических городов наднационального значения.

В августе 2025 г. в России насчитывалось 22 официальных исторических малых города федерального значения. Данные города распределены крайне неравномерно по федеральным округам страны. Больше

половины из них (13 или 59%) расположены в Центральном федеральном округе. Чуть больше четверти (6 или 27%) приходится на Северо-Западный федеральный округ. По одному официальному историческому малому городу имеется в УФО, СФО и ДФО. Количество исторических городов в отдельных регионах Российской Федерации отражает процессы пространственного становления российского государства и развития урбанизации. Самым восточным и самым южным историческим малым городом (официально) России является Кяхта в Бурятии, самым западным – Старая Русса в Новгородской, самым северным – Каргополь в Архангельской области. При изучении исторических городов большие возможности открываются при использовании метода временных срезов, который позволяет выявить роль каждого города в различные периоды времени, связать изменение роли города с изменением географического положения. Каждый город сразу после возникновения, становится участником «исторического марафона», где его ожидают взлёты и падения, успех и неудачи в развитии.

О КУЛЬТУРНОМ ЛАНДШАФТЕ МАЛОГО ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА: АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Представление о том, что такое культурный ландшафт, по Е. Ю. Колбовскому, зависит от того, для каких целей и какими средствами мы пытаемся исследовать ту самую часть реальности, каковая соответствует этому понятию [14].

По мнению Ю. Г. Симонова [26], первым из отечественных географов концепцию культурных ландшафтов в 1946 г. представил Ю. Г. Саушкин. В первом выпуске «Вопросы географии» была опубликована его статья, которая так и называлась «Культурный ландшафт». В статье отмечалось: «К наиболее ярко выраженным культурным ландшафтам относятся ландшафты городов» [24]. И далее: «Современный нам культурный ландшафт является сложным историческим образованием, в котором, при внимательном изучении, можно различить следы прошлых эпох»

[24]. Вместе с тем, культурный ландшафт у Ю. Г. Саушкина, скорее антропогенный, несколько отличный от современного представления о культурном ландшафте. Несколько иного мнения придерживается В. Н. Стрелецкий, указав, что впервые понятие «культурный ландшафт» появляется в работах Л. С. Берга⁵.

По мере того, как термин «ландшафт» стал распространяться на различные сферы деятельности и появились «образовательные ландшафты», «индустриальные ландшафты», «религиозные ландшафты», «литературные ландшафты» и др., сложилась ситуация, когда представления о культурном ландшафте стали отличаться в разных областях знания. Проблемы культурного ландшафта носят междисциплинарный характер. Об этом свидетельствуют сотни публикаций архитекторов, антропологов, культурологов, историков, географов, представителей других наук. Что касается географического подхода, то можно свидетельствовать, что в географической науке сформировалось особое направление, связанное с исследованием культурного ландшафта. Но в рамках этого научного направления имеются отличия в подходах к изучению культурного ландшафта, хотя географы находят при этом единый язык. Несмотря на большое количество публикаций, по мнению В. Л. Каганского, особо ощутим недостаток работ, рассматривающих культурный ландшафт страны как целое [9]. И хотя это было им написано в 2012 г., дефицит широкомасштабных исследований культурных ландшафтов на страновом уровне не преодолен.

Среди множества географов-исследователей культурного ландшафта, в первую очередь, необходимо отметить труды Ю. А. Веденина, чьи многочисленные статьи и монографии стали «настоющими». В 1990 г. выходит его первая фундаментальная статья, в которой культурный ландшафт рассматривается как один из главных объектов географии [2]. В последующих его публикациях проблема культурного ландшафта получила всестороннее развитие. Как отмечает Ю. А. Веде-

⁵ Стрелецкий В. Н. Культурный ландшафт // Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия».

нин, «культурный ландшафт это «сложный территориальный комплекс, являющийся структурным элементом культурного пространства. Его формирование — это результат взаимодействия человека и природы. В качестве компонентов культурного ландшафта выступают: естественная и преобразованная человеком природа, материальные и нематериальные творения человеческой деятельности, в том числе и разнообразные технологии — социальные, хозяйственные и культурные, а также образы ландшафта и его отдельных фрагментов, сформировавшиеся в научной, художественной, религиозной и обыденной среде [4].

По мнению Ю. А. Веденина «одним из значимых факторов формирования культурного ландшафта является искусство, наполняющее ландшафт духовными смыслами, художественными образами, ассоциативными представлениями и эмоциями. Для полного раскрытия культурного ландшафта явно недостаточно детального описания, топографических схем, фотографий и других методов. Необходимо понять и почувствовать «магию ландшафта», его неповторимое очарование и способность вызывать восторг и душевный трепет» [7]. Важным достижением Ю. А. Веденина стало распространение культурно-ландшафтного подхода на изучение исторических городов [5]. Для любой области научного знания особый интерес представляют вопросы становления и развития учения, с акцентом на особенностях развития теории.

В части учения о культурном ландшафте подобные аспекты рассмотрены в статье М. Е. Кулешовой и В. Н. Стрелецкого [16]. Среди наиболее значимых географических публикаций по проблемам культурного ландшафта — монографии В. Н. Калущкова [12], М. В. Рагулиной [22], сборники статей В. Л. Каганского [10] и Б. Б. Родомана [23]. Настольной книгой для изучающих культурные ландшафты, стала коллективная монография под ред. Ю. А. Веденина и М. Е. Кулешовой [17]. Особо следует отметить значимые труды по культурным ландшафтам отдельных регионов [18; 27; 28]. Что касается исторических поселений, то интерес

представляет монография В. В. Бондаря и О. Н. Марковой о культурных ландшафтах исторических поселений Северо-Западного Кавказа. Авторы делают вывод, что историко-культурный ландшафт города определяет его лицо и является результатом исторического развития, аккумулируя в элементах ландшафта следы времени [1]. Из статей по культурным ландшафтам малых исторических городов можно выделить работу Л. Н. Мазур. В статье сделан акцент на особой роли музеев в историко-культурном и меморативном ландшафте малого города [21].

Поскольку проблемы городского культурного ландшафта носят межпредметный характер, то проблематика культурного ландшафта способствовала междисциплинарному синтезу при его изучении. Некий итог в части изучения основных направлений исследования культурного ландшафта в России и за рубежом недавно подвёл В. Н. Стрелецкий, в статье на портале Большой российской энциклопедии. Культурный ландшафт, по его мнению, это географический ландшафт, освоенный и преобразованный людьми в результате целенаправленной деятельности. Понятие культурного ландшафта многозначно, его интерпретации в разных дисциплинах и научных школах довольно сильно различаются⁶.

В. Н. Калуцков различал «в соответствии с двумя типами местных сообществ, 2 основных типа культурных ландшафтов – городские и сельские» [11]. Но российские малые исторические города, в большинстве своём, есть симбиоз сельского и городского, образуя единую сельско-городскую территориальную общность. Более того, само деление населённых пунктов на городские и сельские с каждым годом становится всё более условным. Ни численность населения, ни функции, ни образ жизни уже не являются критерием отнесения их к той или иной категории. Сельские населённые пункты обретают индустриальные функции, а городское сельское хозяйство становится важной от-

раслью специализации для ряда малых городов.

Отмечая особую роль городских культурных ландшафтов, необходимо отметить, что не только Москва, Санкт-Петербург, Минск, Казань, Витебск и другие крупные города стали символами своих стран. Важное место в качестве своеобразных культурных брендов занимают малые города: Суздаль, Плёт, Ростов Великий, Торжок и многие другие – в Российской Федерации, Несвиж, Мстиславль, Глубокое и др. – в Республике Беларусь.

У малых городов есть немало конкурентных преимуществ перед крупными городами. В них, как правило, меньше нарушается гармония с природой. Природа и окружает город, и свободно в него входит [20]. Культурный ландшафт малого исторического города есть результат сотворчества человека и природы. Живописность городского и окружающего сельского ландшафта значит не меньше, чем насыщенность памятниками культуры. В этом отношении трудно переоценить многие малые города.

Вдохновляющие городские ландшафты, соединяющие природную и историко-культурную среду, делают более привлекательными для туристов такие малые города как Ростов Великий, Плёт, Белозерск, Тотму и др. Рельеф, поверхностные воды, растительность являются частью городской среды и городского культурного ландшафта, придают им особую эстетическую ценность.

Но культурный ландшафт не ограничивается материальными объектами. Значимое место в культурном ландшафте занимает изобразительное искусство, литература, музыка, региональные и городские традиции, даже кухня. Неотъемлемой частью культурного ландшафта Белёва является пастила, Торжка – пожарские котлеты, Вязьмы – пряники, Углича и Пошехонья – сыры. Особенностью Великого Устюга является наличие основной резиденции Деда Мороза, и город, прежде всего, ассоциируется с родиной Деда Мороза. Каргополь ассоциируется с игрушкой, Ростов Великий – не только с финифтью, но и кинофильмом «Иван Васильевич меняет профессию».

⁶ Стрелецкий В. Н. Культурный ландшафт // Большая российская энциклопедия: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3SzEUU> (дата обращения: 25.09.2025).

Важную роль в организации историко-культурного ландшафта малого города играет сложившаяся социокультурная инфраструктура — дворцы культуры, музеи, стадионы, художественные и музыкальные школы, стадионы. В ряде малых городов сохранились театры.

Доминирующее положение в культурном ландшафте занимают наибольшие по площади и высоте объекты: монастыри, замки, храмы, парки, архитектурные ансамбли площадей, транспортные узлы, учебные заведения, промышленные предприятия. Особое место в культурном ландшафте малых исторических городов может занимать жанровая скульптура и памятники, особенно известным людям, чья жизнь была связана с данным населённым пунктом. Подобные скульптуры становятся важнейшими достопримечательностями и насыщают города исторической памятью.

Как уже выше отмечалось, важнейшими природными элементами культурного ландшафта являются рельеф, поверхностные воды и растительность. Практически все малые исторические города Союзного государства возникли как часть речной цивилизации. Реки и озёра, на берегу которых возникли города, придают им особую живописность, благодаря им города в своё время обрели величие и вошли в историю.

Это не только источники водоснабжения, дополнительный источник пропитания, но и дороги, связывающие с другими городами. Для Ростова Великого — это оз. Неро, для Осташкова — оз. Селигер, для Плёса, Тутаева — р. Волга, для Касимова — р. Ока, Гороховца — р. Клязьма, для Тотьмы — р. Сухона, для Боровска — р. Протва, для Быхова — р. Днепр.

Для городов с расчленённым рельефом распространено клише о «городе на семи холмах». Практически все малые исторические города расположены в пределах лесной зоны, и лишь Кяхта — в зоне степей. Кяхта единственный малый исторический город России, для которого в качестве главного драйвера для возникновения и развития выступили сухопутные пути. Кяхта — город военных, таможенников, торговцев. Его рождение связано с приграничным положением. Через город про-

ходил один из важнейших чайных путей из Китая в Россию и Европу.

Города развивались как ядра духовности, просвещения. И здесь особенно велика роль монастырей. Практически невозможно представить Суздаль без Спасо-Евфимиева, Покровского, Александровского и ряда других монастырей, Боровск — без Панфутьевского, Гороховец — без Свято-Троице-Никольского, Енисейск — без Спасо-Преображенского, Ростов Великий — без Спасо-Яковлевского, Толочин — без Свято-Покровского православных монастырей; Белыничи, Дубровно, Берёзу — без своих католических монастырей.

Часть малых городов обрела городской статус благодаря преобразованию монастырских слобод в города. В качестве важнейших элементов культурных ландшафтов всех исторических малых городов выступали и выступают храмы, которым часто отводилась роль городской доминанты. Трудно представить Верхотурье без Крестовоздвиженского собора, Галич — без Введенского кафедрального собора, Торопец — без Корсунского собора, Славгород Могилёвской области — без ансамбля церкви Рождества Святой Богородицы, Глубокое Витебской области — без Римско-католического костёла Святой Троицы, Мстиславль Могилёвской области — без костёла Пресвятой Девы Марии, Пружаны Брестской области — без костёла Вознесения Святой Девы Марии. Именно храмы, судя по видам достопримечательностей на сайтах городов, чаще всего являются «визитной карточкой» исторических городов. Из 22 малых официальных исторических малых городов России в 20, в качестве их главной архитектурной достопримечательности указаны храмы.

Исторические города обладают особой культурной многослойностью, когда на небольшой территории встречаются разные эпохи. В этом их уникальность как частей культурного ландшафта страны. И хотя Смоленск не является малым городом, но в нём есть немало удивительных мест, где XVI в. в виде крепостной стены встречается с XIX в. в облике памятника героям 1812 г., а также XX в., который представлен вечным огнём и Аллеей городов героев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, культурные ландшафты малых исторических городов, как и культурные ландшафты сельской местности, можно рассматривать как традиционные культурные ландшафты России.

Разнообразие природных, культурных, исторических и социально-экономических особенностей наложили отпечаток на содержание и состояние культурных ландшафтов малых городов. Одно дело — это культурные ландшафты Каргополя, другое — Торжка, Зарайска, Енисейска или Кяхты. Каждый малый город с ближайшим окружением и есть тот культурный ландшафт, который вдохновляет и выступает важнейшим аттрактором для туристов. Конечно, есть туристы, желающие познакомиться с одним зданием или одним памятником истории, но абсолютное большинство в качестве объекта рассматривают пространственную общность под названием город, у которого есть своя «душа». В малых городах, в отличие от крупных, легче почувствовать особую «магию культурного ландшафта». Плёс и Торжок, Глубокое и Несвиж, Осташков и Сольвычегодск обладают исключительной неповторимой привлекательностью.

Использование принципов и методов культурно-ландшафтного подхода позволяет обратить особое внимание на связи городского пространства с природным ландшафтом, с памятью о важнейших исторических событиях и выдающихся личностях, жизнь и творчество которых были связаны с этим городом, учесть традиционные функции города, которые могли бы быть использованы в сфере туризма [5]. Турист желает увидеть не только отдельные здания, улицы, музеи, природные достопримечательности, он желает познакомиться с местной мифологией, литературой, музыкальным и изобразительным искусством, именами известных горожан.

Понятие «культурный ландшафт» шире используемого В. П. Семёновым-Тян-Шанским понятием «пейзаж», поскольку выходит за рамки того, что мы видим. Для него больше подходит известное высказывание Н. Н. Баранского о географии «от геологии до идеологии». Культурный

ландшафт малого города также охватывает природу, материальную и нематериальную культуру. Это образ города, у которого нет границ, который дополняется, расширяется, наполняется новым содержанием. Вне зависимости от размеров каждый город — это единство природной и культурной среды. Познать город — познать его культурный ландшафт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь В. В., Маркова О. Н. Культурные ландшафты исторических поселений как особая категория наследия (на материалах Северо-Западного Кавказа). М.: Институт наследия, 2020. 334 с.
2. Веденин Ю. А. Проблемы формирования культурного ландшафта и его изучения // Известия АН СССР. Серия географическая. 1990. № 1. С. 5–17.
3. Веденин Ю. А. Историческая среда в молодых городах // Проблемы расселения: история и современность М.: Ваш выбор. 1997. С. 67–70.
4. Веденин Ю. А. Пути развития культурного ландшафта как объекта наследия // Региональные исследования. 2008. № 4. С. 3–10.
5. Веденин Ю. А. Культурно-ландшафтный подход к изучению, сохранению и развитию исторических городов // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 6. С. 952–960. DOI: 10.31857/S2587556621060157
6. Веденин Ю. А. Принципы и методы изучения, сохранения и развития исторического города в контексте культурно-ландшафтного подхода // Наследие и современность. 2022. № 5. С. 18–36. DOI: 10.52883/2619-0214-2022-5-1-18-36
7. Веденин Ю. А. Роль и место искусства в формировании культурного ландшафта // Туризм и региональное развитие. 2025. № 1. С. 3–12.
8. Долгонок А. А. Исторический город как объект белорусской государственной социокультурной политики / Культура Беларуси: реалии современности: сб. конф. Под ред. А. А. Корбут и др. Минск: БГУКИ, 2019. С. 192–197.
9. Каганский В. Л. Пространственные закономерности культурного ландшафта современной России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2012. 26 с.
10. Каганский В. Л. Культурный ландшафт и советское обитаемое пространство. М.: НЛО, 2001. 576 с.

11. Калуцков В. Н. Этнокультурное ландшафтоведение и концепция культурного ландшафта / Валебный В. В., Иванова А. А., Каганский В. Л. и др. Культурный ландшафт: вопросы теории и методологии исследования. Смоленск: СГУ, 1998. С. 6–13.
12. Калуцков В. Н. Ландшафт в культурной географии. М.: Новый Хронограф, 2008. 320 с.
13. Катровский А. П. Исторические населённые пункты российско-белорусского приграничья: как с ними быть? // Россия и Беларусь: история и культура в прошлом и настоящем. 2023. № 9. С. 100–123.
14. Колбовский Е. Ю. Четыре типа моделей культурного ландшафта в рамках геоинформационного моделирования: задачи, возможности, ограничения // Наследие и современность. 2022. Т. 5. № 4. С. 371–390.
15. Крогиус В. Р. Исторические города России как феномен её культурного наследия: основы идентификации, сводная характеристика, аналитическая выборка. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 310 с.
16. Кулешова М. Е., Стрелецкий В. Н. Формирование и эволюция представлений о культурном ландшафте / В фокусе наследия: сб. Под ред. П. М. Шульгина и др. М.: ИГРАН, 2017. С. 313–329.
17. Культурный ландшафт как объект наследия / под ред. Ю. А. Веденина, М. Е. Кулешовой. М.: Институт наследия; СПб: Дмитрий Буланин, 2004. 620 с.
18. Культурные ландшафты и эколого-туристские маршруты Центрального Кавказа / под ред. О. А. Климановой, Е. Ю. Колбовского. М.: КноРус, 2023. 192 с.
19. Лаппо Г. М. Города на пути в будущее. М.: Мысль, 1987. 236 с.
20. Лаппо Г. М. Города России: взгляд географа. М.: Новый хронограф, 2012. 504 с.
21. Мазур Л. Н. Малые города России: особенности формирования историко-культурного ландшафта / Меморативные ландшафты малых городов России и Польши. Под ред. М. Н. Вандышева и др. Екатеринбург: Уральский ун-т, 2022. С. 20–49.
22. Рагулина М. В. Культурный ландшафт: интегральный взгляд. Ульяновск: Зебра. 2015. 147 с.
23. Родман Б. Б. Культурный ландшафт и судьба России. М.: Директ-медиа, 2023. 488 с.
24. Саушкин Ю. Г. Культурный ландшафт / Вопросы географии. М.: ОГИЗ-Географгиз, 1946. №1. С. 97–106.
25. Семёнов-Тян-Шанский В. П. Город и деревня в Европейской России. Очерк по экономической географии. С-Петербург: Тип. В. Ф. Киршбаума, 1914. 212 с.
26. Симонов Ю. Г. Культурный ландшафт как объект географического анализа / Культурный ландшафт: вопросы теории и методологии исследования. Смоленск: СГУ. 1998, С. 34–44.
27. Шутова Н. И., Капитонов В. И. и др. Историко-культурный ландшафт Камско-Вятского региона. Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН. 2009. 244 с.
28. Ямашкин А. А. Природное и историческое наследие культурного ландшафта Мордовии. Саранск: Мордовский университет, 2008. 162 с.

REFERENCES

1. Bondar V. V., Markova O. N. *Kulturnyye landshafty istoricheskikh poseleniy kak osobaya kategoriya naslediya (na osnove materialov Severo-Zapadnogo Kavkaza)* [Cultural landscapes of historical settlements as a special category of heritage (based on materials from the Northwest Caucasus)]. Moscow: Institute of Heritage Publ., 2020. 334 p.
2. Vedenin Yu. A. [Problems of the formation of the cultural landscape and its study]. In: *Vestnik Akademii nauk SSSR. Geograficheskaya seriya* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geographical series], 1990, no. 1, pp. 5–17.
3. Vedenin Yu. A. [Historical environment in young cities]. In: [Problems of settlement: history and modernity]. Moscow: Vash vybor Publ., 1997, pp. 67–70.
4. Vedenin Yu. A. [Paths of development of the cultural landscape as a heritage site]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional studies], 2008, no. 4, pp. 3–10.
5. Vedenin Yu. A. [Cultural-landscape approach to the study, preservation and development of historic cities]. In: *Izvestiya RAN. Geograficheskaya seriya* [Izvestiya RAS. Geographical series], 2021, vol. 85, no. 6, pp. 952–960. DOI: 10.31857/S2587556621060157
6. Vedenin Yu. A. [Principles and methods of studying, preserving and developing a historic city in the context of the cultural-landscape approach]. In: *Naslediye i sovremennost* [Heritage and Modernity], 2022, no. 5, pp. 18–36. DOI: 10.52883/2619-0214-2022-5-1-18-36
7. Vedenin Yu. A. [The role and place of art in shaping the cultural landscape]. In: *Turizm i regionalnoye razvitiye* [Tourism and regional development], 2025, no. 1, pp. 3–12.
8. Dolzhonok A. A. [The Historical City as an Object of Belarusian State Sociocultural Policy]. In: Korbut A. A. et al., eds. *Kultura Belarusi: realii sovremennosti* [The Culture of Belarus: Realities of Our Time: Collection of Papers]. Minsk: BSUKI Publ., 2019, pp. 192–197.

9. Kagansky V. L. *Prostranstvennyye zakonomernosti kulturnogo landshafta sovremennoy Rossii: avtoref. kand. geogr. nauk* [Spatial Patterns of the Cultural Landscape of Contemporary Russia: abstract of Cand. Sci. thesis in Geographical sciences.]. Moscow, 2012. 26 p.
10. Kagansky V. L. *Kulturnyy landshaft i sovetskoye zhiloye prostranstvo* [Cultural Landscape and Soviet Habitable Space]. Moscow: NLO Publ., 2001. 576 p.
11. Kalutskov V. N. [Ethnocultural Landscape Studies and the Concept of Cultural Landscape]. In: Valebny V. V., Ivanova A. A., Kagansky V. L., et al. *Kulturnyy landshaft: teoreticheskiye i metodologicheskiye problemy* [Cultural Landscape: Theoretical and Methodological Issues]. Smolensk: Saratov State University Publ., 1998, pp. 6–13.
12. Kalutskov V. N. *Peyzazh v kulturnoy geografii* [Landscape in Cultural Geography]. Moscow: Novy Khronograf Publ., 2008. 320 p.
13. Katrovsky A. P. [Historical settlements of the Russian-Belarusian border region: what to do with them?]. In: *Rossiya i Belarus': istoriya i kul'tura v proshlom i nastoyashchem* [Russia and Belarus: history and culture in the past and present], 2023, no. 9, pp. 100–123.
14. Kolbovsky E. Yu. [Four types of cultural landscape models in the framework of geoinformation modeling: tasks, possibilities, limitations]. In: *Naslediye i sovremennost* [Heritage and Modernity], 2022, vol. 5, no. 4, pp. 371–390.
15. Krogus V. R. *Istoricheskiye goroda Rossii kak fenomen yeye kul'turnogo naslediya: osnovy identifikatsii, obobshchayushchiye kharakteristiki, analiticheskaya vyborka* [Historical cities of Russia as a phenomenon of its cultural heritage: basics of identification, summary characteristics, analytical sample]. Moscow: Progress-Tradition Publ., 2009. 310 p.
16. Kuleshova M. E., Streletsky V. N. [Formation and evolution of ideas about the cultural landscape]. In: Shulgin P. M. et al, eds. *V tsentre vnimaniya naslediya* [In focus of heritage]. Moscow: IGRAN Publ., 2017, pp. 313–329.
17. Vedenin Yu. A., Kuleshova M. E., eds. *Kulturnyy landshaft kak ob'yekt naslediya* [Cultural Landscape as a Heritage Site]. Moscow: Institute of Heritage; St. Petersburg: Dmitry Bulanin, 2004. 620 p.
18. Klimanova O. A., Kolbovsky E. Yu., eds. *Kulturnyye landshafty i ekoturistskiye marshruty Tsentral'nogo Kavkaza* [Cultural Landscapes and Eco-Tourist Routes of the Central Caucasus]. Moscow: KnoRus Publ., 2023. 192 p.
19. Lappo G. M. *Goroda na puti v budushcheye* [Cities on the Path to the Future]. Moscow: Mysl Publ., 1987. 236 p.
20. Lappo G. M. *Goroda Rossii: vzglyad geografa* [Cities of Russia: A Geographer's View]. Moscow: Novy Khronograf Publ., 2012. 504 p.
21. Mazur L. N. [Small Towns of Russia: Features of Formation of the Historical and Cultural Landscape]. In: Vandyshchev M. N., et al., eds. *Memorialnyye landshafty malykh gorodov Rossii i Polshi* [Memorial Landscapes of Small Towns of Russia and Poland]. Yekaterinburg: Ural University Publ., 2022, pp. 20–49.
22. Ragulina M. V. *Kulturnyy landshaft: tselostnyy vzglyad* [Cultural Landscape: An Integral View]. Ulyanovsk: Zebra Publ., 2015. 147 p.
23. Rodoman B. B. *Kulturnyy landshaft i sudba Rossii* [Cultural Landscape and the Fate of Russia]. Moscow: Direct-Media Publ., 2023. 488 p.
24. Saushkin Yu. G. [Cultural Landscape]. In: *Voprosy Georgiya* [Voprosy Georgii], Moscow: OGIz-Geografiz, 1946, no. 1, pp. 97–106.
25. Semenov-Tyan-Shansky V. P. *Gorod i selo v russkikh primerakh. Ocherk ekonomicheskoy geografii* [City and Village in Russian Examples. Essay on Economic Geography]. St. Petersburg: V. F. Kirshbaum Publ. House, 1914. 212 p.
26. Simonov Yu. G. [Cultural Landscape as an Object of Geographical Analysis]. In: *Kulturnyy landshaft: Teoretiko-metodologicheskiye voprosy issledovaniya* [Cultural Landscape: Theoretical and Methodological Issues of Research]. Smolensk: Saratov State University, 1998, pp. 34–44.
27. Shutova N. I., Kapitonov V. I., et al. *Istorko-kulturnyy landshaft Kamo-Vyatskogo regiona* [Historical and Cultural Landscape of the Kama-Vyatka Region]. Izhevsk: UIIAL UB RAS, 2009. 244 p.
28. Yamashkin A. A. *Prirodno-istoricheskoye naslediye kul'turnogo landshafta Mordovii* [Natural and Historical Heritage of the Cultural Landscape of Mordovia]. Saransk: Mordovian University, 2008. 162 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Катровский Александр Петрович (г. Смоленск) — доктор географических наук, профессор кафедры географии естественно-географического факультета Смоленского государственного университета;

e-mail: alexkatrovsky@mail.ru; ORCID:0000-0001-5954-3833

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander P. Katrovsky (Smolensk) – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Geography, Faculty of Natural Sciences and Geography, Smolensk State University;
e-mail: alexkatrovsky@mail.ru; ORCID:0000-0001-5954-3833

Научная статья
УДК 911.37+338.432
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-127-141

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ МАЛОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА

© СС ВУ Даньшин А. И.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Российская Федерация*

*Смоленский государственный университет
г. Смоленск, Российская Федерация*

e-mail: alivda@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6645-3510

Поступила в редакцию 19.03.2025

После доработки 11.08.2025

Принята к публикации 12.09.2025

Аннотация

Цель. Выявить наличие и значимость функций малых городов для сельского хозяйства, в т. ч. для дополнительного дохода населения, в связи с низкими показателями уровня жизни в регионах с низкими показателями природно-ресурсного потенциала.

Процедура и методы. На основе системных наблюдений и статистической информации, верифицированных в ходе экспедиционных исследований 2023–2024 гг. по малым городам субъектов Федерации приграничных с Республикой Беларусь, изучены современное состояние сельскохозяйственного производства малых городов. Оценены имеющиеся условия состояния и развития сельского хозяйства в городской среде.

Результаты. Выявлены современные функции малого города для малых городов Нечерноземной зоны, находящихся в состоянии постоянной депопуляции населения, при высоких показателях доли граждан пенсионного возраста, низких доходах основной массы горожан. На основе анкетирования определены причины использования личных подсобных участков в городе: традиции, невысокие доходы, необходимость заготовки продукции на зиму в связи с недостаточным ассортиментом в магазинах, помощь детям, живущим в других регионах. На основе верификации данных сельского хозяйства уточнены основные направления сельского хозяйства в группах малых городов, показана связь с агроклиматическими условиями (физико-географическим положением города), сложившимися традициями (например, г. Демидов как важный центр производства огурцов), транспортной доступностью до крупных («столичных») городов. Рассчитана эффективность производства в личных подсобных хозяйствах, показано значение малого города при формировании эффективности.

Теоретическая и/или практическая значимость. Определены факторы, характеризующие влияние малого города на развитие сельского хозяйства как внутри городской черты, так и в пределах окружающих территорий. Установлено, что в период депрессивного развития экономики территорий влияние природно-климатического фактора на дифференциацию специализации городского сельского хозяйства по широте минимально. Показаны возможные тренды развития сельскохозяйственной отрасли в малых городах.

Ключевые слова: городское сельское хозяйство, малый город, специализация сельского хозяйства, факторы развития сельского хозяйства малого города, Нечерноземная зона

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-27-00357 «Малый город в приграничных с Белоруссией регионах России: новая миссия и функции в эпоху неоиндустриальных трансформаций».

Для цитирования:

Даньшин А. И. Сельскохозяйственные функции малого города в условиях низких показателей природно-ресурсного потенциала // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 127–141. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-127-141

AGRICULTURAL FUNCTIONS OF TOWN IN CONDITIONS OF LOW INDICATORS OF NATURAL RESOURCE POTENTIAL

© CC BY A. Danshin

*Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russian Federation*

*Smolensk State University
Smolensk, Russian Federation*

e-mail: alivda@yandex.ru; ORCID 0000-0001-6645-3510

Received 19.03.2025

Revised 11.08.2025

Accepted 12.09.2025

Abstract

Aim. To identify the presence and importance of the functions of small towns for agriculture, including for additional income for the population, due to low living standards in regions with low indicators of natural resource potential.

Methodology. Based on systematic observations and statistical information verified during the 2023–2024 expeditionary studies in small towns of the subjects of the Federation bordering the Republic of Belarus, the current state of agricultural production in small towns has been studied. The available conditions of the state and development of agriculture in the urban environment are assessed.

Results. The modern functions of a small town are revealed for small towns in the Non-Chernozem zone that are in a state of constant depopulation of the population, with high rates of the proportion of citizens of retirement age and low incomes of the majority of citizens. Based on the survey, the reasons for the use of personal utility plots in the city were identified: traditions, low incomes, the need to harvest products for the winter due to an insufficient assortment in stores, and assistance to children living in other regions. Based on the verification of agricultural data, the main directions of agriculture in groups of small towns are clarified; the relationship with agro-climatic conditions (physical and geographical location of the city), established traditions (for example, Demidov as an important center of cucumber production), and transport accessibility to large ("metropolitan") cities is shown. The efficiency of production in private subsidiary farms is calculated; the importance of a small town in the formation of efficiency is shown.

Research implications. The factors characterizing the influence of a small town on the development of agriculture both within the city limits and within the surrounding territories are determined. It has been established that during the period of the depressive development of the territorial economy, the influence of the natural and climatic factor on the differentiation of specialization of urban agriculture by latitude is minimal. Possible trends in the development of the agricultural sector in small towns are shown.

Keywords: urban agriculture, small town, specialization of agriculture, factors of development of agriculture in small towns, Non-Chernozem zone

Acknowledgments. The study was carried out with the support of a grant from the Russian National Research Fund no. 23-27-00357 "Small City in the Regions of Russia Bordering Belarus: A New Mission and Functions in the Era of Neo-Industrial Transformations."

For citation:

Danshin A. I. Agricultural functions of town in conditions of low indicators of natural resource potential. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 127–141. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-127-141

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях малый город как элемент системы расселения в значительной степени диктует для территории её состояние, выполняет определённые функции для неё, создаёт своеобразное пространство, ориентируемое на достижение комфорта и реализации преимуществ городской жизни без увеличения нагрузки на окружающую среду, вписанность города как сложного социально-экономического механизма в окружающее пространство [18; 19]. При этом важным моментом становится вписанность, когда условия для проживания жителей, в первую очередь природно-климатический потенциал, становятся существенным обременением развития [15].

Взаимоувязанность процессов расселения с системой сельскохозяйственного производства как отраслью пространственного наполнения является результатом длительного исторического пути. Причём на этом пути формируется в начале система сельского расселения, а затем постепенно городского [4].

А. И. Алексеев и С. Г. Сафронов полагают, что трансформация сети сельского расселения лишь индикатор процессов, за которыми стоит ряд факторов, в т. ч. связанных с влиянием на сельскую местность внешних причин, прежде всего урбанизации, усиления притягивающей силы городской среды [3].

Быстрова Т. Ю., Мазаев Г. В. утверждают, что только на II этапе (I этап — доминирование системы сельского расселения) — развитие сельских систем расселения и формирование торговых городов — из общей массы элементов сельской системы расселения с присущими ей системами хозяйства выделяются отдельные наиболее крупные и занимающие «узловое» положение ядра, в ряде случаев дающие начало городским элементам. Эти ядра выступают как центры обмена, защиты, культа, власти [5].

Мы бы добавили ещё один важный момент: примитивная городская среда практически всегда опирается на те ресурсы обеспечения и технологий, которые были присущи в прошлом данной территории в

целом, но при этом существует в современном технологическом укладе, т. е. проявляется «эффект колеи» (*Path Dependence*), ориентированный на то сельское хозяйство, которое было сформировано на природном (агроклиматическом) базисе [13]. Ссылаясь на З. А. Гаевскую [7], Быстрова Т. Ю. и Мазаев Г. В. утверждают, что историческое сельское расселение (I этап) было природосообразным и регулировалось цепочками причинно-следственных связей, обеспечивающих взаимопроникновение (взаимовлияние и взаимодействие) производства в сельскую среду для удовлетворения первичных потребностей в пище и элементах одежды.

Далее во времени город и село расходятся в своих производственных функциях, но, оставляя при себе в городском расселении, особенно в малых городах, потребительско-производящую составляющую, т. е. современное состояние территориальной социально-экономической системы малого города не может быть выведено только из текущих условий, поскольку текущее состояние производства возникло и ограничено предыдущими состояниями [24]. И город, особенно малый, сохраняет специализацию сельского хозяйства территории по многим позициям в пригородном её проявлении как в сельской местности или собственно у себя в городских границах [10; 14].

На протяжении значительного промежутка времени развития сельское хозяйство в городе остаётся отраслью городского хозяйства, пока потребительская (товарная) необходимость не заставляет его выходить за пределы городской черты [17]. Впоследствии процесс может повернуться в обратную сторону. А. И. Алексеев с коллегами говорит о де-аграризации сельской местности в постсоветское время, вызванной сокращением потребности в рабочей силе, которая ведёт к тому, что население вынуждено становиться либо маятниковыми мигрантами и «отходниками», или оставаться «самозанятыми», живущими за счёт личного подсобного хозяйства и случайных заработков [2]. Если в условиях высокого агроклиматического и почвенного потенциала территории, скорее всего, существенной миграции из сельской

местности не будет, разве что при высокой демографической нагрузке территории, то при низких показателях бонитета окружающей среды для сельского хозяйства миграция будет активной, в т. ч. и в города регионов. В этих районах продолжающаяся убыль сельского населения, множество заброшенных и умирающих деревень, исчезновение из оборота сельскохозяйственных земель приводят к тому, что именно малые города становятся часто центрами сельскохозяйственного производства [16], сосредоточением малого сельскохозяйственного бизнеса в них [21].

Сельское хозяйство в своих формах оказывается разделённым на 2 вектора: общественные хозяйства, которые в минимальной степени зависят от малого города и малые формы хозяйств, продолжающие существовать на основе имеющегося аграрного потенциала территории и часто не в виде предпринимательства, а как вынужденная форма занятости для обеспечения минимально приемлемого уровня жизни и личных потребностей в продовольствии как в сельской местности, так и её ядре — малом городе. Это особенно характерно для регионов с наименее благоприятными агроклиматическими условиями или периферийным положением, в т. ч. пограничным [6].

В статье рассматривается совокупность 3 приграничных с Беларусью областей — Псковской, Смоленской, Брянской.

Несмотря на незначительную долю в территории и населении страны, все приграничные субъекты в 2024 г. носили статус геостратегических регионов. При особой геополитической роли в регионе сохраняется очень сложная демографическая ситуация, которая является одним из основных вызовов его социально-экономическому развитию [11; 22].

Рассматриваемая нами территория как раз и осложняется влиянием этих факторов: низкими показателями природно-ресурсного потенциала и наличием границы, хотя и открытой (безбарьерной), где присутствие границы номинально, т. к. барьерная функция у границы отсутствует [8]. В данном случае российско-белорусское пограничье может испытывать взаимообусловленные поставки продукции перерабатыва-

ющих сельскохозяйственное сырьё отраслей, что, в свою очередь, может сказаться на снижении значения сельскохозяйственного производства в малых городах.

Ещё одним определяющим фактором развития территории является одни из самых высоких по Российской Федерации показатели депопуляции. По прогнозам¹ к 2046 г. население этих 3 областей уменьшится в среднем на 17–20%. Такое существенное снижение требует сохранения не только сельских, но и городских населённых пунктов, особенно посёлков городского типа и малых городов.

Для исследования города брались с таким расчётом, чтобы проявилось понимание удалённости от границы и собственно внутреннего развития города при опосредованном влиянии других факторов: г. Невель, Псковская обл. (20 км от пограничного перехода), г. Дятьково, Брянская обл. (270 км от пограничного перехода), г. Гагарин, Смоленская обл. (290 км от пограничного перехода, но в 25 км от границы с Московской обл.).

Поэтому в данной статье основной целью было определить влияние малого города на исследуемых территориях России на сельскохозяйственное производство и наличие сельского хозяйства в пределах городов как источника дополнительного дохода населения в связи с низкими показателями уровня жизни.

Для понимания складывающейся ситуации с сельским хозяйством в малых городах Псковской, Смоленской и Брянской областей предполагалось использовать классические для географии методы статистического анализа на основе данных Росстата, а также анкетирование жителей типичных малых городов по обеспеченности сельскохозяйственной продукцией собственного производства. Опрос населения проводился на основе стандартизированного инструментария — формализованная анкета — интернет-опрос через общественные сайты городов, а в г. Гагарин дополнительно методом личного интервью (*face-to-face*). Анкетирование предполага-

¹ Предположительная численность населения Российской Федерации до 2045 года [электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13285> (дата обращения: 08.09.2025).

ло многоаспектное исследование состояния малого города на основе одинакового для 3 городов опросника, состоящего из 38 развёрнутых вопросов. По сельскохозяйственной тематике были представлены следующие вопросы: какие отрасли экономики отвечают в большей степени интересам развития города? (имелся ответ: аграрный сектор экономики); выращиваете ли Вы сельскохозяйственные продукты или сельскохозяйственных животных в пределах городской черты? (с последующим разъяснением своей позиции положительного или отрицательного ответа).

В исследуемом нами пространстве 89 населённых пунктов по данным переписи населения 2020 г. имеют численность населения менее 50 тыс. чел., т. е. могут относиться к малым городам. К этой категории населённых пунктов были отнесены 39 городов и 50 посёлков городского типа, численность которых была отражена в переписи населения 2010 г.

На 01.01.2024 (по сравнению с 2010 г.) 3 пгт вошли в состав города областного значения – г. Брянск, 3 пгт стали сёлами, 1 пгт вошёл в состав сельской администрации, 2 города стали муниципальными округами, 4 города – городскими округами, 76 городов и пгт – городскими поселениями. Из всей рассматриваемой совокупности малых городских населённых пунктов динамика населения большинства из них является отрицательной. С 1995 г. по 2024 г. население увеличилось только в 2 городских поселения Брянской области (Навля и Комаричи, соответственно, на 6% и 1%). В пределах статистической погрешности (до 10%) с отрицательными изменениями численности населения есть 4 городских населённых пункта Брянской области – Злынка, Стародуб, Любохна, Выгоничи. Городские поселения Рамасуха (Брянская обл.), Пржевальское (Смоленская обл.), Порхов и Заплюсье (Псковская обл.) снизили свою людность более чем в 2 раза.

Оказалось, что при происходящей административной реформе почти полностью перестали использовать статистические данные по собственно городам (малым городам) даже являющимися городскими поселениями, не говоря уже о тех городах,

которые находятся внутри муниципальных районов, что не позволило продвинуться в понимании значения сельского хозяйства. В значительной степени исследование опиралось на анкетные данные.

Анкетирование жителей 3 городов показало, что более общественно активны граждане г. Дятьково (поступило больше вопросов о назначении анкеты, получено 142 анкеты). Менее интернетактивны оказались жители Невеля (88 анкет). В Гагарине помимо интернетанкетирования проводился опрос на улицах города (259 анкет). Население малых городов в минимальной степени проявили себя как пользователи интернета, хотя Гагарин условно можно считать дачной территорией Московской агломерации.

ГОРОДСКОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО В МАЛЫХ ГОРОДАХ

Для современной территории РФ производство продуктов питания в городах и их окрестностях существовало истари. Хотя в научном плане собственно концепция «городского сельского хозяйства» возникла и начала применяться в научной литературе только в начале 1990-х гг. [28]. Причём, как правило, в зарубежной литературе собственно сельское хозяйство в городах объединяется с похожим направлением в пригородной зоне. Для российского восприятия это, скорее всего, разные отрасли, т. к., согласно определению Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), городское сельское хозяйство – это получение сельскохозяйственной продукции на ограниченных пространствах (открытых участках земли, внутренних дворах, крышах, балконах домов и т. д.) в границах города².

По вопросам, посвящённым различным аспектам городского сельского хозяйства в разных регионах мира и России и раскрывающих новые социальные и экологические перспективы, выполнено достаточно много работ как российскими, так и зару-

² Официальный портал Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО): URL: <http://www.fao.org/urban-agriculture/ru/> (дата обращения: 12.08.2025).

бежными исследователями [1; 27; 30]. Но в большей степени исследования городского сельского хозяйства — это узколокальные исследования, связанные с возможностями повышения самообеспечения в городах достаточно бедных регионов мира [23; 26; 29].

В Российской Федерации необходимо чётко выделять сельское хозяйство высокоинтенсивное городского типа и пригородное часто с экстенсивными формами ведения (табл. 1). Городское сельское хозяйство малых городов России — это, скорее, отголосок старого сельскохозяйственного использования территории, где сохраняется структура землепользования и набор выращиваемых культур и содержащихся животных.

Исследования показывают, что рост городов даст потери 1,8–2,4% пахотных земель в мире к 2030 г., что приведёт к существенным региональным различиям. Около 80% глобальных потерь пахотных земель в результате роста городов придётся на Азию и Африку. Причём большая часть пахотных земель, которые будут утрачены, имеют продуктивность в 2 раза выше средних показателей по стране [25].

По мнению ряда учёных³, рынок произведённых в городе сельскохозяйственных

продуктов должен составлять чуть более 10% потребности, тогда он станет эффективным. А собственная продовольственная продукция должна давать более 20%.

Аналитическая система *Verified Market Reports*⁴, подводя итоги 2023 г., выявила, что наибольший вклад в рыночный доход городского сельскохозяйственного производства (по системе подсчёта ФАО, сельское хозяйство в городской черте) дала Северная Америка — 35%, далее Азиатско-Тихоокеанский регион — 30%, Европа — 20%, Латинская Америка — 8%, Ближний Восток и Африка — 7%. По отраслевой структуре городского производства доминировало садоводство с 45% от общей доли рынка, за которой следуют аквакультура в 25%, агролесоводство на уровне 15%, городское пчеловодство на 10%.

ВОЗМОЖНЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ МАЛОГО ГОРОДА В СОВРЕМЕННОМ ОКРУЖАЮЩЕМ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕ.

Малый город, в наибольшей степени вписанный в окружающую территорию и

Таблица 1 / Table 1

Атрибутивы городского и пригородного сельского хозяйства / Attributes of urban and suburban agriculture

Характеристики	Городское сельское хозяйство	Пригородное сельское хозяйство
Размер хозяйства	Микрофермы	Фермы среднего и большого размера
Тип земель	Несельскохозяйственные земли	Сельскохозяйственные земли
Потребители	Продукция для локального потребления	Продукция для продажи на глобальный продовольственный рынок
Специализация	Диверсифицированная продукция	Наличие обоснованной специализации
Интенсивность хозяйственной деятельности	Высокоинтенсивные товарные формы хозяйств (вертикальное фермерство, беспочвенное выращивание растений (гидропоника, aeropоника, аквапоника), роботизированные фермы, «грядки и фермы в супермаркетах») и индивидуальное сельское хозяйство на балконах и крышах, стенах домов	Интенсивные формы хозяйств (производство сельскохозяйственной продукции для обеспечения населения агломерации, коллективные сады, «съедобные ландшафты») и экстенсивные формы (на приусадебных участках, придомовые огороды)

Источник: [14; 15]

¹ Verified Market Reports [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3SzGh5> (дата обращения: 22.10.2024)

² Там же.

формирующий определённые элементы существования сельской местности, сохраняет за собой или же восстанавливает элементы «сельскости» [12]. Но всё же роль малого города в развитии сельского хозяйства окружающих территорий может предполагать несколько позиций.

В исследуемом пространстве большинство малых городов по своей сути оказываются вписанными в сельскую местность, а при сложных условиях ведения сельского хозяйства зонального типа (молочное скотоводство, производство кормовых культур с отдельными очагами зернового хозяйства, локальными участками льноводства) они как бы сливаются с ней, проявляясь на всём социально-экономическом пространстве как абсолютно малое возмущение. Даже приход крупного инвестора (например, Мираторга) не всегда существенным образом влияет на изменения, которые должны бы были произойти в малом городе и его влиянии на окружающую его сельскую местность.

В рассматриваемых областях только малые города с более высокой численностью населения (более 20 тыс.), или как ещё их называют полусредние [20], выделяются как потребители сельскохозяйственной продукции (рис. 1) В пределах их муниципального образования за счёт более высокого знаменателя показатель эффективности производства снижается.

Более диверсифицированное влияние малого города на сельское хозяйство будет при условии, если он является административным центром территории. Трансляция всех решений вышестоящих органов как сельскохозяйственных, так и управленческих, обеспечивает малому городу функцию фокусной точки территории, т. е. повышенную концентрацию всех возможных ресурсов в определённом достаточно малом пространстве для последующего развития всей системы.

В России в период рыночных процессов становления сельского хозяйства управленческая функция малого города в существенной степени утратила свои позиции. Теперь такого жёсткого горизонтального подчинения сельскохозяйственных предприятий районному управлению сельского хозяйства нет. Особенно если эти сельско-

хозяйственные предприятия представляют собой элементы вертикально-интегрированных структур, которые имеют земли не только в этом каком-то конкретном районе. Скорее наоборот, проявляется социальная ответственность бизнеса, позволяющая малому городу использовать выделяемые бизнесом ресурсы для своих целей (обычно в виде материальной помощи городу или в виде использования корпоративных средств для организации каких-то городских мероприятий).

Вторая управленческая функция малого города, которая была чётко регламентирована в советское время – малый город как центр переработки сельскохозяйственной продукции окружающих территорий. Чем больше был город, тем значительнее был «хинтерланд» предприятия. Особое место занимали производства Потребсоюза, имевшие почти в каждом городе цеха, обеспечивавшие население района той или иной продукцией переработки сельскохозяйственного сырья.

В некоторых случаях уровень предприятия определялся какой-либо значимостью города. Например, г. Гагарин как родина первого космонавта «получил» молокозавод, производящий животное масло не в коробках по 20 кг, а в пачках с оригинальной упаковкой, плюс к этому производство сгущённого молока.

Сейчас чёткой зоны сырьевого влияния малого города на сельскохозяйственную территорию нет. Многие сельскохозяйственные предприятия сами перерабатывают продукцию или везут её в крупные центры переработки своих холдингов, или на крупные предприятия переработки, с которыми заключены длительные контракты. Серьёзные сдвиги в качестве транспортировки, например, молока (охлаждение перед отправкой, изотермические цистерны) позволяют продукту не портиться в течение 24 ч, что приводит к увеличению плеча доставки, т. е. переориентацию на крупные перерабатывающие предприятия. Как бы противоположный процесс – создание крупных производств в малых городах на периферии городских агломераций.

Современной малой толикой управления (при оставшейся административной

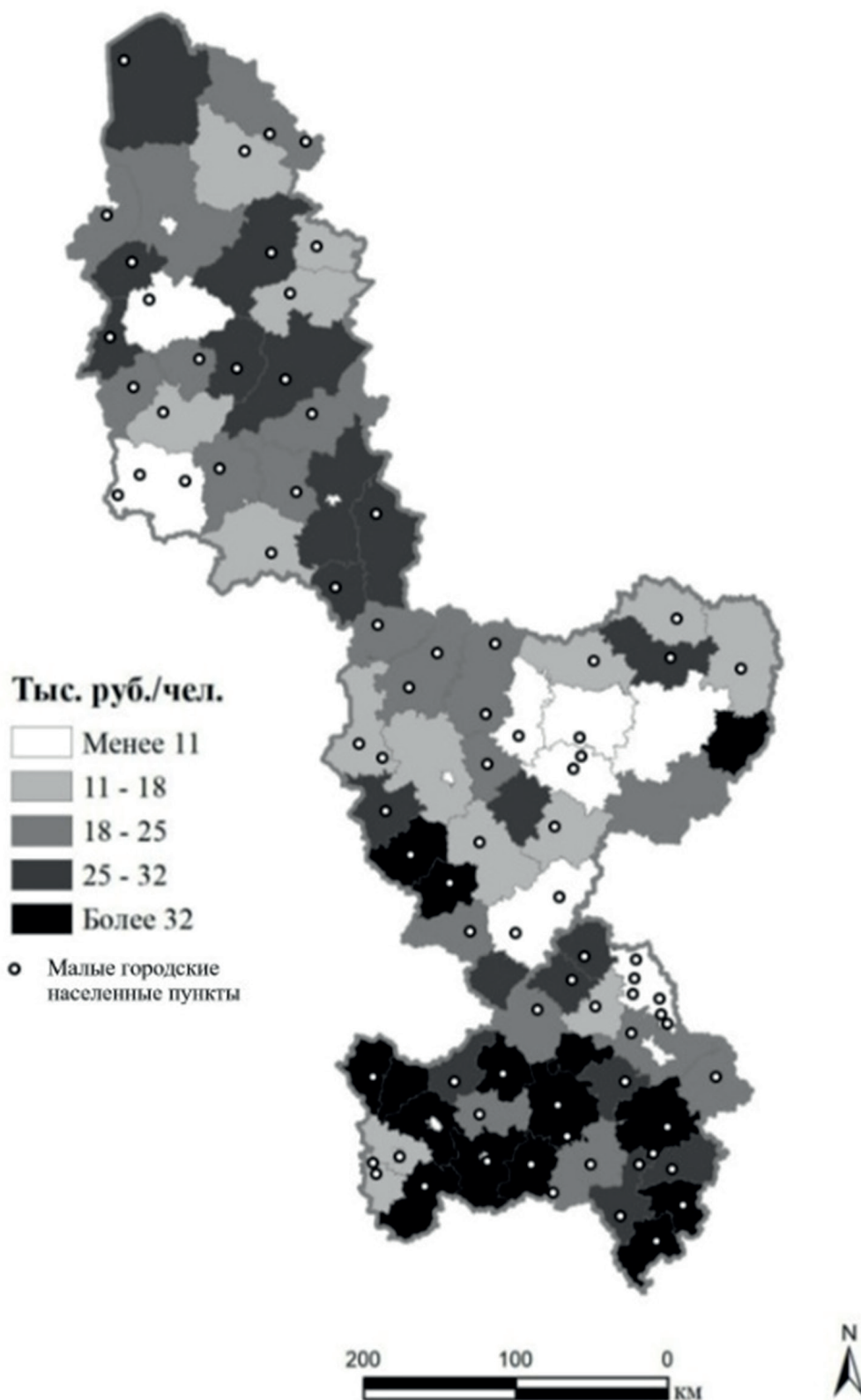


Рис. 1 / Fig. 1. Валовая продукция сельского хозяйства в личных подсобных хозяйствах на 1 жителя, руб. / Gross agricultural output in private subsidiary farms per inhabitant, ruble

Источник: составлено по Базе данных муниципальных образований [Электронный ресурс].
URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm (дата обращения 12.09.25)

функции города) можно назвать муниципальный заказ, обеспечивающий возможными продуктами питания муниципальные учреждения социальной сферы. Правда, скорее всего, для территорий российско-белорусского порубежья в условиях низких показателей природно-ресурсного потенциала муниципальные тендеры (при небольших объёмах производства внутри района) будут выигрываться какими-то крупными игроками.

Малый город как центр сельского хозяйства на исследуемых нами территориях остаётся чаще всего в виде только ареала с повышенной по сравнению с сельской местностью плотностью населения, что, в свою очередь, может дать чуть больший спрос на местную продукцию сельского хозяйства. Но в настоящее время во многих случаях может получаться так, что этот спрос будет удовлетворяться за счёт привозных продуктов в магазины крупных российских ритейлеров, а классическое сельское хозяйство малого города в связи с невысокой эффективностью будет

сужаться до огородного формата при полном отсутствии животноводческой составляющей. Наши предыдущие исследования показывают, что существует определённая специфика в продовольственном наборе ритейлеров: во всех приграничных областях доля белорусских продуктов повышена [9]. Это единственная специфическая черта приграничного положения территорий.

Исследования показали, что все 39 городов 3 приграничных с Беларусью областей имеют магазины таких самых распространённых ритейлеров, как «Магнит» и «Пятёрочка» вне зависимости от положения города. При этом в количестве магазинов по городам определяющим принципом является численность населения города, поэтому в обоих рассмотренных случаях распределение оказалось почти одинаковым (рис. 2).

Но при анкетировании было выявлено, что даже при наличии достаточного ассортимента продуктов питания в сетевых магазинах роль личного подсобного хозяйства в городах остаётся значимой.

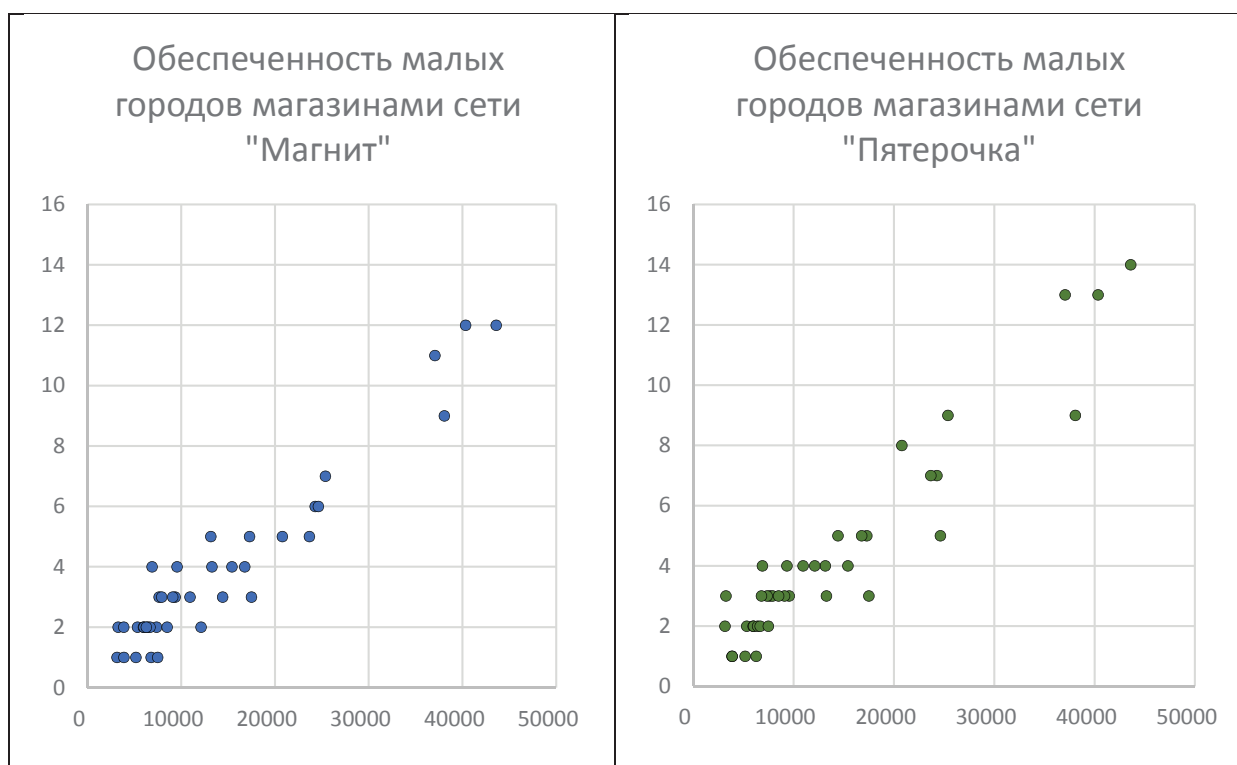


Рис. 2 / Fig. 2. Обеспеченность малых городов основными сетевыми магазинами (по вертикальной оси — количество магазинов, по горизонтальной оси — численность населения в малых городах, чел.) / Provision of towns with the main chain stores (on the vertical axis — the number of stores, on the horizontal axis — the population in towns, people)

Источник: Яндекс-карты

Что важно, около 1/3 всех опрошенных в г. Гагарин удовлетворены ассортиментом магазинов, находя в них всё, что нужно, если чего-то не хватает, осуществляют покупку в интернете. Только менее 20% опрошенных не находят чего-то в магазинах. При этом на продукты питания уходит достаточно весомая часть доходов (от 50 до 64% доходов – 38,2%; от 35 до 49% – 24,7%; крайние позиции – более 80% доходов – 9,2%, менее 35% доходов – 13,5%).

Малый город может в той или иной мере влиять на производство и реализацию фермерских продуктов, а также быть элементом обеспечения собственной продукцией населения. Наши опросы показывают, что более 40% населения малых городов имеют родственников в ближайшей сельской местности или владеют наследуемыми участками недалеко от города. Другими словами, малый город становится центром сельской «агломерации», в определённой степени организующим окружающее пространство, но не формирующим процессы инновационного сельскохозяйственного развития территории. При промышленной деградации малого города и снижении доходов местного населения, городское пространство усиливает свою сельскохозяйственную функцию, чтобы население хоть как-то обеспечивало себя продуктами питания. Существенным препятствием является невысокий агроклиматический потенциал территории.

Во всех 3 обследованных городах сельским хозяйством занимаются от 40 до 50% опрошенных. Наиболее веской причиной отсутствия своего участка в городе является проживание в многоквартирном доме (42%). Как говорилось выше, нежелание вести производство также связывается с хорошим ассортиментом в магазине (22%). Менее значимыми были ответы: помогают родственники из сельской местности (8%), «нет желания» – 6,5%, «нет здоровья» – 4,5%. В Гагарине буквально несколько человек отметили неблагоприятную экологическую ситуацию.

Территории, имеющие достаточно похожий сельскохозяйственный фон производства в теории должны иметь те же, но более интенсивные отрасли в городском

сельском хозяйстве. В настоящий момент это относится исключительно к растениеводческой составляющей. Животноводство почти перестало быть отраслью специализации малых городов Нечерноземья. Мясо, молоко, яйца всегда можно купить в магазине, в том числе в фермерском. По нашим исследованиям постепенно уходит из городского сельского хозяйства картофель, оставаясь на участках только в качестве раннего, более дорогого в покупке, если покупать в магазине.

Выход за пределы городской черты предполагает резкое увеличение площади предоставляемого для сельскохозяйственного использования участка (имеется в виду в пределах сельского населённого пункта). В советское время в совхозах выделялось до 50 соток, в колхозах – 25. Сейчас, как правило, этот рост площадей влечёт за собой увеличение посевов картофеля. В Брянской области треть всего картофеля производится в личных подсобных хозяйствах, причём частично он товарный.

Исследования показали, что какой-то существенной разницы в использовании городских участков под сельское хозяйство на севере и на юге Западного Нечерноземья нет. Почти на каждом участке имеется парник или теплица для выращивания овощей. Если раньше это были огурцы и томаты, то сейчас к ним прибавились перцы и репе баклажаны, теплолюбивые зеленные культуры (черешковый сельдерей, базилик). Открытый грунт, как правило, используется для выращивания огурцов и томатов, более холодостойких: свёклы, моркови, в меньшей степени капусты. Отдельные участки отводятся бахчевым культурам (кабачки, патиссоны, тыква). В зависимости от размеров участка могут быть представлены ягодники (земляника садовая – 41% от занимающихся сельским хозяйством, смородина (чёрная, красная), крыжовник, малина). В Дятьково наблюдается всплеск увлечения жимолостью. В целом, сельское хозяйство в пределах городской черты остаётся потребительским в связи с малыми площадями использования.

Значительная часть возделывающих земельные участки в городе обосновывает это традицией – «своё всегда вкуснее» (около 50% опрошенных). Вторая причи-

на — недостаток материальных средств: как необходимость повышения доходов (помощь родственникам) — 11%. Классическая причина занятия на огороде — смена вида деятельности («это для меня как отдых после трудового дня») — 17,8%. В Невеле 3% отпрошенных оказались неудовлетворёнными ассортиментом продукции в магазинах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Малый город, определяемый в России численностью населения менее 50 тыс. чел., в современных условиях редко когда становится существенным элементом экономического пространства в связи с невысоким потенциалом собственного развития. Для многих малых городов их функции часто сводятся к управлению территорией и производством сельскохозяйственной продукции, как внутри городского пространства, так и на подведомственной им территории. Промышленные функции малого города, как правило, могут быть наследуемы от советского периода или сформированы в постсоветское время как результат влияния 2 факторов: институционального и потребительского.

В условиях низких показателей природно-ресурсного потенциала в рассмотренных Псковской, Смоленской и Брянской областях сельскохозяйственный потенциал малого города в виде экономического и управленческого фокуса территории оказался довольно низким, что связано с существенным понижением значения сельского хозяйства на этих территориях (особенно в общественных хозяйствах). Приход вертикально-интегрированных структур в эту местность ещё больше снижает показатели сельского хозяйства на неподчинённым им территориям, вытягивая имеющуюся рабочую силу.

Сельское хозяйство этих территорий разделяется на товарное производство в общественных хозяйствах и КФХ (которых мало) и на потребительское, связанное с сельской местностью и городами как центрами территории. Малые города, как ступки населения в депопулирующем пространстве, обеспечивают незначитель-

ное возрастание потребностей в продовольствии, в т. ч. и за счёт внутригородского производства.

Государственная программа «Комплексное развитие сельских территорий»⁵ предполагает, что большинство малых городов будут являться центрами сельских агломераций, что создаст благоприятные условия для работы и проживания населения на сельских территориях, повысит их экономический и социальный потенциал. Но в то же время малые города существенно снизят свои управленческие позиции (по сути, они становятся центром сельской местности), потеряют определённые преимущества. В таком случае, сливаясь с сельской местностью, они становятся полноправными участниками сельскохозяйственного производства.

Для России городское сельское хозяйство — это использование придомовых территорий при индивидуальном жилищном строительстве в городах. Как правило, оно не имеет высокоинтенсивных технологий и развивается в рамках имеющегося природно-ресурсного потенциала, хотя в определённой степени его специализация сдвигается по сравнению с зональной с сторону овощеводства (часто с применением теплиц и парников). Животноводство в малых городах постепенно сходит на нет.

Важнейшими причинами, определяющими развитие сельского хозяйства в малом городе, являются традиции, связанные с получением собственной продукции и повышением доходов в семье. Отсутствие участка при многоквартирном расселении становится главным фактором покупки сельскохозяйственных продуктов в магазине, при этом ассортимент, в т. ч. и магазинов основных ритейлеров, удовлетворяет потребности.³

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев А. М., Землянский Д. Ю., Медведникова Д. М., Куликов Д. А., Чуженькова В. А. Городское сельское хозяйство

⁵ Комплексное развитие сельских территорий // Государственная программа по улучшению качества жизни сельского населения: [сайт]. URL: <https://крст.рф> (дата обращения: 12.08.2025).

- как новый инструмент развития городов и пригородных территорий // Оригинальные исследования. 2019. Т. 9. № 12. С. 63–75.
2. Алексеев А. И., Сафронов С. Г., Савоскул М. С., Кузнецова Г. Ю. Основные тенденции эволюции сельского расселения России в XX–начале XXI вв. // ЭКО. 2019. № 4. С. 26–49. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2019-4-26-49
 3. Алексеев А. И. Изменение сельского расселения в России в конце XX – начале XXI века // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 70–75.
 4. Быстрова Т. Ю., Мазаев Г. В. Взаимодействие систем сельского и городского расселения: возможности и проблемы // Академический вестник УралНИИпроект. 2022. № 4. С. 21–26. DOI: 10.25628/UNIP.2022.55.4.004
 5. Вебер М. Город / пер. М. И. Левина. М.: Strelka Press, 2018. 252 с.
 6. Волощенко К. Ю., Лялина А. В., Иванова О. П. Пространственная обусловленность установления границ обеспечения продовольственной безопасности приграничного региона // АПК: экономика, управление. 2025. № 5. С. 13–21. DOI: 10.33305/255-13
 7. Гаевская З. А. Градостроительные основы развития сельскохозяйственных ландшафтов и поселений Нечерноземья: дис. ... док. арх. СПб, 2019. 430 с.
 8. Гуменюк Л. Г. Функционально-временная изменчивость границы (на примере границ Калининградской области) // Региональные исследования. 2022. № 3. С. 90–99. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-3-8
 9. Даньшин А. И., Радикевич А. В. Метод экономико-географического профилирования сельского хозяйства для территорий с контрастными показателями развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67. № 1. С. 97–113. DOI: 10.21638/spbu07.2022.106
 10. Даньшин А. И. «Эффект колеи» в сельском хозяйстве депрессивных территорий // Географическая среда и живые системы. 2020. № 2. С. 100–112. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-2-100-112
 11. Западное порубежье России: моделирование развития и обеспечение экономической безопасности / под ред. Г. М. Фёдорова. Калининград: БФУ им. И. Канта, 2020. 319 с.
 12. Катровский А. П. Малые города в приграничных с Республикой Беларусь регионах России: демографическое и функциональное сжатие // Метаморфозы современного российского пространства: приоритеты общественно-географического анализа: мат-лы конференции / отв. ред. А. Г. Дружинин. Краснодар, 2024. С. 99–107.
 13. Кузнецова А. Л., Зверев Ю. М. «Эффект колеи» и его использование в региональных исследованиях (на примере Калининградской области) // Региональные исследования. 2019. № 2. С. 15–24. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-2-2
 14. Малые города приграничных с Республикой Беларусь регионов России: миссия, проблемы, динамика / под ред. А. П. Катровского, Т. И. Яськовой. Смоленск: СмолГУ. 2025. 142 с.
 15. Наумов А. С., Паук А. Я., Сидорова Д. А., Юрлова А. И. Городское сельское хозяйство в Арктике: российский и зарубежный опыт // Научный электронный журнал «Меридиан» 2019. № 2 (20). С. 110–112.
 16. Нефёдова Т. Г. Пространственная дифференциация сельскохозяйственного производства в России в условиях природного и социального опустынивания // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 69–81. DOI: 10.31857/S2587556622010101
 17. Огановский Н. П. Закономерность аграрной эволюции. Ч. 2: Очерки по истории земельных отношений в России. Саратов, 1911. 632 с.
 18. Руткин Н. М., Лагуткина Л. Ю., Лагуткин О. Ю. Урбанизированное агропроизводство (сити-фермерство) как перспективное направление развития мирового агропроизводства и способ повышения продовольственной безопасности городов // Вестник Астраханского технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 4. С. 95–108. DOI: 10.24143/2073-5529-2017-4-95-108.
 19. Тихоцкая И. С. От экотаунов к супергородам: низкоуглеродные города в Японии // Азия и Африка сегодня. 2024. № 2. С. 32–40. DOI: 10.31857/S032150750030058-5
 20. Трубе Л. Л. Наши города: Экономико-географические очерки о городах Горьковской и Арзамасской областей. Горький, 1954. 244 с.
 21. Шагайда Н. И. Институциональная перестройка сельского хозяйства произошла: куда двигаться дальше? // Крестьяноведение. 2019. Т. 4. № 1. С. 173–178
 22. Экономическая безопасность регионов Западного порубежья России / под ред. Г. М. Фёдорова. Калининград: БФУ им. И. Канта, 2021. 232 с.

23. Ayele Daniel Gebretsadik. Drivers, practices, and challenges of urban agriculture: empirical evidence from Dilla town // *Ethiopian Journal of Environment and Development*. 2021. Vol. 4. № 1. P. 25–38. DOI: 10.20372/ejed.v04i1.03
24. Boschma R. A., Frenken K. Evolutionary Economics and Industrial Location // *Review of Regional Research*. 2003. № 23. P. 183–200.
25. Bren d'Amour C., Reitsma F., Baiocchi G., Barthel S., et al. Future urban land expansion and implications for global croplands // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016. Vol. 114. No. 34. DOI: 10.1073/pnas.1606036114
26. Chesang B. J., Mugwima Bernard Njuguna, Gerryshom K. Munala. Urban agriculture and its determinants in Kidfarmaco estate, Kikuyu Town, Kenya // *Journal of Agriculture Science and Technology*. 2024. Vol. 23. № 3. P. 107–119. DOI: 10.4314/jagst.v23i3.7
27. Fantini A. Urban and peri-urban agriculture as a strategy for creating more sustainable and resilient urban food systems and facing socio-environmental emergencies // *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2022. Vol. 47. № 2. P. 1–25. DOI: 10.1080/21683565.2022.2127044
28. Urban and peri-urban agriculture sourcebook – From production to food systems. Rome, 2022. 156 p. DOI: 10.4060/cb9722en
29. Kanosvamaha T. P., Musasa T., Mupepi O. The potential for urban agriculture (UA) in Cape Town, South Africa: a suitability analysis // *Annals of GIS*. 2025. Vol. 31. DOI: 10.1080/19475683.2025.2455430;
30. Zimmerer K. S., Bell M. G., Chirisa I., Duvall C. S., et al. (2021). Grand challenges in urban agriculture: ecological and social approaches to transformative sustainability // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. DOI: 10.3389/fsufs.2021.668561
- Centuries] In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2015, no. 2, pp. 70–75.
4. Bystrova T. Yu., Mazaev G. V. [Interaction of Rural and Urban Settlement Systems: Opportunities and Challenges]. In: *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt* [Academic Bulletin of UralNIIproekt], 2022, no. 4, pp. 21–26. DOI: 10.25628/UNIIP.2022.55.4.004
5. Weber M. [The City] (Rus. ed.: Levin M. I., transl. *Gorod*. Moscow: Strelka Press Publ., 2018. 252 p.)
6. Voloshchenko K. Yu., Lyalina A. V., Ivanova O. P. [Spatial Determination of Establishing Boundaries for Ensuring Food Security in a Border Region]. In: *AIK: Ekonomika, menedzhment* [AIC: Economics, Management], 2025, no. 5, pp. 13–21. DOI: 10.33305/255-13
7. Gaevskaya Z. A. *Osnovy gradostroitel'stva dlya selskokhozyaystvennykh landshaftov i naseleennykh punktov v nechernozemnom regione: dis. ... dok. arkh* [Urban Development Foundations for Agricultural Landscapes and Settlements in the Non-Black Earth Region: Dr. Sci. thesis in Archaeology.] St. Petersburg, 2019. 430 p.
8. Gumenyuk L. G. [Functional and Temporal Variability of the Border (using the Borders of the Kaliningrad Region as an Example)]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional Studies], 2022, no. 3, pp. 90–99. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-3-8
9. Danshin A. I., Radikevich A. V. [Method of economic and geographical profiling of agriculture for territories with contrasting development indicators]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences], 2022, vol. 67, no. 1, pp. 97–113. DOI: 10.21638/spbu07.2022.106
10. Danshin A. I. [“Path dependence” in agriculture of depressed territories]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical Environment and Living Systems], 2020, no. 2, pp. 100–112. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-2-100-112
11. Fedorov G. M., ed. *Zapadnaya pogranichnaya zona Rossii: modelirovaniye razvitiya i obespecheniye ekonomicheskoy bezopasnosti* [Russia's Western Borderland: Modeling Development and Ensuring Economic Security]. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2020. 319 p.
12. Katrovsky A. P. [Small Towns in the Regions of Russia Bordering the Republic of Belarus: Demographic and Functional Compression]. In: Druzhinin A. G., ed. *Metamorfozy sovre-*

REFERENCES

- mennogo rossiyskogo prostranstva: priority sotsial'no-geograficheskogo analiza: materialy konferentsii* [Metamorphoses of Modern Russian Space: Priorities of Socio-Geographical Analysis: Conference Proceedings]. Krasnodar, 2024, pp. 99–107.
13. Kuznetsova, A. L., Zverev, Yu. M. "Path Dependence" and Its Use in Regional Studies (using the Kaliningrad Region as an Example). In: *Regionovedeniye* [Regional Studies], 2019, no. 2, pp. 15–24. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-2-2
 14. Katrovsky A. P., Yaskova T. I., eds. *Malye goroda v regionakh Rossii, granichashchikh s Respublikoy Belarus': missiya, problemy i dinamika* [Small Towns in the Russian Regions Bordering the Republic of Belarus: Mission, Problems, and Dynamics]. Smolensk: SmolSU Publ., 2025. 142 p.
 15. Naumov A. S., Pauk A. Ya., Sidorova D. A., Yurlova A. I. [Urban Energy Management in the Arctic: Russian and Foreign Experience]. In: *Nauchnyy elektronnyy zhurnal «Meridian»* [Scientific Electronic Journal "Meridian"], 2019, no. 2, pp. 110–112.
 16. Nefedova T. G. [Recent Differentiation of Agricultural Production in Russia under Conditions of Natural and Country-Specific Desertification]. In: *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Geograficheskaya seriya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2022, vol. 86, no. 1, pp. 69–81. DOI: 10.31857/S2587556622010101
 17. Oganovsky N. P. *Modeli agrarnoy tsivilizatsii. Chast' 2: Ocherki po istorii zemelnykh otnosheniy v Rossii* [Patterns of Agrarian Civilization. Part 2: Essays on the History of Land Relations in Russia]. Saratov, 1911. 632 p.
 18. Rutkin N. M., Lagutkina L. Yu., Lagutkin O. Yu. [Urbanized Agricultural Production (City Farming) as a Promising Direction for the Development of Global Agricultural Production and a Way to Improve Food Security in Cities]. In: *Vestnik Astrakhanskogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybolovstvo* [Bulletin of the Astrakhan Technical University. Series: Fisheries], 2017, no. 4, pp. 95–108. DOI: 10.24143/2073-5529-2017-4-95-108.
 19. Tikhotskaya I. S. [From Ecotowns to Supercities: Low-Carbon Cities in Japan]. In: *Aziya i Afrika segodnya* [Asia and Africa Today], 2024, no. 2, pp. 32–40. DOI: 10.31857/S032150750030058-5
 20. Trube L. L. *Nashi goroda: ekonomiko-geograficheskiye ocherki o gorodakh Gor'kovskoy i Arzamasskoy oblastey* [Our Cities: Economic and Geographical Essays on the Cities of the Gorky and Arzamas Regions]. Gorky, 1954. 244 p.
 21. Shagaida N. I. [Institutional Restructuring of Agriculture is Underway: Where to Go Next?]. In: *Krestyanskiye issledovaniya* [Peasant Studies], 2019, vol. 4, no. 1, pp. 173–178.
 22. Fedorov G. M., ed. *Ekonomicheskaya bezopasnost' regionov zapadnogo prigranich'ya Rossii* [Economic Security of the Regions of Russia's Western Borderland]. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2021. 232 p.
 23. Ayele Daniel Gebretsadik. Drivers, practices, and challenges of urban agriculture: empirical evidence from Dilla town. In: *Ethiopian Journal of Environment and Development*, 2021, vol. 4, no. 1, pp. 25–38. DOI: 10.20372/ejed.v04i1.03
 24. Boschma R. A., Frenken K. Evolutionary Economics and Industrial Location. In: *Review of Regional Research*, 2003, no. 23, pp. 183–200.
 25. Bren d'Amour C., Reitsma F., Baiocchi G., Barthel S., et al. Future urban land expansion and implications for global croplands. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016, vol. 114, no. 34. DOI: 10.1073/pnas.1606036114
 26. Chesang B. J., Mugwima Bernard Njuguna, Gerryshom K. Munala. Urban agriculture and its determinants in Kidfarmaco estate, Kikuyu Town, Kenya. In: *Journal of Agriculture Science and Technology*, 2024, vol. 23, no. 3, pp. 107–119. DOI: 10.4314/jagst.v23i3.7
 27. Fantini A. Urban and peri-urban agriculture as a strategy for creating more sustainable and resilient urban food systems and facing socio-environmental emergencies. In: *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2022, vol. 47, no. 2, pp. 1–25. DOI: 10.1080/21683565.2022.2127044
 28. *Urban and peri-urban agriculture sourcebook – From production to food systems*. Rome, 2022. 156 p. DOI: 10.4060/cb9722en
 29. Kanosvamhira T. P., Musasa T., Mupepi O. The potential for urban agriculture (UA) in Cape Town, South Africa: a suitability analysis. In: *Annals of GIS*, 2025, vol. 31. DOI: 10.1080/19475683.2025.2455430
 30. Zimmerer K. S., Bell M. G., Chirisa I., Duvall C. S., et al. (2021). Grand challenges in urban agriculture: ecological and social approaches to transformative sustainability. In: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, vol. 5. DOI: 10.3389/fsufs.2021.668561

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Даньшин Александр Иванович (г. Москва) – кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии России географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: alivda@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6645-3510

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander I. Danshin (Moscow) – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Economic and Social Geography of Russia, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: alivda@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6645-3510

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 911.3

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-142-157

ТУРИЗМ НА ВОСТОКЕ РОССИИ: ДИНАМИКА И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ СДВИГИ В 2003–2024 ГГ.

© СС ВУ Литвиненко Т. В.

*Институт географии Российской академии наук
г. Москва, Российская Федерация
e-mail: tamaralit@bk.ru; ORCID: 0000-0003-1027-1018*

Поступила в редакцию 06.05.2025

После доработки 29.08.2025

Принята к публикации 03.10.2025

Аннотация

Цель. Установить специфику динамики туризма и территориальные сдвиги в его развитии на востоке России в постсоветский период.

Процедура и методы. Использовались сравнительно-географический, картографический и статистический методы исследований. Динамику туризма в 2003–2024 гг. отражали рост или спад в числе мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц. Сопоставлялись направленность и интенсивность динамики туризма восточной России и РФ, севера и юга востока страны, Восточно-сибирского и Дальневосточного экономических районов. Территориальные сдвиги в развитии туризма за исследуемый период определялись по росту или снижению в процентных пунктах доли востока РФ в масштабах страны, а также доли Дальнего Востока и Восточной Сибири, севера и юга в масштабах восточной России по числу мест и численности обслуженных лиц в коллективных средствах размещения.

Результаты. Тренды динамики туризма РФ, восточной России, севера и юга макро-региона, Восточной Сибири и Дальнего Востока были однонаправленными: спад в 1995–2000 гг. и рост в 2003–2024 гг. Но темпы роста туризма на востоке России в 2003–2024 гг. уступали таковым в РФ. За исследуемое время «сдвига на восток» в развитии туризма в России не произошло. Доля восточной России в масштабах страны по числу мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц незначительно сократилась. Ярко выраженная асимметрия в развитии туризма на востоке РФ по оси север–юг усилилась из-за меньшего роста туризма на севере, чем юге восточной России. Менее сильно выраженные контрасты в развитии туризма между Восточной Сибирью и Дальним Востоком, наоборот, смягчились в 2003–2024 гг. Регионы юга, как Красноярский (южная часть) и Приморский края, Иркутская область с более развитой инфраструктурой и более благоприятными природными и социально-экономическими предпосылками для развития туризма, сохранили лидерство в его развитии. Чукотка – единственный регион, где численность туристов сократилась в 2003–2024 гг. из-за неблагоприятных природных и транспортно-географических условий, а также ограничений, связанных с развитием индустрии туризма в пограничной зоне.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования будут полезны при разработке планов, программ и прогнозов развития сферы отдыха и туризма восточных регионов (субъектов) России. Используемые автором приёмы межмасштабного сопоставления направленности и интенсивности динамики, способы выявления территориальных сдвигов позволяют проследить географические вариации развития туризма на разных территориях.

Ключевые слова: географическая асимметрия, Восточная Сибирь, Дальний Восток, динамика туризма, рекреационный потенциал, территориальные сдвиги

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы», № 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

Для цитирования:

Литвиненко Т. В. Туризм на востоке России: динамика и территориальные сдвиги в 2003–2024 гг. // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 142–157. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-142-157

Original Article

TOURISM IN THE EAST OF RUSSIA: DYNAMICS AND SPATIAL SHIFTS IN 2003–2024

© CC BY T. Litvinenko

*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
Moscow, Russian Federation
e-mail: tamaralit@bk.ru; ORCID 0000-0003-1027-1018*

Received 06.05.2025

Revised 29.08.2025

Accepted 03.10.2025

Abstract

Aim. The purpose of the study is to clarify the specifics of the dynamics of tourism and spatial shifts in its development in the east of Russia in the post–Soviet period.

Methodology. Comparative geographical, cartographic and statistical research methods were used. The dynamics of tourism in 2003–2024 was revealed by an increase or decrease in the number of units in collective accommodation facilities and the number of people served there. Trend in tourism and tourism intensity in eastern Russia and the Russian Federation, the northern and southern parts of the Russia’s East, the East Siberian and Far Eastern economic regions have been compared. Spatial shifts in tourism development have been determined by an increase or decrease in percentage points in the share of eastern part of Russian Federation on a national scale in terms of the number of units and serviced persons in collective accommodation facilities, as well as the share of the Far East and Eastern Siberia, the north and the south on the scale of Russia’s East.

Results. The trends in tourism dynamics in the Russian Federation, Russia’s East, the north and south of the macroregion, Eastern Siberia and the Far East were unidirectional: a decline in 1995–2000 and an increase in 2003–2024. But the growth rate of tourism in the Russia’s East in 2003–2024 was lower than in the Russian Federation. During the time under study, there was no "shift to the east" in the development of tourism in Russia. The share of Russia’s East nationwide in terms of the number of units and serviced persons in collective accommodation facilities decreased slightly. The pronounced asymmetry in the development of tourism in the Russia’s East along the north-south axis has intensified due to lower tourism growth in the north than in the south of the macroregion. On the contrary, the less pronounced contrasts in the development of tourism between Eastern Siberia and the Far East softened in 2003–2024. The regions of the south of Russia’s East, such as Krasnoyarsk (southern part) Krai and Primorsk Krai, Irkutsk Oblast with a more developed infrastructure and more favorable natural and socio-economic prerequisites for tourism, have retained leadership in its development. Chukotka is the only region where the number of tourists has decreased in 2003–2024 due to unfavorable natural and transport-geographical conditions, as well as restrictions related to the development of tourism industry in the border area.

Research implications. The findings of this research hold significant practical value for the planning, programming, and forecasting of recreation and tourism development in the eastern regions of Russia. The author’s methods for cross-scale comparison of the trends and intensity of dynamics, as well as ways to identify territorial shifts, make it possible to trace geographical variations in tourism development in different territories.

Keywords: geographical asymmetry, East Siberia, Russian Far East, tourism dynamics, recreational potential, spatial shifts

Acknowledgments. This research was carried out within the framework of the research project of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences "Socio-economic space of Russia in the context of global transformations: internal and external challenges", no. 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

For citation:

Litvinenko T. V. Tourism in the east of Russia: dynamics and spatial shifts in 2003–2024. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 3, pp. 142–157. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-142-157

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы постсоветской динамики туризма, географической асимметрии и территориальных сдвигов в его развитии в РФ остались недоисследованными. Несмотря на научные труды по туризму в регионах Сибири и Дальнего Востока в постсоветский период [1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 11; 13; 14; 16 и др.], осталось неясным, развивалась ли эта сфера деятельности на востоке РФ более высокими темпами, чем в стране. Произошёл ли «разворот на восток» в развитии отечественного туризма? Наблюдались ли территориальные сдвиги и асимметрия в развитии туризма на востоке России? Без ответа на эти вопросы трудно разрабатывать программы и давать прогнозы развития туризма, прогресс которого способствует диверсификации экономики в регионах и на местах, занятости населения, улучшению уровня жизни на периферии.

Остаётся не вполне понятным, имеет ли отношение к восточной России часто высказываемая точка зрения о более высоких темпах развития туризма на малоосвоенных территориях как ныне доминирующая тенденция. В трудах исследователей представлены примеры успешного и динамичного развития природоориентированных видов туризма (экотуризм, сельский туризм, природно-познавательный и т. д.) в отдалённых районах / местностях [3; 18; 19 и др.]. Но в других работах отмечается, что отсутствие надёжных транспортных связей с крупными городскими центрами и относительно низкий уровень развития инфраструктуры ограничивают экономическую активность на удалённых / слабо освоенных / редко заселённых территориях [17; 20].

Цель данного исследования – установить специфику динамики туризма и территориальные сдвиги в его развитии на востоке страны в постсоветский период. На основании полученных результатов можно будет разрабатывать научно обоснованные планы / программы / прогнозы развития сферы туризма на востоке России. Итоги данного исследования помогут на материалах слабо освоенных территорий Сибири и Дальнего Востока прояснить общие тенденции развития туризма на удалённых территориях (*remote tourism*).

Восточная Россия (ВР) рассматривалась как макрорегион в границах двух экономических районов (а не федеральных округов, имеющих формальные границы) – Восточносибирского и Дальневосточного (запад и восток макрорегиона). К северу ВР отнесены регионы: Чукотский АО, Магаданская область, Камчатский край, Республика Саха, север Красноярского края (Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский муниципальные районы). На межрегиональном уровне изучались все субъекты РФ в составе восточной России.

Материалами исследования послужили данные по туризму в разрезе страны и регионов, представленные на сайте Федеральной службы государственной статистики¹ и в статистическом сборнике «Туризм и туристские ресурсы в России – 2004» [15]. Использовались малодоступные данные о рекреационном потоке со времён СССР, полученные автором от правительств субъектов РФ в ходе экспедиционных исследований на востоке страны. Применялись статистический, сравнительно-гео-

¹ ЕМИСС. Государственная статистика: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 14.09.2025).

графический и картографический методы исследований.

Основной фокус внимания направлен на период 2003–2024 гг. из-за наличия данных в разрезе регионов. Динамика туризма в этот период исследуется по 2 показателям: число мест в коллективных средствах размещения и численность обслуженных там лиц (российских и иностранных граждан). По мнению автора, эти показатели достаточно репрезентативные и отражают общую тенденцию развития туризма в макрорегионе и регионах. Состояние развития туризма в последнее десятилетие советского периода оценено экспертно по материалам, полученным в ходе экспедиционных исследований в Камчатском крае и Республике Бурятия. Динамика туризма в 1990-е гг. анализируется только по данным о числе мест в коллективных средствах размещения в стране и регионах в 1995–2000 гг.

В работе сопоставлялись направленность (одно- или разнонаправленная) и интенсивность (большой или меньший рост/спад по модулю в %) динамики туризма восточной России и страны в целом. Проведён сравнительный анализ доли (в %) востока РФ в суммарном числе мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц России на разных этапах исследуемого периода. Территориальные сдвиги в развитии туризма определялись по росту или снижению в процентных пунктах доли востока РФ в масштабах страны на разных временных интервалах периода 2003–2024 гг. Изменение доли ВР в масштабах страны по числу мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц показывает, произошёл ли «разворот на восток» в развитии туризма в постсоветский период.

Исследование включало следующие этапы:

1. анализ предпосылок и условий развития туризма и их территориальных различий на востоке России;

2. оценка и сопоставление направленности динамики туризма в 1980-е и 1990-е гг. на востоке России и в стране в целом;

3. сравнение направленности и интенсивности динамики туризма ВР и стра-

ны за 2003–2024 гг. и на отдельных этапах этого периода; выявление внутренних различий в динамике туризма ВР по осям север-юг, запад-восток;

4. выявление территориальных сдвигов в развитии туризма через изменение доли ВР в масштабах страны за период или отрезок времени, территориальных сдвигов в развитии туризма внутри макрорегиона;

5. установление причин происшедших сдвигов.

Лимитирующим фактором в данном исследовании стало отсутствие однотипных статистических данных по регионам за период, начиная с 1991 г. Это обстоятельство затруднило сопоставление динамики туризма ВР и страны за 1991–2024 гг. и выявление постсоветских территориальных сдвигов. Кроме этого, число показателей, по которым можно оценить развитие туризма на межрегиональном уровне, весьма ограничено. Отсутствие данных, касающихся развития туризма в субъектах РФ на внутрирегиональном и локальном уровнях, и данных в разрезе страны и регионов за советский период и 1991–1994 гг. постсоветского времени ограничивает возможность проведения полимасштабных исследований туризма за длительный исторический период.

ПРЕДПОСЫЛКИ И УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА НА ВОСТОКЕ РОССИИ

Согласно исследованиям [7; 8; 9], на востоке РФ расположены природные объекты Всемирного природного наследия, национальные парки (немногим более половины площади ВР), минеральные источники и целебные грязи, способствующие организации лечебного, природно-познавательного и экологического туризма. Есть предпосылки для организации морских и речных круизов.

При этом на востоке РФ более комфортные климатические условия и более короткий период, благоприятный для организации туризма, чем в других макрорегионах страны. Но в постсоветский период, по сравнению с советским, произошло сжатие территории с самыми

неблагоприятными климатическими условиями. В сравнении с более обжитыми территориями на западе страны, на востоке России выявлена меньшая плотность транспортных сетей, большая удалённость территории от крупных центров расселения. Для макрорегиона характерна слабая транспортная связанность регионов между собой, сильно выраженная сезонность в

организации общественного транспорта, низкая регулярность пассажирского сообщения [12].

Выявлены значительные различия предпосылок и условий развития туризма по оси север-юг (табл. 1).

На севере восточной части России природные и транспортные условия для развития сферы туризма менее благоприятны

Таблица 1 / Table 1

Качественная оценка природно-ресурсных предпосылок и условий организации туризма в восточных регионах России / Qualitative assessment of natural resource prerequisites and conditions for tourism organization in the eastern regions of Russia

Регион (субъект РФ или его часть)	Наличие объектов Всемирного наследия	Продолжительность благоприятного периода	Число бальнеологических курортов	Наличие курортов федерального значения	Доля национальных парков в общей площади региона	Природные условия для пешеходного и горного туризма
Север восточной России						
Красноярский край, север (Таймыр и Эвенкия)	+	X	–	–	–	X
Республика Саха	+	X	X	–	X	X (север), XX (юг)
Камчатский край	+	X	XX	–	–	XX
Магаданская обл.	–	X	X	–	–	XX
Чукотский АО	+	X	–	–	XX	X
Юг восточной России						
Респ. Бурятия	+	XXX	XXX	+	XXX	XXXX
Респ. Тыва	+	XXXX	XX	–	–	XXXX
Респ. Хакасия	–	XXXX	X	+	–	XXXX
Забайкальский край	+	XXX	XXXX	–	XX	XXX
Красноярский край, юг	–	XXXX	X	+	X	XXXX
Иркутская обл.	+	XXX	XXX	–	X	XXXX
Приморский край	+	XX	XX	+	XXXX	XXXX
Хабаровский край	–	X (север), XX (юг)	X	–	X	XXX
Амурская обл.	–	XX	–	–	–	XXX
Сахалинская обл.	–	XX	X	–	–	XXX
Еврейская АО	–	XX	X	–	–	XXX

Примечание:

Продолжительность благоприятного периода (доля / число):

X – наименьшая/ее,

XX – средняя/ее,

XXX – большая/ее,

XXXX – наибольшая/ее.

Знак «–» указывает на отсутствие объекта наследия/курорта/национального парка в рассматриваемом регионе.

Природные условия:

X – наименее благоприятные,

XX – средне благоприятные,

XXX – благоприятные,

XXXX – наиболее благоприятные.

Источник: составлено по: [9]

ятны, чем на юге ВР [8; 9]. В северных регионах климат более суровый, а период, благоприятный для организации туризма, значительно короче – от 20 до 70 дней в год, в то время как на юге ВР он длится от 60 до 120 дней. На севере ВР отсутствуют железные дороги общего пользования (за исключением Амуро-Якутско магистрали) и низкая плотность автомобильных дорог. На юге ВР расположены все федеральные лечебные курорты макрорегиона, большинство национальных парков и объектов Всемирного природного наследия ВР. Южные регионы востока России имеют преимущества для развития въездного туризма. Здесь находятся пограничные переходы, обеспечивающие возможность пересечения границы из Монголии и КНР в Россию по автомобильным дорогам.

Различия в природно-ресурсных предпосылках и условиях для развития туризма между Восточной Сибирью и Дальним Востоком менее очевидны, чем между севером и югом макрорегиона. При этом площадь территории с крайне неблагоприятными климатическими условиями больше на Дальнем Востоке, чем в Восточной Сибири. В то же время океаническое местоположение регионов Дальнего Востока способствует развитию морских круизов. Китайские, корейские и японские туристы предпочитали регионы юга Дальнего Востока, а монгольские – юга Восточной Сибири.

РАЗВИТИЕ ТУРИЗМА НА ВОСТОКЕ РОССИИ В СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД И В 1990-Е ГГ.

Развитие туризма на востоке России зависело от социально-экономической обстановки в стране и различалось в разные исторические периоды и на разных этапах постсоветского времени.

В советское время в условиях железного занавеса внутренний туризм активно развивался благодаря повышению уровня жизни и платёжеспособного спроса населения, стабильным и доступным ценам на туристские услуги [7; 8].

В последние десятилетия существования СССР в Восточной Сибири и на

Дальнем Востоке наблюдался значительный рост общего числа туристов. Этот поток включал как граждан европейской части страны, так и жителей восточных регионов. Отсутствие данных за этот период затрудняет сравнение востока России с РСФСР и страной в целом. Но есть признаки того, что темпы роста туризма в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке отставали от таковых по стране в целом. Во времена СССР основной поток туристов был направлен в Москву и Ленинград, Прибалтику, Крым и Кавказ. Имеющиеся данные по общему рекреационному потоку в Бурятии и на Камчатке говорят об устойчивом росте числа туристов в 1980-е гг. Число туристов на юге макрорегиона (в Бурятии) было в разы больше, чем на севере (Камчатке).

В 1990-е гг., после распада СССР, изменились социально-экономические и общественно-политические условия, повлиявшие на развитие туризма. Произошло резкое снижение платёжеспособного спроса населения в условиях экономического кризиса. В этот период восточные регионы стали практически недоступными для туристов из других районов РФ из-за удорожания транспортных тарифов и сокращения доходов населения. Общий туристский поток в регионы восточной России сократился на порядок, хотя въездной туризм динамично развивался в условиях падения «железного занавеса».

В 1995–2000 гг. на востоке России и в РФ произошло сокращение числа мест в коллективных средствах размещения [15]. Спад на востоке страны был несколько большим, чем в России. Доля ВР в общероссийском числе мест незначительно снизилась в 1995–2000 гг. Внутри макрорегиона спад был большим на севере, чем юге, в Восточной Сибири, чем на Дальнем Востоке.

Статистика фиксирует рост туризма в ВР и стране в начале 2000-х гг. (с 2001 или 2002 г.). Развитию внутреннего туризма в 2000-е гг. способствовал рост денежных доходов населения в условиях высоких темпов экономического развития страны, а въездного туризма – активизация экономических и гуманитарных связей восточных регионов с КНР и другими странами.

ми Восточной Азии. Но въездной туризм сдерживали укрепление рубля, слабо развитая инфраструктура и низкое качество услуг при высоких ценах. Одним из инструментов поддержки территории через развитие туризма стало создание особых экономических зон туристско-рекреационного типа в Иркутской области и Бурятии (Постановления Правительства России № 68 и № 72²).

В 2003–2010 гг. в ВР рост числа мест в коллективных средствах размещения (около 20%) и рост численности обслуженных там лиц (около 30%) опережали аналогичные российские показатели (рис. 1). Доля ВР в масштабах страны по этим показателям увеличилась на 1 п.п. (рис. 2). Рост туризма был выше на юге макрорегиона, чем на севере, и на Дальнем Востоке, чем в Восточной Сибири (рис. 1). Наибольшим (>30%) был рост численности обслуженных лиц на юге Восточной Сибири в Хакасии, Бурятии и Красноярском крае, а также в южных приграничных регионах Дальнего Востока – Приморский край, Амурская и Сахалинская области.

В 2010-е гг. туризм развивался в условиях активного роста российской экономики (до 2014 г.) и доходов граждан. Ослабление рубля с 2015 г. привлекло больше иностранных туристов, особенно из Монголии и Китая (до пандемии 2020 г.). Государство поддерживало внутренний и въездной туризм через реализацию мероприятий ФЦП «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011–2018 гг.)». В рамках подготовки саммита АТЭС в 2012 г. была осуществлена масштабная модернизация туристской инфраструктуры Владивостока. Созданы территории опережающего развития в Республике Бурятия, Сахалинской области и Камчатском крае, где среди направлений специализации отмечены туризм и рекреация.

² Постановление Правительства РФ от 03.02.2007 № 68 "О создании на территории муниципального образования "Прибайкальский район" Республики Бурятия особой экономической зоны туристско-рекреационного типа" // СПС Гарант; Постановление Правительства РФ от 3.02.2007 № 72 "О создании на территории Слюдянского муниципального района Иркутской области особой экономической зоны туристско-рекреационного типа" (с изменениями и дополнениями) // СПС Гарант.

В это десятилетие наблюдался рост числа мест и численности обслуженных лиц в коллективных средствах размещения. На востоке России он был меньшим, чем в стране; доля макрорегиона в общероссийском числе мест в средствах размещения сократилась на 3 п.п. (рис. 1–2).

При росте в 2010–2020 гг. общего числа лиц, размещённых в коллективных средствах размещения, произошло снижение численности обслуженных там иностранных граждан. В ВР спад числа иностранцев был большим, чем в стране, из-за сильного снижения прибытий из Китая и Монголии в 2020 г., когда были закрыты сухопутные границы с этими государствами (из-за пандемии COVID-19). В 2020 г., по сравнению с 2019 г., численность обслуженных иностранных граждан сократилась на востоке страны в 7 раз, а в РФ – в 5. На Дальнем Востоке этот показатель упал в 9 раз, а в приграничных регионах (Республика Бурятия, Приморский и Хабаровский края, Еврейская АО) – в 10 и более. В 2009–2019 гг., в отличие от 2010–2020 гг., на востоке России произошёл больший, чем в РФ, рост числа иностранных граждан.

Рост туризма в 2010–2020 гг. был выше на юге ВР, чем на севере макрорегиона (рис. 1). Регионы юга (Иркутская область, Красноярский (южная часть) и Приморский края) продолжали оставаться лидерами индустрии туризма. В 2010 и 2020 гг. доля каждого из этих регионов в масштабах восточной России по числу мест в коллективных средствах размещения и по численности обслуженных там лиц превышала 10% (рис. 3–4). Сдвиг на Дальний Восток наблюдался по числу мест в коллективных средствах размещения (результат государственных инвестиций в развитие там туристской инфраструктуры), а сдвиг в Восточную Сибирь – по численности обслуженных лиц.

В 2020–2024 гг. сфера туризма столкнулась с проблемами: пандемия и закрытие границ, усиление геополитической напряжённости. С 2022 г. было прекращено прямое авиасообщение с Южной Кореей и Японией, отменены паромы из Владивостока в эти страны. При этом меры государственной поддержки (программа

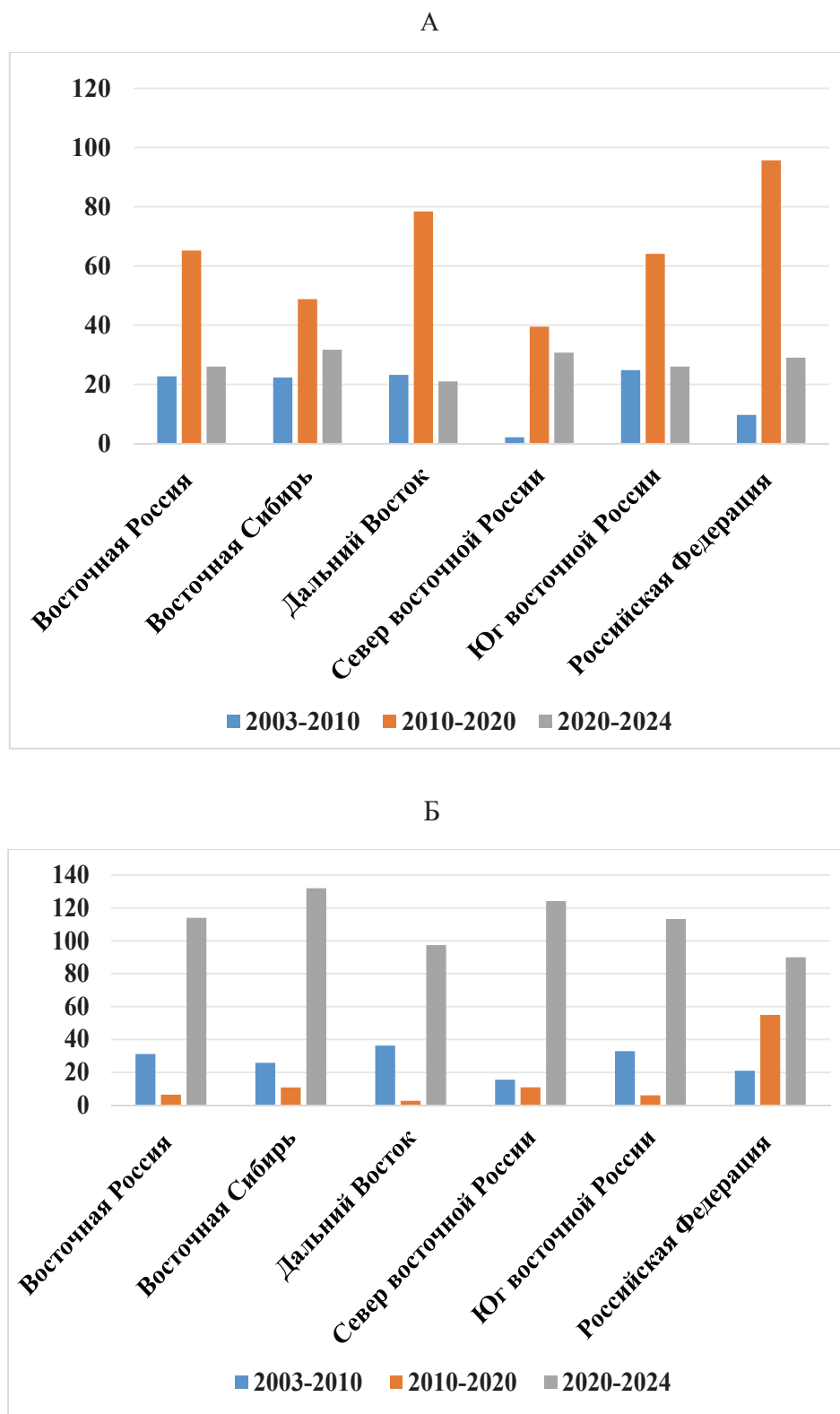
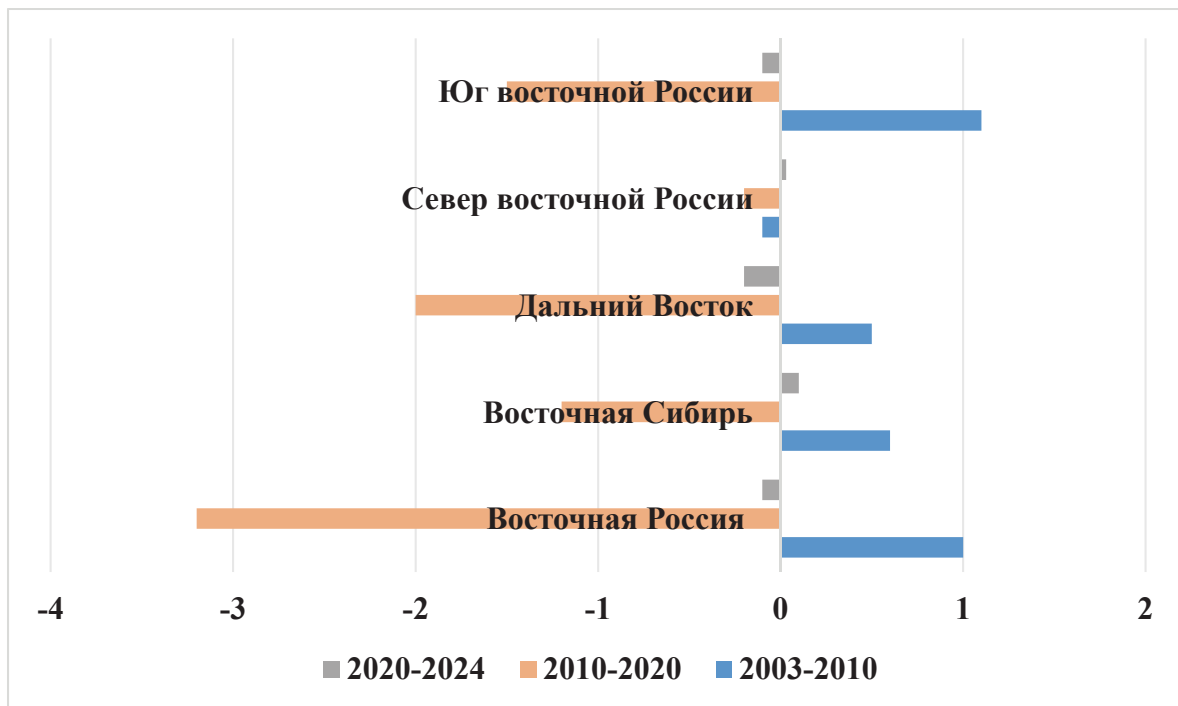


Рис. 1 / Fig. 1. Динамика числа мест в коллективных средствах размещения (А) и численности обслуженных там лиц (Б) на востоке России и в РФ на разных временных интервалах 2003–2024 гг. (%) / Dynamics of the units in collective accommodation facilities (A) and the number of persons served there (B) in the east of Russia and in the Russian Federation at different time intervals in 2003–2024 (%)

Источник: составлено автором по [15] и данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

А



Б

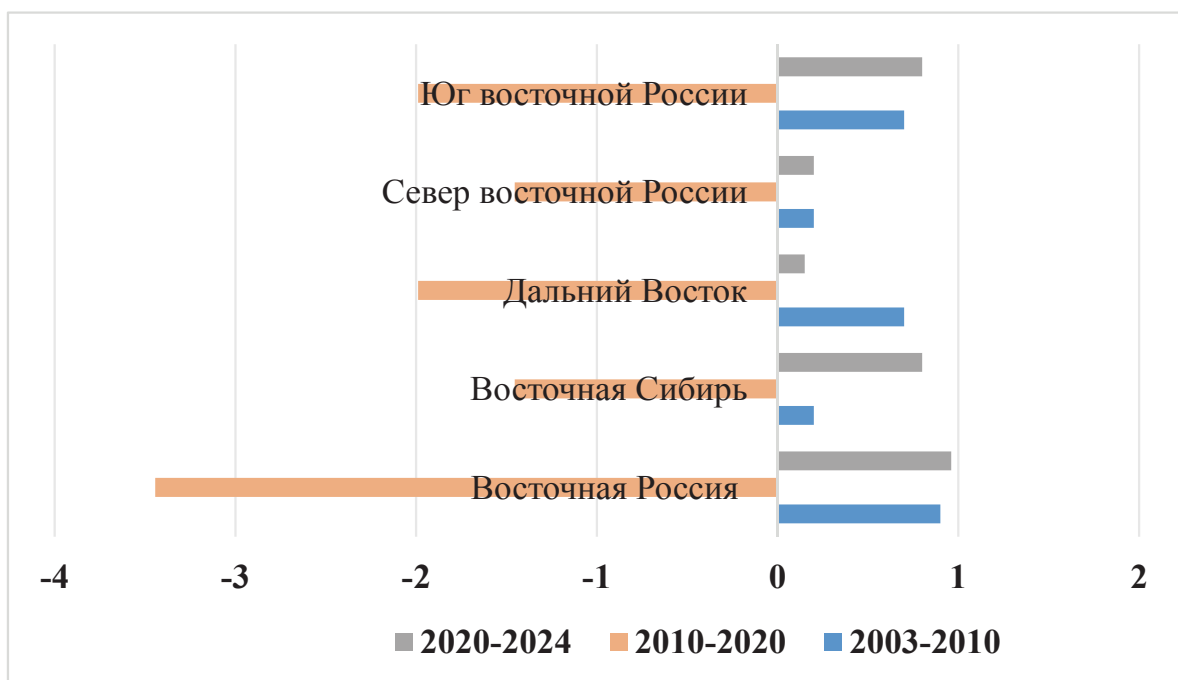


Рис. 2 / Fig. 2. Изменение доли восточной России в масштабах страны по числу мест в коллективных средствах размещения (А) и численности обслуженных там лиц (Б) на разных временных интервалах 2003–2024 гг. / The change in the share of eastern Russia nationwide in terms of the units in collective accommodation facilities (A) and the number of persons served there (B) at different time intervals in 2003–2024

Источник: составлено автором по [15] и данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

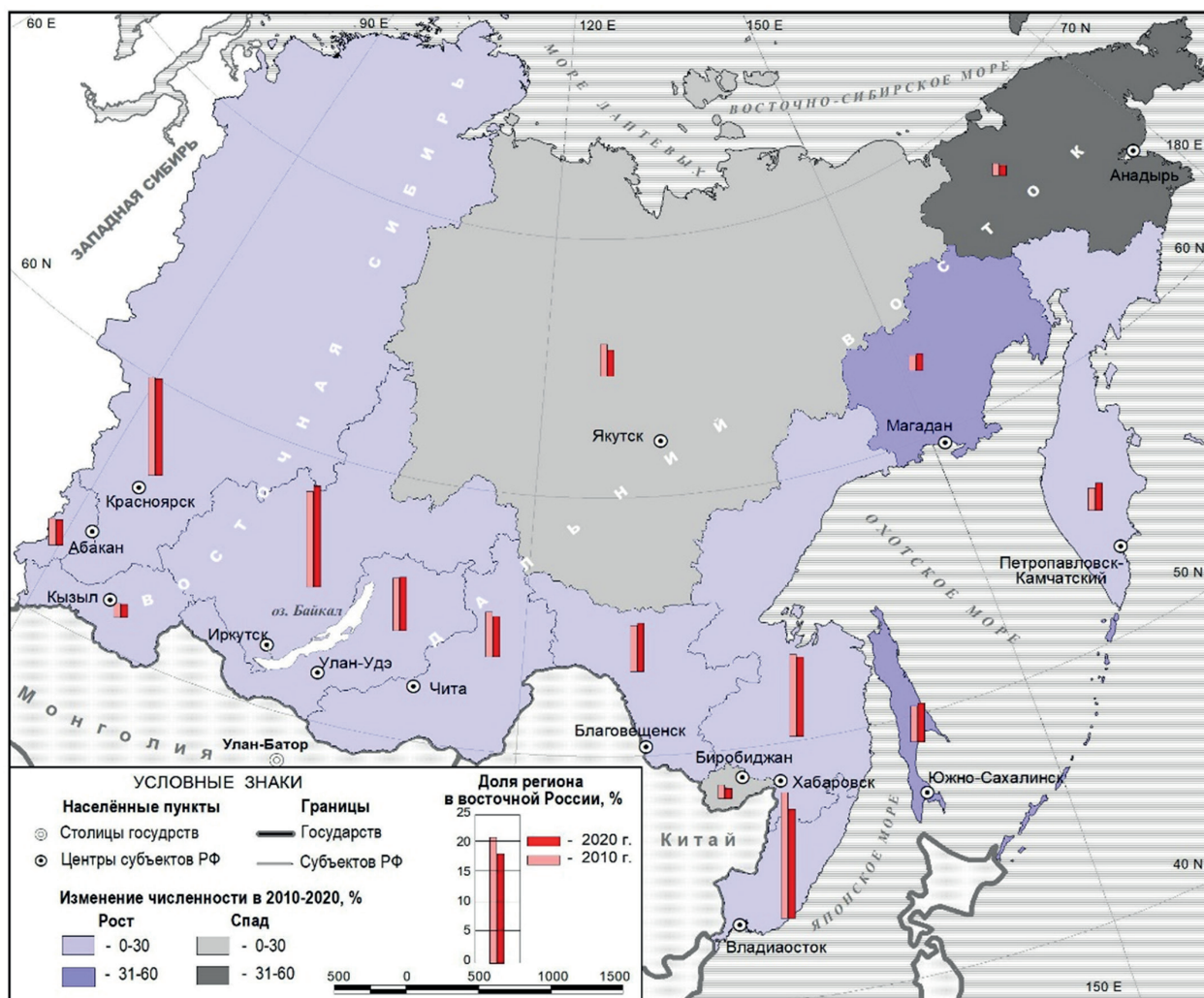


Рис. 3 / Fig. 3. Динамика численности российских граждан, размещённых в коллективных средствах размещения, в восточной России в 2010–2020 гг. / Dynamics of the number of served Russian persons in collective accommodation facilities of eastern Russia in 2010–2020

Источник: составлено автором по данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

кешбэка, запущенная в 2020 г.) способствовали поддержке российской туристической отрасли. В рамках Национальной программы развития Дальнего Востока до 2035 г. (утверждённой в 2020 г.) впервые для данной территории выделена подпрограмма «Туризм», предусматривающая решение задач по успешному развитию этой сферы деятельности [11]. Реагируя на растущий спрос российских туристов в 2020–2024 гг., в северных регионах (Магаданская область, Якутия и Камчатка) введены новые авиарейсы, в т. ч. и субсидированные, разработаны необычные маршруты, значительно расширен календарь событийного туризма. Всё это привело к тому, что даже такой отдалённый

регион, как Магаданская область, стал популярным местом для путешествий³.

В восточной России в 2020–2024 гг. рост числа мест в коллективных средствах размещения был меньшим, а численности обслуженных там лиц – большим, чем в стране (рис. 1). Доля ВР в российском числе мест в коллективных средствах размещения минимально сократилась, а в численности обслуженных там лиц – незначительно увеличилась (рис. 2). Внутри макрорегиона рост был большим на севере, чем юге (ранее наблюдалось об-

³ Колыма вошла в ТОП-5 регионов России по росту турпотока // Правительство Магаданской области: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3SzM67> (дата обращения: 21.09.2025).

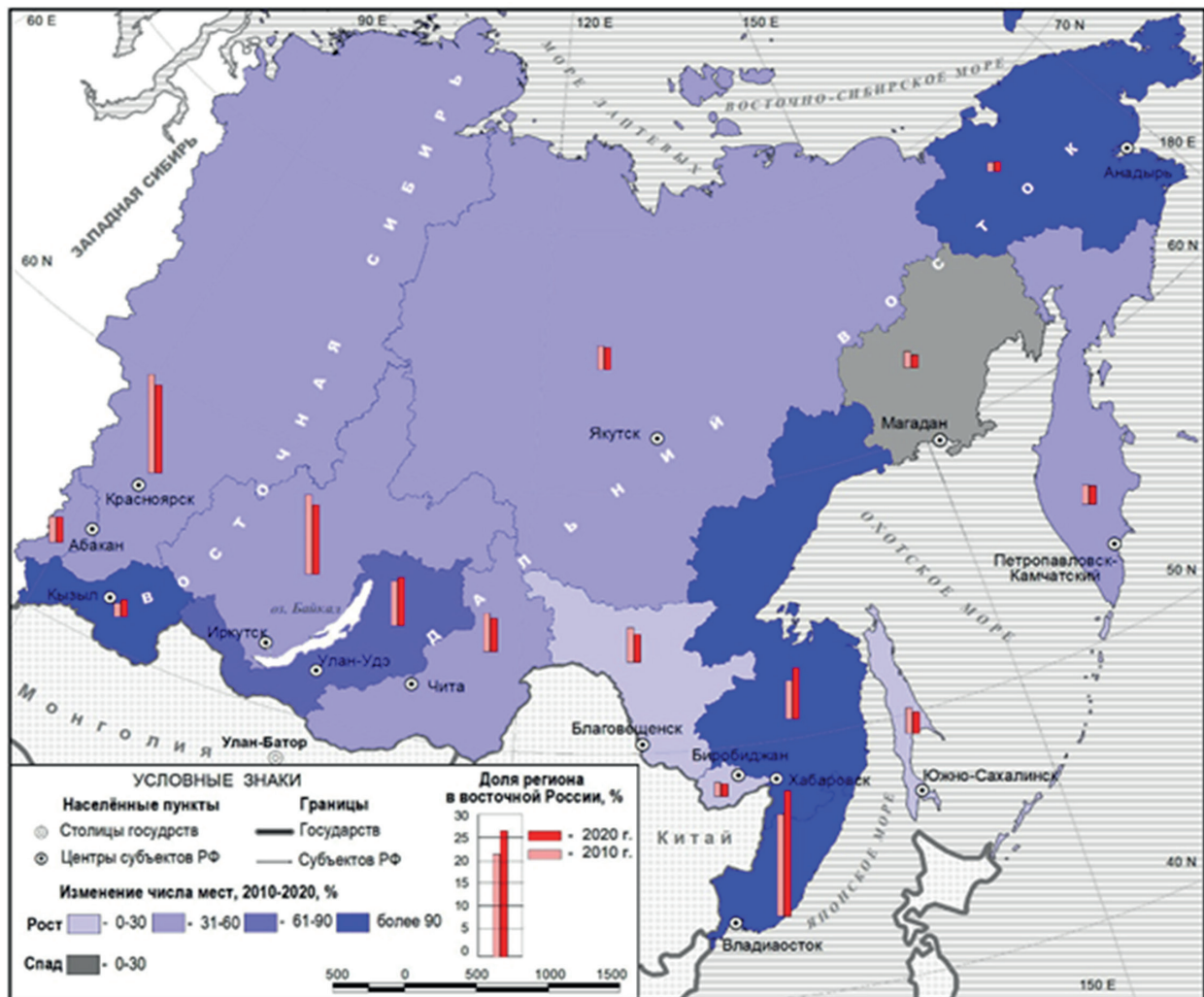


Рис. 4 / Fig. 4. Динамика числа мест в коллективных средствах размещения в восточной России в 2010–2020 гг. / Dynamics of the number of units in collective accommodation facilities of eastern Russia in 2010–2020

Источник: составлено автором по данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

ратное) и в Восточной Сибири, чем на Дальнем Востоке. В приграничных регионах (Еврейская АО, Хабаровский край, Сахалинская область), где ранее большую долю в общем туристском потоке составляли иностранные граждане, темпы роста численности обслуженных лиц в коллективных средствах размещения были ниже средних по востоку РФ. Чукотский АО — единственный регион ВР, где численность обслуженных лиц снизилась, в т. ч. из-за проблем с заходом международных круизных лайнеров, пассажиры которых обеспечивали большую долю туристского потока.

Итого за 2003–2024 гг. положительная динамика туризма наблюдалась на севере и юге макрорегиона, в Восточной Сибири

и на Дальнем Востоке, во всех восточных регионах за исключением Чукотки (там произошло снижение численности обслуженных лиц). Темпы роста туризма в восточной России в 2003–2024 гг. уступали среднероссийским. Поэтому доля ВР незначительно снизилась в российском числе мест в коллективных средствах размещения и в численности обслуженных там лиц (табл. 2). Это признак того, что в исследуемый период «разворота на восток» в развитии туризма в РФ не произошло.

В 2003–2024 гг. рост туризма на юге ВР был сильнее, чем на севере. Доля юга в масштабах макрорегиона по исследуемым показателям увеличилась, а севера — снизилась (табл. 2). Но рост доли юга был не-

Таблица 2 / Table 2

Динамика числа мест и численности обслуженных лиц в коллективных средствах размещения в восточной России и РФ (2003–2024 гг.) / Dynamics of number of units and the number of served person in collective accommodation facilities of eastern Russia (2003–2024)

Территория	Изменения в 2003–2024 гг., %		Доля в РФ, %				Изменение доли в РФ в 2003–2024 гг., п.п.	
	Число мест	Численность обслуженных лиц	Число мест		Численность обслуженных лиц		Число мест	Численность обслуженных лиц
			2003	2024	2003	2024		
Восточная Сибирь	+139	+224	4,8	4,2	4,9	4,6	–0,6	–0,3
Дальний Восток	+166	+176	3,9	3,8	5,2	4,0	–0,1	–1,2
ВР	+151	+199	8,8	8	10,1	8,5	–0,8	–1,6
Север ВР	+87	+178	0,8	0,5	0,9	0,8	–0,3	–0,1
Юг ВР	+157	+201	8,0	7,5	9,2	7,7	–0,5	–1,5
РФ	+176	+256	–	–	–	–	–	–

Источник: составлено автором по [15] и данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

большим и составил менее 1 п.п. по числу мест в коллективных средствах размещения и 2 п.п. по численности обслуженных лиц. Рост числа мест в коллективных средствах размещения был большим на Дальнем Востоке, чем в Восточной Сибири. А рост числа обслуженных лиц был сильнее в Восточносибирском районе, чем Дальневосточном. Доля Дальнего Востока в общем числе мест в коллективных средствах размещения восточной России увеличилась на 2 п.п., а доля Восточной Сибири в общей численности обслужен-

ных там лиц выросла на 4 п.п. (табл. 3). Наибольшие темпы роста туризма отмечены в Республике Бурятия (табл. 4). Среди факторов, положительно повлиявших на развитие сферы туризма этого региона, – относительно высокий рекреационный потенциал и сравнительно благоприятные транспортно-географические условия его использования, приграничное местоположение и наличие пункта пропуска через границу, создание там свободной экономической зоны туристско-рекреационного типа. Наименее успешным было развитие

Таблица 3 / Table 3

Внутренние различия в развитии туризма на востоке России в 2003 и 2024 годах / Internal differences in tourism development in eastern Russia in 2003 and 2024

Территория	Доля в ВР, %				Рост доли в 2003–2024, п.п.	
	Число мест в коллективных средствах размещения		Численность обслуженных лиц		Число мест в коллективных средствах размещения	Численность обслуженных лиц
	2003	2024	2003	2024		
Восточная Сибирь	54,9	52,5	48,4	52,4	–2,4	+4,0
Дальний Восток	45,1	47,5	51,6	47,6	+2,4	–4,0
Север ВР	9,3	7,0	9,7	9,1	–2,3	–0,6
Юг ВР	90,7	93,0	90,3	90,9	+2,3	+0,6

Источник: составлено автором по [15] и данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

Таблица 4 / Table 4

Сокращение/рост (–/+) числа мест и численности обслуженных лиц в коллективных средствах размещения в восточных регионах России (2003–2024 гг., %) / Reduction/growth (–/+) in the number of places and the number of serviced persons in collective accommodation facilities in the eastern regions of Russia (2003–2024, %)

Территория	Число мест	Численность обслуженных лиц
Республика Бурятия	+225	+321
Республика Тыва	+222	+73
Республика Хакасия	+167	+166
Красноярский край	+106	+197
Иркутская область	+143	+265
Забайкальский край	+106	+177
Итого: Восточная Сибирь	+139	+224
Республика Саха (Якутия)	+77	+113
Приморский край	+186	+216
Хабаровский край	+263	+138
Амурская область	+ 123	+152
Камчатский край	+103	+376
Магаданская область	+24	+303
Сахалинская область	+125	+169
Еврейская АО	+20	+74
Чукотский АО	+7	-55
Итого: Дальний Восток	+166	+176

Источник: составлено автором по [15] и данным Федеральной службы государственной статистики: [сайт]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 25.09.2025)

туризма в Чукотском АО. Наряду с удалённостью и изолированностью данного региона, негативное влияние на развитие туризма оказало введение ограничений для круизных лайнеров в условиях усилившейся геополитической напряжённости и пограничного режима на территории округа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Туризм на востоке России развивался по-разному в разные исторические эпохи и на различных этапах постсоветского периода. Положительная динамика туризма на востоке страны в последнее советское десятилетие сменилась спадом в этой сфере в 1990-е гг. в условиях распада СССР, экономического и политического кризиса в стране. С начала XXI в. в восточной России туризм стал активно развиваться. Этому способствовало увеличение доходов населения и государственные меры поддержки отрасли. По имеющимся непол-

ным данным можно судить о росте числа иностранных туристов на протяжении постсоветского периода до 2019 г. включительно и спаде с 2020 г. из-за пандемии, усиления геополитической напряжённости и ухудшения пассажирского авиасообщения со странами Восточной Азии.

Наблюдалась межмасштабная согласованность направленности динамики числа мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц РФ в восточной России, севере и юге макрорегиона, Восточной Сибири и Дальнего Востока (спад в 1995–2000 гг. и рост в 2003–2024 гг.). При этом на востоке страны спад туризма в 1995–2000 гг. был несколько большим, чем в России в целом, а темпы его роста в 2003–2024 гг. уступали таковым в РФ. Поэтому в постсоветский период в стране «поворота на восток» в развитии туризма не произошло. Это доказывает сокращение доли восточной России в масштабах страны по числу мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных

там лиц в 1995–2000 гг. и 2003–2024 гг. Менее активный рост туризма на востоке России, чем в РФ, – результат влияния ряда неблагоприятных факторов (суровые климатические условия и низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, удалённость от более освоенных западных регионов страны).

На востоке России выявлена ярко выраженная асимметрия в развитии туризма по оси север-юг. На юг макрорегиона приходилось около 90% мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных там лиц восточной России, а на север – всего менее 10%. Асимметрия по этой географической оси усилилась в 2003–2024 гг. из-за меньшего роста туризма на севере, чем юге восточной России.

В итоге за исследуемый период сдвига на север макрорегиона в развитии туризма не произошло, хотя там темпы роста числа мест в коллективных средствах размещения и численности обслуженных лиц в 2020–2024 гг. опережали таковые на юге ВР.

Регионы юга с более развитой инфраструктурой и более благоприятными природными и социально-экономическими предпосылками для развития туризма – Красноярский край (южная часть), Иркутская область и Приморье – сохранили лидерство в его развитии. Численность туристов сократилась в 2003–2024 гг. только на Чукотке – наиболее удалённом и изолированном регионе с неблагоприятными климатическими условиями, где основные туристские достопримечательности находятся в пограничной зоне.

Контрасты в развитии туризма между Восточной Сибирью и Дальним Востоком не были ярко выражены. Они даже смягчились в 2003–2024 гг. Различия между долей Восточной Сибири и долей Дальнего Востока в исследуемых макрорегиональных показателях составляли менее 10 п.п. в 2003 г., а на конец исследуемого периода – уже менее 5 п.п. В масштабах восточной России доля Дальневосточного района увеличилась по числу мест в коллективных средствах размещения, а Восточносибирского выросла по численности обслуженных лиц. При этом рост доли в 2003–2024 гг. не превысил нескольких

п.п. На Дальнем Востоке рост числа мест в коллективных средствах размещения опередил увеличение численности обслуженных там лиц. Это косвенный признак того, что туристическая инфраструктура, созданная в Дальневосточном экономическом районе в постсоветский период, не была использована в полной мере для развития въездного и внутреннего туризма.

Выполненные на материалах ВР исследования показали связь динамики внутреннего туризма с социально-экономической обстановкой в стране и доказали высокую чувствительность въездного туризма к неблагоприятной эпидемиологической и внешнеполитической ситуации. Полученные результаты подтверждают ранее высказанное мнение [17; 20] о том, что транспортная удалённость и слабые транспортные связи – главное препятствие развития туризма и других сфер экономической деятельности на удалённых территориях.

Результаты выполненного на материалах ВР исследования подвергают сомнению распространённое мнение о более высоких темпах развития туризма на малоосвоенных территориях как о ныне преобладающей тенденции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакина Г. Ф., Чупикова С. А. Определение приоритетных туристских территорий в регионе: Республика Тыва // Экономика Профессия Бизнес. 2024. Вып. 4. С. 23–31. DOI: 10.14258/epb202453
2. Давыборец Е. Н., Радиков И. В. Перспективы развития туризма на Дальнем Востоке России // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29. № 2. С. 205–211. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-205-211
3. Евстропьева О. В. Байкальский регион в международной и национальной системе туризма. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2022. 331 с.
4. Карпова Г. А., Чекалин В. С., Лавров В. В. Региональные аспекты развития туризма в Дальневосточном федеральном округе // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2023. № 5. С. 86–90.
5. Куманева И. П. Развитие туристской отрасли на Дальнем Востоке России: 1991-

- 2014 г.: дис. ... канд. ист. наук. Владивосток, 2017. 245 с.
6. Лаврова Т. А., Уваров С. А., Чекалин В. С. Особенности и тенденции развития туризма в Сибирском федеральном округе // Журнал правовых и экономических исследований. 2023. № 4. С. 209–214. DOI: 10.26163/GIEF.2023.18.95.031
 7. Литвиненко Т. В. Динамика и территориальные сдвиги в развитии туризма на востоке России // Территориальная организация природы и общества Сибирского макрорегиона в условиях глобальной нестабильности: сб. трудов. Т. 35. Иркутск, 2022. С. 84–89.
 8. Литвиненко Т. В. Сопряжённая динамика ресурсопользования и населения на востоке России: дис. ... док. геогр. наук. М., 2025. 357 с.
 9. Литвиненко Т. В., Крылов П. М. Туризм на Дальнем Востоке России: динамика, территориальные сдвиги и внутренние различия // Успехи современного естествознания. 2023. № 10. С. 44–48. DOI: 10.17513/use.38112
 10. Максанова Л. Б., Будаева Д. Г., Хребтова Т. А. Национальная туристская политика на Дальнем Востоке России: пример Республики Бурятия // Известия Русского географического общества. 2024. Т. 156. № 2. С. 138–154. DOI: 10.31857/S0869607124020047
 11. Мирзеханова З. Г. Межрегиональное взаимодействие в туризме – стратегическая основа оздоровления отрасли на Дальнем Востоке // География и природные ресурсы. 2022. № 2. С. 25–33. DOI: 10.15372/GIPR20220203
 12. Неретин А. С., Зотова М. В., Ломакина А. И., Тархов С. А. Транспортная связность и освоённость восточных регионов России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 6. С. 35–52. DOI: 10.31857/S2587-55662019635-52
 13. Санжеев Э. Д. Особенности развития индустрии туризма в муниципальных образованиях Республики Бурятия, расположенных на побережье оз. Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2025. Т. 52. С. 65–83. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.52.65
 14. Тотонова Е. Е. Туризм на Севере Республики Саха (Якутия): опыт географического моделирования. Якутск: СВФУ, 2016. 188 с.
 15. Туризм и туристские ресурсы в России 2004. Стат. сб. М.: Росстат, 2004. 267 с.
 16. Фетисов Д. М., Ивакаев О. Ф., Юркин М. О., Лошилов К. С. Туристское зонирование Еврейской автономной области // Региональные проблемы. 2022. Т. 25. № 4. С. 54–66. DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-4-54-66
 17. Vocco G. Remoteness and remote places. A geographic perspective // Geoforum. 2016. Vol. 77. P. 178–181. DOI: 10.1016/j.geoforum.2016.11.003
 18. Fennell D. A. Ecotourism. New York: Routledge, 2008. 282 p.
 19. Luekveerawattana R. Successful green tourism in remote cultural community areas // Cogent Social Sciences. 2024. Vol. 10. № 1. DOI: 10.1080/23311886.2024.2330733
 20. Schmallegger D., Carson D., Tremblay P. The economic geography of remote tourism: The problem of connection seeking // Tourism Analysis. 2010. № 15. P. 127–139. DOI: 10.3727/108354210X12724734537551

REFERENCES

1. Balakina G. F., Chupikova S. A. [Determination of priority tourist territories in the region: Republic of Tuva]. In: *Ekonomika, professiya, biznes* [Economics Profession Business], 2024, no. 4, pp. 23–31. DOI: 10.14258/epb202453
2. Davyborets E. N., Radikov I. V. [Prospects for the development of tourism in the Far East of Russia]. In: *Vestnik Zabaykalskogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University], 2023, vol. 29, no. 2, pp. 205–211. DOI: 10.2109/2227-9245-2023-29-2-205-211
3. Evstropieva O. V. *Baykalskiy region v mezhdunarodnoy i natsional'noy turisticheskoy sisteme* [Baikal region in the international and national tourism system]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2022. 331 p.
4. Karpova G. A., Chekalin V. S., Lavrov V. V. [Regional aspects of tourism development in the Far Eastern Federal District]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Izvestia of the St. Petersburg State University of Economics], 2023, no. 5, pp. 86–90.
5. Kumaneva I. P. *Razvitiye turisticheskoy industrii na rossiyskom Dalnem Vostoke: 1991–2014 gg.: dis. ... kand. ist. nauk* [Development of the tourism industry in the Far East of Russia: 1991–2014: Cand. Sci. thesis in Historical Sciences]. Vladivostok, 2017. 245 p.
6. Lavrova T. A., Uvarov S. A., Chekalin V. S. [Features and trends in the development of tourism in the Siberian Federal District]. In: *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy* [Journal of Legal and Economic Research], 2023, no. 4, pp. 209–214. DOI: 10.26163/GIEF.2023.18.95.031

7. Litvinenko T. V. [Dynamics and territorial shifts in the development of tourism in eastern Russia]. In: *Territorialnaya organizatsiya prirody i obshchestva Sibirskogo makroregiona v kontekste globalnoy nestabil'nosti. T. 35* [Territorial organization of nature and society of the Siberian macroregion in conditions of global instability. Vol. 35]. Irkutsk, 2022, pp. 84–89.
8. Litvinenko T. V. *Sopryazhennaya dinamika ispolzovaniya resursov i naseleniya na vostoke Rossii: dis. ... dok. geogr. nauk* [Associated dynamics of resource use and population in eastern Russia: Dr. Sci thesis in Geography]. Moscow, 2025. 357 p.
9. Litvinenko T. V., Krylov P. M. [Tourism in the Far East of Russia: dynamics, territorial shifts and internal differences]. In: *Dostizheniya sovremennoy yestestvennoy nauki* [Successes of modern natural science], 2023, no. 10, pp. 44–48. DOI: 10.17513/use.38112
10. Maksanova L. B., Budaeva D. G., Khrebtova T. A. [National tourism policy in the Far East of Russia: an example of the Republic of Buryatia]. In: *Vestnik Rossiyskogo geograficheskogo obshchestva* [Izvestia of the Russian Geographical Society], 2024, vol. 156, no. 2, pp. 138–154. DOI: 10.31857/S0869607124020047
11. Mirzekhanova Z. G. [Interregional cooperation in tourism is the strategic basis for improving the industry in the Far East]. In: *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and natural resources], 2022, no. 2, pp. 25–33. DOI: 10.15372/GIPR20220203
12. Neretin A. S., Zotova M. V., Lomakina A. I., Tarkhov S. A. [Transport connectivity and development of the eastern regions of Russia]. In: *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. Geograficheskaya seriya* [Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Series: Geography], 2019, no. 6, pp. 35–52. DOI: 10.31857/S2587-55662019635-52
13. Sanzheev E. D. [Features of the development of the tourism industry in the municipalities of the Republic of Buryatia, located on the coast of Lake. Baikal]. In: *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Izvestia Irkutsk State University. Series: Earth Sciences], 2025, vol. 52, pp. 65–83. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.52.65
14. Totonova E. E. *Turizm na Severe Respubliki Sakha (Yakutiya): opyt geograficheskogo modelirovaniya* [Tourism in the North of the Republic of Sakha (Yakutia): experience in geographical modeling]. Yakutsk: NEFU Publ., 2016. 188 p.
15. *Turizm i turistskiye resursy Rossii 2004* [Tourism and tourism resources in Russia 2004]. Moscow, Rosstat Publ., 2004. 267 p.
16. Fetisov D. M., Ivakaev O. F., Yurkin M. O., Loshchilov K. S. [Tourist zoning of the Jewish Autonomous Region]. In: *Regionalnyye problemy* [Regional problems], 2022, vol. 25, no. 4, pp. 54–66. DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-4-54-66
17. Bocco G. Remoteness and remote places. A geographic perspective. In: *Geoforum*, 2016, vol. 77, pp. 178–181. DOI: 10.1016/j.geoforum.2016.11.003
18. Fennell D. A. *Ecotourism*. New York: Routledge, 2008. 282 p.
19. Luekveerawattana R. Successful green tourism in remote cultural community areas. In: *Cogent Social Sciences*, 2024, vol. 10, no. 1. DOI: 10.1080/23311886.2024.2330733
20. Schmallegger D., Carson D., Tremblay P. The economic geography of remote tourism: The problem of connection seeking. In: *Tourism Analysis*, 2010, no. 15, pp. 127–139. DOI: 10.3727/108354210X12724734537551

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Литвиненко Тамара Витальевна (г. Москва) – доктор географических наук, старший научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии Российской академии наук;
e-mail: tamaralit@bk.ru; ORCID: 0000-0003-1027-1018

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tamara V. Litvinenko (Moscow) – Dr. Sci. (Geography), Senior Researcher, Department of Socio-Economic Geography, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: tamaralit@bk.ru; ORCID: 0000-0003-1027-1018

Научная статья
УДК 910.1; 913(338.48)
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-158-170

НАВИГАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© СС ВУ Паранина А. Н.

*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: galina_paranina@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.05.2025

После доработки 12.09.2025

Принята к публикации 10.10.2025

Аннотация

Цель. Анализ возможностей проектирования и развития туристско-рекреационных систем на основе использования рекреационного потенциала доисторических объектов природного и культурного наследия России, связанных с навигацией — ориентированием и движением.

Процедура и методы. Методологическую основу исследования составляет авторская навигационная концепция информационного моделирования мира, в которой ориентирование и движение рассматриваются в качестве главного условия освоения географического пространства и развития территориальных систем. В работе использовались стандартные методы сбора, обработки и пространственного анализа географических данных о доисторических объектах культурного наследия, связанных с навигацией.

Результаты. Проведён анализ размещения доисторических объектов наследия природного, природно-антропогенного и антропогенного происхождения (останцов выветривания, наскальных рисунков, каменных лабиринтов, менгиров, почитаемых камней и т. д.), как элементов древней сети навигации — визуальных ориентиров и инструментов определения времени. В соответствии с задачами развития внутреннего туризма в России разработана исследовательская программа «Природное и культурное наследие России как ресурс развития туризма» и выделены ареалы потенциального развития региональных туристско-рекреационных систем. Разработан алгоритм освоения территории «точка-линия-площадь», в котором функции точек роста выполняют доисторические объекты наследия. На примере модельного региона Белого моря показано, что навигационная деятельность на объектах доисторического культурного наследия может стать ведущим фактором хозяйственного развития территории.

Теоретическая и/или практическая значимость. Раскрыт системообразующий потенциал объектов доисторического наследия, некогда имевших навигационное значение. Предложенный в статье навигационный подход позволит более эффективно использовать доисторические объекты наследия для развития внутреннего туризма РФ и хозяйственного освоения Арктической зоны РФ. В перспективе развитие навигационного туризма в Арктике может стать трансграничным и циркумполярным, что будет способствовать улучшению экономической и политической ситуации.

Ключевые слова: концептуальное моделирование, навигация, объекты природно-культурного наследия, туризм, Арктика

Для цитирования:

Паранина А. Н. Навигационные основы развития территориальных рекреационных систем // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 158–170. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-158-170

Original Article

NAVIGATIONAL BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF TERRITORIAL RECREATIONAL SYSTEMS

© CC BY A. Paranina

*Herzen State Pedagogical University of Russia
 St. Petersburg, Russian Federation
 e-mail: galina_paranina@mail.ru*

Received 03.05.2025

Revised 12.09.2025

Accepted 10.10.2025

Abstract

Aim. Analysis of the possibilities of designing and developing tourism and recreational systems based on the use of the recreational potential of prehistoric objects of natural and cultural heritage of Russia, associated with navigation - orientation and movement.

Methodology. The methodological basis of the study is the author's navigation concept of information modeling of the world, in which orientation and movement are considered as the main condition for the development of geographical space and territorial systems. The work used standard methods of collecting, processing and spatial analysis of geographical data on prehistoric objects of cultural heritage related to navigation.

Results. The analysis of the placement of prehistoric heritage sites of natural, natural-anthropogenic and anthropogenic origin (weathering remnants, rock paintings, stone labyrinths, menhirs, revered stones, etc.) as elements of an ancient navigation network – visual landmarks and time-determining tools. In accordance with the objectives of developing domestic tourism in Russia, a research program "Natural and Cultural Heritage of Russia as a Resource for Tourism Development" was developed and areas of potential development of regional tourism and recreational systems were identified. An algorithm for developing the territory "point-line-area" was developed, in which the functions of growth points are performed by prehistoric heritage sites. Using the example of the model region of the White Sea, it is shown that navigation activities at prehistoric cultural heritage sites can become a driver of economic development of the territory. To maintain the sustainability of landscape complexes, it is recommended to combine navigational tourism with ecological tourism.

Research implications. The aim of the work is to reveal the recreational and system-forming potential of prehistoric heritage sites that once had navigational significance. The navigational approach proposed in the article will allow more effective use of prehistoric heritage sites for the development of domestic tourism in the Russian Federation and economic development of the Arctic zone. In the future, the development of navigation tourism in the Arctic may become transboundary and circumpolar, which will contribute to the improvement of the economic and political situation.

Keywords: conceptual modeling, navigation, objects of natural and cultural heritage, tourism, Arctic

For citation:

Paranina A. N. Navigational basis for the development of territorial recreational systems. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 3, pp. 158–170. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-158-170

ВВЕДЕНИЕ

Пространство России обладает высоким туристским потенциалом [4; 5], но в пределах нашей страны преобладают территории с суровыми климатическими условия-

ми и соответственно, природные комплексы с низким экологическим потенциалом. Такие ландшафты очень динамичны и чувствительны к любым внешним воздействиям, поэтому наиболее рациональным способом освоения их возобновляемых

ресурсов является экстенсивное хозяйство (например, кочевое оленеводство), которое способствует более равномерному распределению антропогенной нагрузки. Данный тип хозяйствования, типичный для традиционного хозяйства коренного населения Арктики, являлся фактором накопления навигационных знаний. Таким образом, в условиях большой подвижности населения и слабо развитой дорожной инфраструктуры ведущее значение имеют навигационные традиции, сформированные в прошлом. Различные виды деятельности и объекты, связанные с ориентированием и движением, также подходят для развития рекреации и туризма.

Ориентирование и движение — условие освоения ресурсов и рационального поведения. Навигационные адаптации развиты у всех биологических видов, особенность человека — использование инструментов и систем измерения. Впервые вопрос о ведущей роли навигации в построении и маркировке территориальных систем рассмотрен в трудах В. И. Паранина по исторической географии [12; 13]. Исследователь обосновал: возможности образования однотипных топонимов, маркирующих стороны горизонта на основе системы ориентирования по Солнцу в разных регионах; системообразующее значение в формировании территории Др. Руси торговых потоков, проходящих по водным и водно-волоковым путям Русской равнины; столичные функции территорий, расположенных на перекрёстках трансконтинентальных путей — на примере Приладожья. Навигационная концепция моделирования мира, разработанная автором статьи, концентрирует внимание на объектах материального и нематериального наследия, связанных с навигацией [14; 21; 22].

В процессе освоения географического пространства человек создаёт навигационные сети, которые включают инструменты ориентирования, средства передвижения и коммуникации. На этой основе впоследствии формируются территориальные системы, в которых: точечные элементы (места остановок, стоянок, например: на перевалах, на границе природных зон, в истоках или устьях рек) — являются центрами притяжения, пунктами формирования вре-

менных и постоянных поселений; линейные структуры (водные пути, волоки, пешеходные тропы, временные грунтовые и постоянные обустроенные дороги) обеспечивают движение, а площадные — взаимодействие (это могут быть функциональные зоны, связанные с распределением природных и ресурсов и условий, например: места охоты и рыбной ловли, выпаса домашних животных, сбора ягод и т. д.; или территории с разной специализацией в межрегиональном разделении труда: сельскохозяйственные и промышленные, добывающие и обрабатывающие и т. п.). Навигационные сети обеспечивают проточность территориальной системы (*проточность* — высокий уровень обмена веществом, энергией и информацией с окружающей средой). Благодаря связям с внешним миром растёт открытость и устойчивость системы, а её элементы получают развитие.

Цель статьи — анализ возможностей проектирования и развития туристско-рекреационных систем на основе использования рекреационного потенциала доисторических объектов природного и культурного наследия России, связанных с навигацией — ориентированием и движением.

В основу исследования положены описания доисторических объектов наследия и реконструкции их навигационных функций, полученные в результате сбора и обработки экспедиционных материалов; анализа материалов открытых источников (карты и дистанционные фотоснимки Земли) и научных публикаций [10; 15; 17; 19]. Проанализированы также условия посещения объектов: доступность для самостоятельных туристов и включение в организованные туристские маршруты. Экспедиционные работы проведены в 2008–2024 гг. на побережьях Белого моря и территории Русской равнины, в горах Северного Кавказа и Южной Сибири.

Объекты навигационного назначения (рис. 1) хорошо изучены с учётом географических, астрономических, археологических, демографических и других материалов. Характерные особенности таких объектов: расположение навигационных объектов вблизи древних водных или сухопутных коммуникаций, фиксация в их



Лабиринт на о. Олешин (Белое море, арх. Кузова)



Онежские петроглифы (п-ов Бесов Нос)



Почитаемый камень Параскевы (с. Володарское, Ленинградская обл.)



Конь-камень (о. Коневец, Ленинградская обл.)



Ворота Салбыкской долины (хр. Двухкаменный, Республика Хакасия)



Почитаемый камень Плодородия (Большой Салбыкский курган, Республика Хакасия)

Рис. 1 / Fig. 1. Некоторые объекты навигационного назначения / Some navigation objects

Источник: фото автора

структуре азимутов восходов / заходов Солнца в дни равноденствий и солнцестояний, часто с ними связаны живые народные традиции – легенды и мифы, календарные праздники. На большей части территории России доисторические объекты навигационного назначения остаются пока слабо изученными. Однако на наличие таких объектов указывает сохранение культурных традиций, связанных с передвижением на далёкие расстояния (например: кочевое оленеводство, охота), космогонических мифов, отражающих сакрализацию основных элементов небесной сферы (например, полюс мира – «Коло» или «Белый Олень») и инструментов навигации (посох как гномон солнечных часов-календарей).

Составленная автором база географических данных содержит описание более 120 доисторических объектов наследия, расположенных на территории России. Для создания карт использовались программные средства Qgis. Для обозначения объектов на карте разработана генетическая классификация и система условных знаков (рис. 2).

ДОИСТОРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ НАСЛЕДИЯ КАК ОСНОВА ТУРИСТСКИХ ДЕСТИНАЦИЙ

Для популяризации навигационного туризма на доисторических объектах наследия автором разработана программа комплексных научных исследований «Природное и культурное наследие России как ресурс развития туризма» и предложены проекты туристских дестинаций (рис. 3): 1 – Каменное ожерелье Арктики; 2 – Каменная летопись Карелии; 3 – Мегалиты Русской равнины; 4 – Каменные скульптуры Горного Крыма; 5 – Солнечные камни Кавказа; 6 – Исполнины Урала; 7 – Перекрёстки в центре Азии; 8 – Древние святилища Бурятии; 9 – Каменные миры Приморского края; 10 – Дороги Белого Оленя; 11 – Дом Солнца.

Размещение навигационных объектов наследия связано с разветвлённой сетью коммуникаций. Память о таких маршрутах сохранилась (путь «Из Варяг в Греки»). Воссоздание этих сетей может способствовать рациональному освоению рекреационных ресурсов, сохранению навигационных традиций. Инновационные навига-

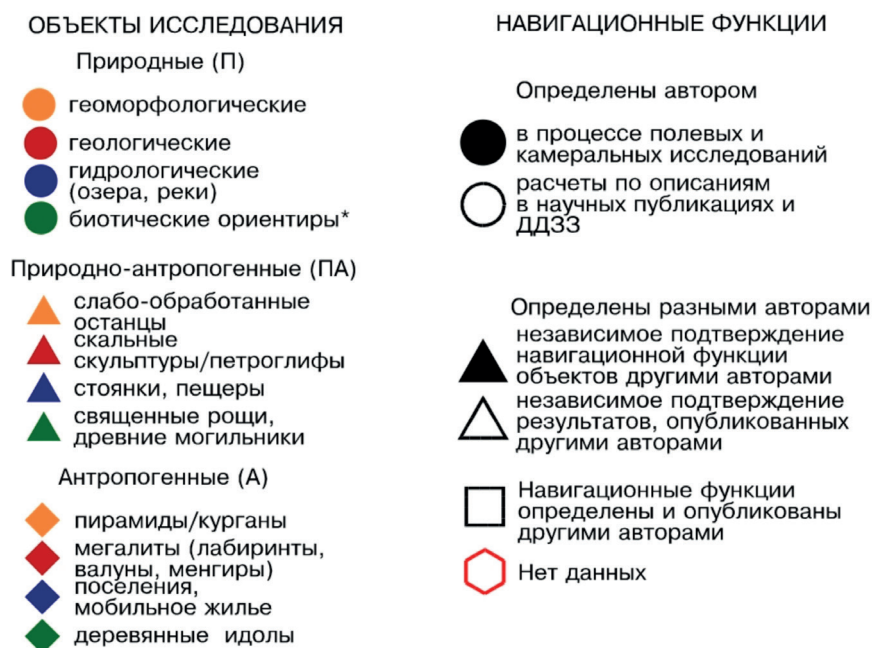


Рис. 2 / Fig. 2. Классификация доисторических объектов наследия, связанных с навигацией / Classification of prehistoric heritage sites related to navigation

Источник: составлено автором

онные проекты особенно актуальны для развития малоосвоенных территорий.

НАВИГАЦИОННЫЙ КОНЦЕПТ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

В системной парадигме физическое взаимодействие с географическим ландшафтом может быть описано через представления о связях (потoki вещества, энергии и информации) и элементах (в вертикальной плоскости — компоненты ландшафта, в горизонтальной — функциональные зоны различной формы и протяженности). Такой подход первоначально сформировался в ландшафтоведении в XX в., но академик В. Б. Сочава отмечал, что разработанное им учение геосистемах (географических системах) в будущем может быть полезно также для исследований в области социально-экономической географии [18]. Сегодня геосистемный подход плодотворно применяется в рекреационной географии [9], например: «Геосистемный подход позволил разработать алгоритм освоения туристского пространства, основой которого является представление о «территориальной туристско-рекреационной системе» (ТТРС), базирующейся на «опор-

ном туристско-рекреационном каркасе» [6]. При этом под «каркасом» понимается совокупность точечных и линейных объектов, обеспечивающих продвижение турпотоков. Геосистемным по своей сути является вывод о различиях статуса государственных территориальных образований, расположенных в разных секторах речных бассейнов, а именно — его повышении от истоков к устьям [16]. К этому можно добавить: максимальный доступ к управлению товарными потоками получают территории на перекрестках речных и морских (межрегиональных) путей, в центре речного бассейна объектом управления является как правило сеть внутрирегиональных коммуникаций, а значение истоков рек (водоразделов) к настоящему времени утрачено в связи с малой эффективностью и невостребованностью древних водно-волоковых путей на фоне развития современных видов транспорта.

Разработанный автором навигационный концепт характеризует доисторические культурные ландшафты как геосистемы, в которых неоднородность географической среды мотивирует человека к целенаправленному движению, освоению ресурсов территории, согласованному с фенологическими циклами и упорядоченному в со-

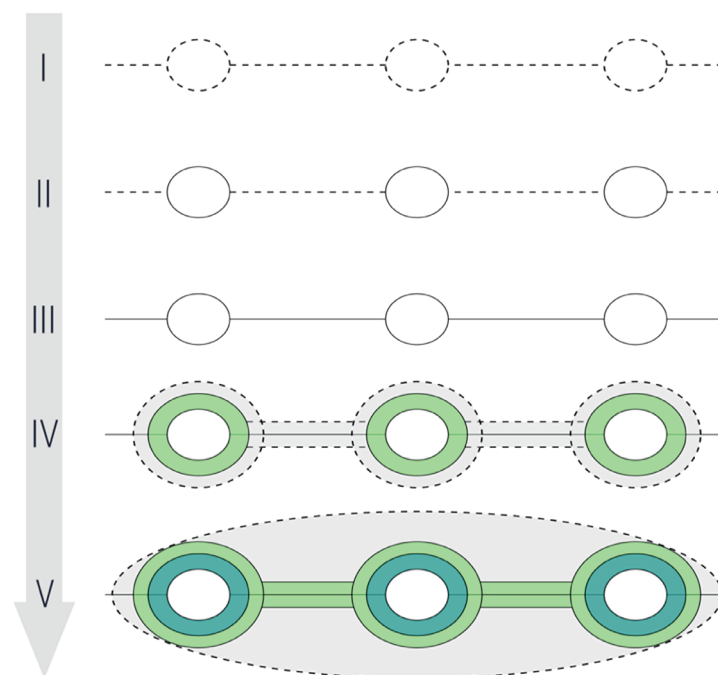
ответствии с режимами поступления солнечной энергии.

Приведём некоторые примеры: модель кочевого образа жизни с временными остановками является базовой при описании стоянок древнего человека в археологии; античные описания морских маршрутов (периплы) комментируют движение от ориентира к ориентиру; и, возможно, путешествие Пифея «до последнего Туле» также означает движение «к последнему инструменту» — конечному пункту навигационной сети (в значении «инструмент» это слово сохранилось в английском языке — *tool* [tu:l]). Сегодня древние объекты-ориентиры и каменные инструменты способны выполнить свои навигационные функции для туристов, путешествующих на малоосвоенных территориях России, и история может повториться — временные остановки постепенно станут туристскими центрами и основой новых поселений.

Алгоритм реализации навигационного концепта может быть схематично представлен через последовательное построение простых геометрических фигур «точка—линия—площадь» (рис. 4). На основе данных об объектах и векторах движения определяются маршруты и точки остановок (этап I).

Локальные элементы (точки) — доисторические навигационные объекты: выполняют функции центров притяжения на основе эстетической привлекательности и информационной насыщенности (этап II).

Линейные элементы (коммуникации) — туристские потоки: формируются различиями туристско-навигационного потенциала, формируют социальный запрос на совершенствование инфраструктуры, повышают проточность системы обеспечивают её структурное развитие, устойчивость и пространственный рост (в пространственной организации общества транс-



Условные обозначения: римские цифры — этапы, «стрела» — ход времени

Элементы территориальной системы:

локальные объекты — круги,

коммуникации — линии,

пунктирные линии — потенциальные ресурсы пространства.

Цвет:

белый — «центры притяжения»,

зелёный — зона интенсивного освоения,

светло-зелёный — зона экстенсивного освоения,

серый — зона потенциального освоения.

Рис. 4 / Fig. 4. Модель развития территорий «точка-линия-площадь» / The model of territorial development «point-line-area»

Источник: составлено автором

портные коммуникации играют решающее значение, обеспечивая освоение ресурсов и обмен продуктами труда) (этап III).

Площадные элементы — зоны хозяйственного освоения: линейная форма (двусторонняя симметрия) свойственна «коридорам» коммуникаций и «векторам» пространственного развития, концентрическая форма (радиальная симметрия) отражает процессы расширения ключевых локальных зон (этап IV).

В процессе развития элементов территориальной системы отдельные площадные элементы расширяются и могут сливаться (этап V).

ПРОЕКТ «КАМЕННОЕ ОЖЕРЕЛЬЕ АРКТИКИ»

Проект «Каменное ожерелье Арктики» направлен на решение задач сохранения культурного наследия и хозяйственного развития малоосвоенных северных территорий России, которые являются предметом разносторонних географических исследований [1; 2; 7; 23]. Под «каменным ожерельем» в контексте основных этапов развития проекта можно понимать: 1) отдельный объект — каменный лабиринт, 2) совокупность каменных объектов региона (например, Белого моря) и, в перспективе, 3) все доисторические объекты арктических территорий по мере их туристского освоения. Главное отличие проекта от аналогов («Золотое кольцо России», «Серебряное ожерелье России», «Королевская дорога») — акцент на доисторическом наследии народов России и глубине навигационной традиции.

В качестве модельного сегмента рассмотрим регион Белого моря. В настоящее время основной поток туристов здесь устремлён к христианским святыням и историческим местам, связанным с петровским временем и системой ГУЛАГ. На втором месте по популярности — Соловецкие лабиринты и Беломорские петроглифы. Незначительная часть туристов достигает Терского берега Белого моря — этот поток лимитируется качеством дорог, недостаточным количеством АЗС, парковок, гостиниц и кемпингов.

Для развития туристско-рекреационной территориальной системы Беломорского региона (рис. 5) можно использовать алгоритм, рассмотренный выше.

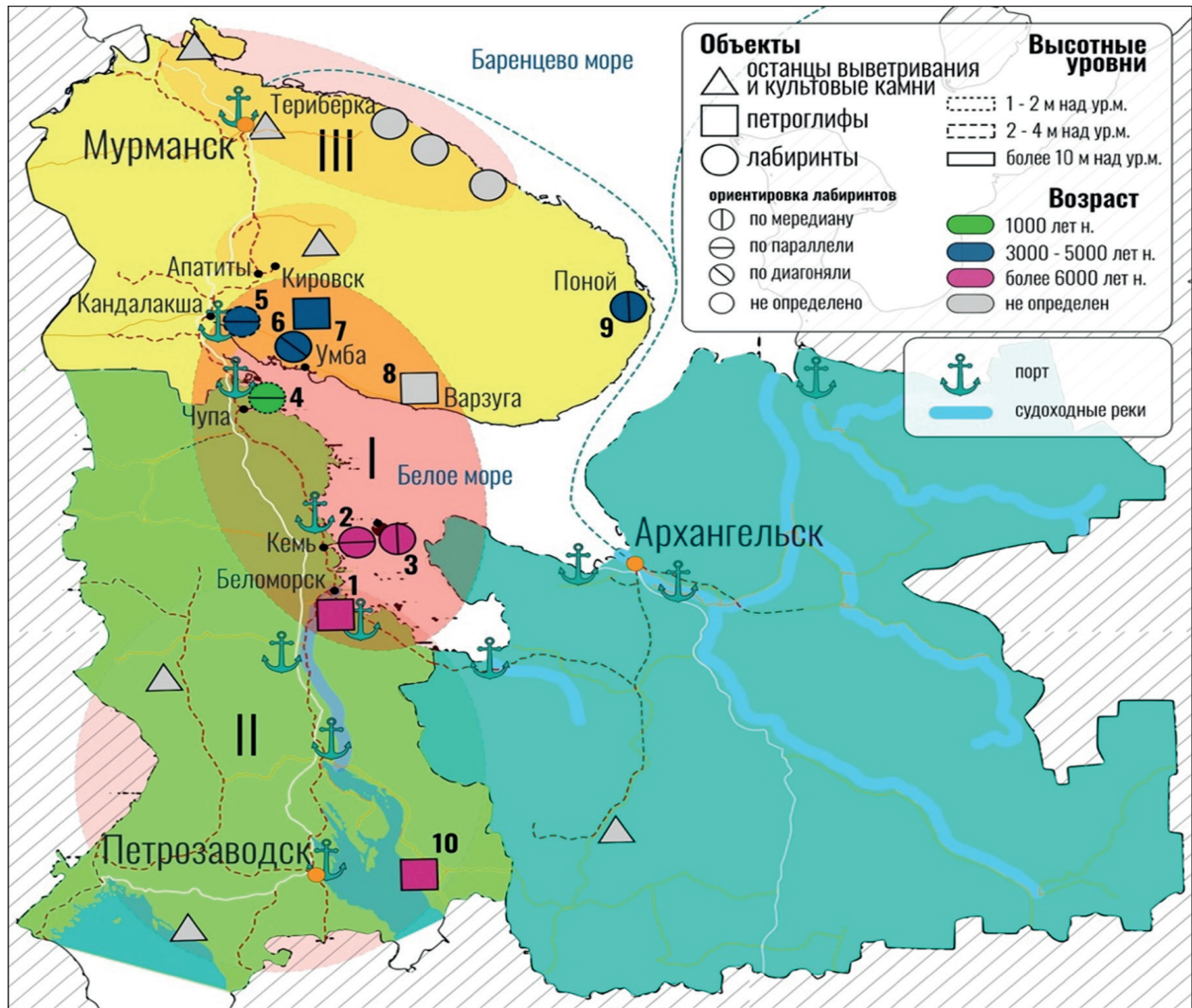
На I этапе проекта создаётся пространственная модель, на которой определяется взаимное расположение основных структурных частей.

На II этапе целью является привлечение внимания туристов к объектам доисторического наследия и мотивация к их посещению. Ключевыми объектами туристского интереса на Беломорском побережье могут стать каменные лабиринты (7 локаций) и петроглифы (3 локации). Задачи этапа: информирование о новых видах туристской деятельности; повышение доли организованного туризма; благоустройство прилегающей к объектам территории (оборудование мест остановки и отдыха туристов). Ожидаемые результаты: повышение туристского потока и качества контроля за состоянием памятников наследия.

На III этапе основной целью становится увеличение проточности транспортной сети, привязанной к точкам туристского интереса. Задачи этапа: вложение средств в ремонт и улучшение покрытия дорог на популярных направлениях, привлечение инвестиций для организации АЗС и оборудованных парковок, а также развитие местного водного и воздушного транспорта. В Беломорском звене проекта особого внимания требуют малодоступные удалённые объекты — петроглифы Канозера и Понойский лабиринт. Ожидаемые результаты: улучшение транспортной инфраструктуры, обеспечивающей доступность объектов и связь между ними.

На IV этапе улучшенные условия передвижения обеспечивают дополнительный приток туристов, что способствует повышению занятости местного населения и сезонному привлечению трудовых ресурсов. Задачи этапа: включение внутренних и внешних ресурсов в процессы развития территориальной системы.

Ожидаемый результат: по мере развития проекта численность населения будет расти и со временем запустение территорий может быть преодолено; туристские программы, посвящённые объектам до-



1 – Беломорские петроглифы,
2 – лабиринты арх. Кузова,
3 – лабиринты Соловецких островов,
4 – лабиринты Керетского залива,

5 – Кандалакшский лабиринт,
6 – Умба́ский лабиринт,
7 – петроглифы Канозера,
8 – петроглифы Варзуги,
9 – Понойский лабиринт,
10 – Онежские петроглифы

Основные сегменты проекта на Северо-Западе России:
I – Беломорский (центральный, модельный),
II – Карельский,
III – Кольский

Рис. 5 / Fig. 5. Древние объекты наследия в проекте «Каменное ожерелье Арктики» / Ancient heritage sites in the "Stone Necklace of the Arctic" project

Источник: данные автора

исторического наследия, интегрируются с другими программами, действующими на данной территории и в ближайшем окружении. В Беломорье они сочетаются, например, с возможностями посещения соседствующих с ними христианских храмов (Соловецкий монастырь), исторических поселений (Кемь, Чупа, Колвица), маяков, особо охраняемых природных территорий (ООПТ, например: государственный природный заказник «Кузова», национальный парк «Терский берег»).

На V этапе возможно слияние внутренних и внешних локальных узлов туристской сети. Внешние ресурсы по отношению к Беломорскому сегменту проекта: туристские кластеры Мурманской обл. (Хибины) и Республики Карелии (Гирвас, Кивач; Кижы и др. объекты Ладожского озера).

В северных регионах страны достижения мест расположения доисторических объектов сопряжено с преодолением таких сложностей как бездорожье, отсутствие

населённых пунктов, магнитные аномалии, что требует от туристов навыков ориентирования по Солнцу и звёздам. На объектах культурного наследия туристская деятельность также связана с наблюдением за небом. Такой туризм можно называть навигационным.

Потенциал расширения проекта «Каменное ожерелье Арктики» в широтном направлении: кольское побережье Баренцева моря (лабиринты, сейды, останцы выветривания) и восточное побережье Баренцева моря (лабиринты Новой Земли, святилища о. Вайгач), север Сибири. Развитие проекта в будущем может объединить северные территории всех стран, имеющих выход к Северному Ледовитому океану.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ НАВИГАЦИОННОГО ТУРИЗМА

Для развития туризма в Арктике важно учитывать тот факт, что в условиях современного потепления климата происходят не только позитивные изменения, например, снижающие суровость климата, но, вместе с этим, растёт количество экологических рисков. Негативные процессы, которые необходимо учитывать при развитии арктического туризма: усиление интенсивности экзогенных процессов, ухудшение качества поверхностных источников водоснабжения и др. [7; 11; 20].

Геоэкологические исследования в разных регионах России показывают что из-за стихийного туризма ландшафты могут деградировать и на территории ООПТ [8]. Есть также примеры вандализма в отношении охраняемых археологических памятников мегалитической культуры, которые совершаются по религиозным мотивам. Например, в 2010 г. разбито 5 менгиров Ахуновского кромлеха (археологический памятник бронзового века, Республика Башкортостан), из обломков выложен крест [3]. Эти факты заставляют задуматься: что станет с доисторическими объектами после привлечения к ним внимания? Не лучше ли оставить их для будущего, когда выра-

стет новое поколение, более грамотное в экологическом отношении, способное уважительно относиться к нашему общему — мировому культурному наследию?

Однако следует отметить, что доисторические объекты, вне зависимости от степени изученности их навигационных свойств, уже находятся в поле зрения широкой общественности. Высокой туристской привлекательности способствуют эстетические качества этих объектов и связанные с ними мифы и легенды. К сожалению, для создания интригующей рекламы турпродуктов, включающих доисторические объекты наследия, часто применяются приёмы их мистификации, что, по сути, формирует противоречивые чувства и даже неприятие. Такая реклама привлекает смельчаков, готовых «помериться силой» с «тёмным прошлым», а в результате можно видеть, например, как группа туристов пытается столкнуть с горы сейд — камень в неустойчивом положении, не обращая внимания на охранный статус памятника и даже на отдыхающих под ним туристов («Висячий камень», НП «Ергаки», наблюдения в июле 2022 г.). Представляется, что альтернативой такой нездоровой тенденции мог бы стать акцент на рациональном первичном назначении доисторических объектов, которое было первопричиной их сакрализации (почитания, основанного на понимании жизненно важных информационных функций объектов и на уважении к создателям, позаботившимся о потомках). Таким образом, невежеству и неуважению, предлагается противопоставить просвещение и объективную информацию, повышающую уровень понимания важности объектов наследия — вне зависимости от их охранного статуса.

Важным рычагом управления рекреационным природопользованием остаётся организационная работа в сфере рекреации и туризма. Очевидно, что именно организованный туризм способен стать реальной силой, противостоящей разрушению культурного наследия. При этом целесообразно создать новые турпродукты и взять объекты наследия под свою защиту, опережая развитие других отраслей хозяйства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проанализированы возможности использования доисторических объектов наследия для развития территориальных рекреационных систем России. Для пространственного анализа использовалась база географических данных с характеристиками объектов, которые способны выполнять информационные функции в системе древней навигации. Функции визуальных маркеров остановок и направлений движения выполняют положительные формы рельефа, останцы причудливой формы, петроглифы. В качестве инструментов определения времени могут служить менгиры, кромлехи, лабиринты-гномоны.

На территории России выделено 11 зон в соответствии с плотностью распределения навигационных доисторических объектов и степенью их изученности. Для организации в этих зонах новых туристских дестинаций рекомендовано восстановление древних и построение новых сетей навигации.

Разработан алгоритм проектирования и создания туристско-рекреационных пространственных систем «точка-линия-площадь», в которых «точками роста» выступают доисторические объекты наследия. Реализация алгоритма рассмотрена на примере объектов, расположенных в регионе Белого моря.

Проанализированы геоэкологические аспекты, связанные с привлечением внимания к доисторическим объектам природного и культурного наследия как ресурсу для развития внутреннего туризма в России, в частности в Арктической зоне. Показано, что смягчению экологических рисков может способствовать организованный туризм и более полное предоставление объективной информации в средствах массовой информации. Внимание к рациональным (навигационным) функциям объектов при создании рекламы новых турпродуктов будет способствовать осознанию важного информационного значения наследия для обеспечения безопасности жизнедеятельности, и, как следствие, — формированию более ответственного и бережного отношения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова А. Ю., Аигина Е. В. Туристский вектор в актуализации культурного наследия // *Современные проблемы сервиса и туризма*. 2016. Т. 10. № 2. С. 19–28. DOI: 10.12737/19500
2. Андреева Т. А., Подшуweit О. В., Субетто Д. А. Культурное наследие арктических музеев как объект государственного управления // *Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения*. 2024. № 1. С. 25–31.
3. Ахатов А. Т., Тузбеков А. И. Мегалитический комплекс Ахуново в социокультурном пространстве Южного Урала // *Проблемы востоковедения*. 2021. № 4. С. 25–30. DOI: 10.24412/2223-0564-2021-4-25-30
4. Зырянов А. И. Географическое поле туристского кластера // *Географический вестник*. 2012. № 1. С. 96–98.
5. Котляков В. М., Кружалин В. И., Мажар Л. Ю. Теоретические основы развития туризма на межрегиональном уровне // *Туризм и региональная политика*. 2020. № 1. С. 17–30.
6. Кружалин В. И., Мажар Л. Ю. Геосистемный подход к освоению туристского пространства в контексте устойчивого развития внутреннего туризма в России // *Географическая среда и живые системы*. 2023. № 4. С. 7–19. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-4-7-19
7. Кружалин В. И., Шабалина Н. В., Никанорова А. Д., Медведков А. А. и др. Организация круизного туризма в национальном парке «Русская Арктика»: риски и потенциал развития // *Современные проблемы сервиса и туризма*. 2021. Т. 15. № 3. С. 157–169. DOI: 10.24412/1995-0411-2021-3-157-169
8. Кузьмичев И. С., Медведков А. А., Скроб П. В. Развитие процессов овражной эрозии в вулканических ландшафтах природного парка «Ключевской» // *Географическая среда и живые системы*. 2022. № 3. С. 44–59. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-44-59
9. Мажар Л. Ю. Геосистемный подход к определению ключевых понятий в экономической и социальной географии // *Региональные исследования*. 2013. № 4. С. 127–133.
10. Марсадолов Л. С. Большой Салбыкский курган в Хакасии // *Республиканское научно-исследовательское учреждение «Хакасский научно-исследовательский институт литературы и истории»*. Абакан: Хакасское книжн. изд-во, 2010. 74 с.
11. Медведков А. А. Геоэкологические факторы жизнестойкости арктических городов

- в криолитозоне: теоретические подходы к изучению // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. № 85, №5. С. 726–739. DOI: 10.31857/S2587556621050071
12. Паранин В. И. Историческая географии летописной Руси. Петрозаводск: Карелия, 1990. 152 с.
 13. Паранин В. И. История варваров. СПб.: РГО, 1999. 280 с.
 14. Паранина А. Н. Навигационная концепция информационного моделирования мира. М.: Инфра-М. 2025. 271 с. DOI: 10.17513/use.38392
 15. Потёмкина Т. М. Святилища энеолита и бронзового века Западной Сибири, как источник астрономических знаний и космологических представлений в древности // Archaeoastronomy and Technologies. 2014. № 1. С. 50–89.
 16. Рогачёв С. В. Каскадная стратификация стран мира: гипсометрический базис общественных надстроек // Региональные исследования. 2015. № 2. С. 73–85.
 17. Сидорина И. Е., Сюзюмов А. А., Ракова А. И., Андреева Т. А., Артемьева О. В. Геоинформационное картографирование в современных этнографических, конфессиональных и этноконфессиональных исследованиях // Кунсткамера. 2024. № 2. С. 61–79. DOI: 10.31250/2618-8619-2024-2(24)-61-79
 18. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 319 с.
 19. Стрелецкий В. Н. Геопространство в культурной географии // Гуманитарная география. Научный и культурно просветительский альманах. 2005. Вып. 2. С. 330–332.
 20. Medvedkov A. A. Response of middle-taiga permafrost landscapes of Central Siberia to global warming in the late 20th and early 21st centuries // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2016. № 48. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012009
 21. Paralina A., Paralin R. Tourism as Form of Personal Liberty and General Communication: Experience of Geo-systems Analysis. In: *Economia Aziendale Online—Business and Management Sciences Intern. Quarterly Review*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 25–40. DOI: 10.13132/2038-5498/11.1.25-40
 22. Paralina A. N., Marsadolov L. S., Grigoriev A. A. Geographical Tools of Sacred Navigation in the Historical Development of Siberia. In: *Humans in the Siberian Landscapes. Ethnocultural Dynamics and Interaction with Nature and Space. Cham*, 2022, pp. 33–58. DOI: 10.1007/978-3-030-90061-8_2
 23. Sukhorukov V. D., Gladkiy Yu. N., Grigoryev A. A., Paralina A. N. History and geography of the Russian Arctic in the domestic travelogue. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 625, iss. 1. DOI: 10.1088/1755-1315/625/1/012010

REFERENCES

1. Aleksandrova A. Yu., Aigina E. V. [Tourist Vector in the Actualization of Cultural Heritage]. In: *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern Problems of Service and Tourism], 2016, vol. 10, no. 2, pp. 19–28. DOI: 10.12737/19500
2. Andreeva T. A., Podshuveit O. V., Subetto D. A. [Cultural Heritage of Arctic Museums as an Object of Public Administration]. In: *Arktika 2035: Aktualnyye voprosy, problemy, resheniya* [Arctic 2035: Current Issues, Problems, Solutions], 2024, no. 1, pp. 25–31.
3. Akhatov A. T., Tuzbekov A. I. [Megalithic Complex Akhunovo in the Sociocultural Space of the Southern Urals]. In: *Problemy vostochnogo dvizheniya* [Problems of the Eastern Movement], 2021, no. 4, pp. 25–30. DOI: 10.24412/2223-0564-2021-4-25-30
4. Zyryanov A. I. [Geographical field of the tourism cluster]. In: *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2012, no. 1, pp. 96–98.
5. Kotlyakov V. M., Kruzhalin V. I., Mazhar L. Yu. [Theoretical foundations of tourism development at the interregional level]. In: *Turizm i regionalnaya politika* [Tourism and regional policy], 2020, no. 1, pp. 17–30.
6. Kruzhalin V. I., Mazhar L. Yu. [The geosystem approach to the development of tourist space significantly limits the development of domestic tourism in Russia]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2023, no. 4, pp. 7–19. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-4-7-19
7. Kruzhalin V. I., Shabalina N. V., Nikanorova A. D., Medvedkov A. A., et al. [Organization of cruise tourism in the Russian Arctic International Park: risks and development potential]. In: *Sovremennyye problemy servisa i turizma* [Modern problems of service and tourism], 2021, vol. 15, no. 3, pp. 157–169. DOI: 10.24412/1995-0411-2021-3-157-169
8. Kuzmichev I. S., Medvedkov A. A., Skrob P. V. [Development of gully erosion processes in volcanic landscapes of the Klyuchevskoy Nature Park]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2022, no. 3, pp. 44–59. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-3-44-59

9. Mazhar L. Yu. [Geosystemic approach to defining the main concepts of economic and social geography]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional studies], 2013, no. 4, pp. 127–133.
10. Marsadolov L. S. [Bolshoy Salbyksky kurgan in Khakassia]. In: *Respublikanskoye nauchno-issledovatel'skoye uchrezhdeniye «Khakasskiy nauchno-issledovatel'skiy institut literatury i istorii»* [Republican research institution “Khakass research institute of literature and history”]. Abakan: Khakass book publishing house, 2010. 74 p.
11. Medvedkov A. A. [“Geocological Factors of the Viability of Arctic Cities in the Cryolithozone: Theoretical Approaches to Study”]. In: *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. Geograficheskaya seriya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2021, vol. 85, no. 5, pp. 726–739. DOI: 10.31857/S2587556621050071
12. Parani V. I. *Istoricheskaya geografiya letopisnoy Rusi* [Historical Geography of Chronicled Rus]. Petrozavodsk: Karelia Publ., 1990. 152 p.
13. Parani V. I. *Istoriya varvarov* [History of the Barbarians]. St. Petersburg: Russian Geographical Society Publ., 1999. 280 p.
14. Parani A. N. *Navigatsionnaya kontseptsiya informatsionnogo modelirovaniya mira* [Navigation Concept of Information Modeling of the World]. Moscow: Infra-M Publ., 2025. 271 p. DOI: 10.17513/use.38392
15. Potemkina T. M. [Sanctuaries of the Eneolithic and Bronze Age in Western Siberia as a Source of Astronomical Knowledge and Cosmological Concepts in Antiquity]. In: *Arkheo-astronomiya i tekhnologii* [Archaeoastronomy and Technologies], 2014, no. 1, pp. 50–89.
16. Rogachev S. V. [Cascade Stratification of Countries of the World: Hypsometric Basis of Social Superstructures]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional Studies], 2015, no. 2, pp. 73–85.
17. Sidorina I. E., Syuzumov A. A., Rakova A. I., Andreeva T. A., Artemyeva O. V. [Geoinformation Mapping in Modern Ethnographic, Confessional, and Ethnoconfessional Studies]. In: *Kunstkamera* [Kunstkamera], 2024, no. 2, pp. 61–79. DOI: 10.31250/2618-8619-2024-2(24)-61-79
18. Sochava V. B. *Vvedeniye v doktrinu geosistem* [Introduction to the Doctrine of Geosystems]. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch Publ., 1978. 319 p.
19. Streletsky V. N. [Geospace in Cultural Geography]. In: *Gumanitarnaya geografiya. Nauchno-kulturnyy almanakh* [Humanitarian Geography. Scientific and Cultural Educational Almanac], 2005, iss. 2, pp. 330–332.
20. Medvedkov A. A. Response of middle-taiga permafrost landscapes of Central Siberia to global warming in the late 20th and early 21st centuries. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, no. 48. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012009
21. Parani A., Parani R. Tourism as Form of Personal Liberty and General Communication: Experience of Geo-systems Analysis. In: *Economia Aziendale Online—Business and Management Sciences Intern. Quarterly Review*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 25–40. DOI: 10.13132/2038-5498/11.1.25-40
22. Parani A. N., Marsadolov L. S., Grigoriev A. A. Geographical Tools of Sacred Navigation in the Historical Development of Siberia. In: *Humans in the Siberian Landscapes. Ethnocultural Dynamics and Interaction with Nature and Space. Cham*, 2022, pp. 33–58. DOI: 10.1007/978-3-030-90061-8_2
23. Sukhorukov V. D., Gladkiy Yu. N., Grigoriev A. A., Parani A. N. History and geography of the Russian Arctic in the domestic travelogue. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 625, iss. 1. DOI: 10.1088/1755-1315/625/1/012010

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Паранина Алина Николаевна (г. Санкт-Петербург) — кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и природопользования факультета географии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена;
e-mail: galina_paranina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alina N. Parani (St. Petersburg) — PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Physical Geography and Nature Management, Faculty of Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia;
e-mail: galina_paranina@mail.ru

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ / GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT AND LIVING SYSTEMS

Научный журнал издаётся Государственным университетом просвещения с 1998 г.

Цель Журнала:

· Целью журнала является создание научно-информационной площадки для обмена накопленными знаниями между специалистами из разных стран в области индикации состояния природной среды, исследования геоэкологических проблем разного масштаба, прогнозирования геосферно-биосферных изменений, анализа лучших практик в сфере охраны природы и культурных ландшафтов, и тенденций пространственного развития стран и территорий (в т.ч. с учётом экологического фактора).

Задачи:

- рассматривать теоретические и методологические разработки в сфере изучения ландшафтов, геотехнических систем, объектов живой природы и трендов экологического развития городов, стран и регионов мира;
- информировать специалистов и содействовать развитию фундаментальных и прикладных знаний в следующих областях: новые методы мониторинга природной среды и геосферно-биосферных процессов, анализ конкретных индикаторов экологических проблем, а также тенденций пространственного развития городов, районов и стран мира;
- оценивать актуальные вызовы для России и её регионов с позиции наук о Земле и экологии;
- знакомить с успешным опытом решения природоохранных проблем в России и за рубежом;
- способствовать внедрению научных достижений ведущих наук об окружающей среде в производственную практику, управленческую среду и образовательный процесс.

Журнал «Географическая среда и живые системы / Geographical Environment and Living Systems» включён в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и международную базу рецензируемой научной литературы (Scopus). Печатная версия журнала зарегистрирована в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Полнотекстовая версия журнала доступна в интернете на платформе Научных электронных библиотек (www.elibrary.ru, cyberleninka.ru), а также на сайте журнала (www.geocosreda.ru).

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ / GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT AND LIVING SYSTEMS

2025. № 4

Над номером работали:

Ответственный редактор Л. В. Самсонова
Литературный редактор С. Ю. Полякова
Переводчик В. А. Дворянов
Корректор А. А. Глазунова
Компьютерная вёрстка А. В. Тетерин

Адрес редакции:

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, стр. 1, каб. 98
тел. +7 (495) 780-09-42 (доб. 6101); сайт: www.geocosreda.ru

Формат 70x108/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Minion Pro».

Тираж 500 экз. Усл. п.л. 21,25, уч.-изд. л. 15,75.

Подписано в печать: 29.12.2025. Выход в свет: 20.01.2026. Заказ № 2025/12-35.

Отпечатано в Государственном университете просвещения
105005, г. Москва, ул. Радио, 10А