

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



ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT and LIVING SYSTEMS

Продовольственная
обеспеченность населения
арабских стран в первые
десятилетия XXI в.

Полезащитные лесополосы
в условиях сухой степи
Алтайского края: оценка
современного состояния

Опыт энергетической оценки
светового загрязнения
(на примере природного заказника
«Воробьёвы горы» г. Москвы)

Оценка воздействия почвогрунтов,
полученных из осадков шлам-
лигнина (отходов Байкальского
ЦБК) на высшие растения

Прогнозирование уровней токсич-
еской опасности при выбросах
аммиака на химическом производ-
стве в различных метеорологиче-
ских условиях (на примере
АО «Воронежсинтезкаучук»)

2025 № 1



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 № 1

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 «Пушинский 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»

ISSN 2712-7613 (print)

ISSN 2712-7621 (online)

Рецензируемый журнал «Географическая среда и живые системы» печатает научные статьи и обзоры по актуальным проблемам географической экологии и геосистемного прогнозирования, биологического разнообразия ландшафтов и индикации окружающей среды, по диагностике социально-экологических проблем, пространственного планирования и «зелёного» развития территорий, формирования и эволюции туристских дестинаций, территориальной и ресурсной охраны природы.

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. № 1. 142 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: info@vestnik-mgou.ru

сайты: www.geoecosreda.ru; www.vestnik-mgou.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

ISSN 2712-7613 (print)

ISSN 2712-7621 (online)

The reviewed scientific journal «Geographical Environment and Living Systems» publishes scientific papers and reviews on topical issues including, but not limited to, geographical ecology and geosystem forecasting, spatial planning and 'green' development of territories, biological diversity and environmental indication, 'green' chemistry and environmental safety, and diagnosis of socially and environmentally conditioned human diseases.

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. 1. 142 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: info@vestnik-mgou.ru;

sites: www.geoecosreda.ru; www.vestnik-mgou.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

Шигимага А. А., Быков Н. И., Рыгалова Н. В. Полезащитные лесополосы в условиях сухой степи Алтайского края: оценка современного состояния	6
Лукьянов Л. Е. Опыт энергетической оценки светового загрязнения (на примере природного заказника «Воробьёвы горы» г. Москвы)	27
Сизов О. С. Динамика зарастания сухоройных песчаных карьеров в северо-таёжных условиях Западной Сибири за период с 1985 по 2021 гг.	41
Шатрова А. С., Богданов А. В. Оценка воздействия почвогрунтов, полученных из осадков шлам-лигнина (отходов Байкальского ЦБК) на высшие растения	53

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Орлова Е. С., Рыбкина И. Д. Оценка фактического водопотребления населения сельских поселений Обь-Иртышского междуречья	67
Баринова Г. М., Гаева Д. В., Романчук А. Ю. Изменения климата и угрозы здоровью населения в Калининградской области	87
Шишкин А. В., Кочетова Ж. Ю., Кузнецов И. Е. Прогнозирование уровней токсической опасности при выбросах аммиака на химическом производстве в различных метеорологических условиях (на примере АО «Воронежсинтезкаучук»).	97

РЕГИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

Лобжанидзе А. А., Лопатников Д. Л., Роготень Н. Н., Шехадех Ш. Продовольственная обеспеченность населения арабских стран в первые десятилетия XXI в.	114
--	-----

ПРИГЛАШЕНИЕ К ДИСКУССИИ

Бейсенова Р. Р. Рецензия на монографию: Курбатова А. И., Абу-Кдэйс Х. Биоэкономика 4.0: Инновационные подходы к валоризации органических отходов. М.: ИНФРА-М, 2026. 202 с.	131
---	-----

CONTENTS

NATURAL AND ANTHROPOGENIC PROCESSES AND LANDSCAPE PROTECTION

A. Shigimaga, N. Bykov, N. Rygalova. Forest Belts in the Dry Steppes of the Altai Region: Assessment of the Current State	6
L. Lukianov. Energy Estimation of Light Pollution (the Case Study of the Vorobyovy Gory Nature Reserve in Moscow)	27
O. Sizov. Dynamics of the Overgrowth of Dry Sand Quarries in the Northern Taiga Conditions of Western Siberia for the Period from 1985 to 2021.	41
A. Shatrova, A. Bogdanov. Assessment of the Impact of Soils Obtained From Sludge-Lignin Sediments (Waste from the Baikal Pulp and Paper Mill) on Higher Plants.	53

QUALITY OF LIFE OF THE POPULATION AND THE ENVIRONMENT

E. Orlova, I. Rybkina. Assessment of the Actual Water Consumption of the Population of Rural Settlements of the Ob-Irtysh Interfluvium	67
G. Barinova, D. Gaeva, A. Romanchuk. Climate Change and Threats to Public Health in the Kaliningrad Region	87
A. Shishkin, Zh. Kochetova, I. Kuznecov. Forecasting Toxic Hazard Levels for Ammonia Emissions in Chemical Production under Various Meteorological Conditions (Using the Example of Voronezhskiy Kautchuk JSC)	97

REGIONAL DIMENSION OF GLOBAL PROBLEMS

A. Lobzhanidze, D. Lopatnikov, N. Rogoten, Sh. Shehadeh. Food Security of the Population of Arab Countries in the First Decades of the 21st Century.	114
--	-----

DISCUSSION

R. Beisenova. Review of the Monograph: Kurbatova A. I., Abu-Qdais H. Bioeconomics 4.0: Innovative Approaches to Valorization of Organic Waste. Moscow, INFRA-M, 2026. 202 p.	131
--	-----

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

Научная статья
УДК 631.962; 630*561.24

ПОЛЕЗАЩИТНЫЕ ЛЕСОПОЛОСЫ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ: ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

© СС ВУ Шигимага А. А.¹, Быков Н. И.², Рыгалова Н. В.³

¹ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: anettshigimaga@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7001-1448

² Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3756-1859

³ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: natalia.ml@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0078-6133

Поступила в редакцию 19.10.2024

После доработки 21.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Оценка состояния полевых защитных лесных полос сухостепной подзоны (в пределах Алтайского края) и выявление ключевых факторов, способствующих их деградации и сокращению площади.

Процедура и методы. В исследовании использовались методы дендрохронологии, позволяющие анализировать годовые кольца деревьев для оценки их возраста, скорости роста и реакции на климатические изменения. В рамках дендроклиматологии изучалась связь между динамикой роста древесных насаждений и климатическими параметрами (температурой и осадками). Таксация насаждений включала полевые измерения, направленные на определение состава пород, высоты, диаметра стволов, сомкнутости крон и жизнеспособности деревьев. Дополнительно применялся анализ данных дистанционного зондирования, который позволил оценить пространственное распределение, плотность и изменения состояния лесных полос за последние годы на основе спутниковых снимков. Комплексное использование этих методов обеспечило всестороннюю оценку современного состояния полевых защитных лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края и выявило ключевые факторы, влияющие на их устойчивость.

Результаты. Радиальный рост деревьев лесополос и их реакция на климатические факторы определяется их породным составом и географическим положением в пределах сухой степи. Дефицит осадков и повышение температуры воздуха чаще всего вызывают снижение величины прироста древесины. Возраст, морфометрические показатели деревьев и их санитарное состояние коррелятивно взаимосвязаны, что позволяет на их основе осуществлять прогноз состояния лесополос. Результаты обработки данных дистанционного зондирования (мультиспектральные снимки Landsat 5 и Landsat 8) свидетельствуют о значительном сокращении площади полевых защитных лесных полос с 1990 по 2022 г. Анализ динамики NDVI с 2017 по 2022 гг., выполненный с использованием данных Sentinel-2, выявил снижение значений индекса, что, вероятно, связано со старением насаждений. Деградация полевых защитных лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края обусловлена комплексным воздействием природных и антропогенных факторов. Климатические изменения, проявляющиеся в увеличении аридности и учащении экстремальных засух, приводят к угнетению фитоценозов, снижению фотосинтетической активности и нарастанию водного дефицита. Естественные процессы старения древостоев снижают их резистентность к стрессовым воздействиям, что способствует фрагментации и снижению плотности насаждений. Антропо-

погенная нагрузка, включая нарушение целостности лесополос, усугубляет процессы деградации. Совокупное действие этих факторов приводит к снижению биопродуктивности, уменьшению площади лесополос и утрате их защитных функций.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования позволяют прогнозировать ухудшение состояния лесных полос через 5–7 лет и их частичное разрушение через 15 лет. Сформулированы предложения по обновлению лесополос с учётом их ориентации для повышения эффективности защиты от ветра и увеличения снегонакопления. Рекомендуется провести плановое лесовосстановление с использованием засухоустойчивых пород деревьев, адаптированных к местным условиям. Для поддержания устойчивости и продуктивности насаждений необходимо внедрить систему регулярных санитарных рубок, включая удаление сухостоя. Но самое важное — это разработка и внедрение региональной программы поддержки, направленной на восстановление и поддержание насаждений.

Ключевые слова: годовые кольца, дендроклиматический анализ, морфометрические показатели, данные дистанционного зондирования, NDVI

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

Original Article

FOREST BELTS IN THE DRY STEPPES OF THE ALTAI REGION: ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE

© CC BY A. Shigimaga¹, N. Bykov², N. Rygalova³

¹ *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: anettshigimaga@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7001-1448*

² *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3756-1859*

³ *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: natalia.ml@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0078-6133*

Received 19.10.2024

Revised 21.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. Assessment of the state of forest shelterbelts in the dry-steppe subzone of the Altai Territory and identification of key factors contributing to their degradation and area reduction.

Methodology. To achieve the goal of the study, dendrochronology methods were used, which allow analyzing tree rings to assess their age, growth rate, and response to climate change. Dendroclimatology studied the relationship between the growth dynamics of tree stands and climatic parameters such as temperature and precipitation. The taxation of stands included field measurements aimed at determining the composition of species, height, trunk diameter, crown density, and tree viability. In addition, remote sensing data analysis was used to assess the spatial distribution, density, and changes in the condition of forest belts in recent years based on satellite images. The integrated use of these methods provided a comprehensive assessment of the current state of shelterbelts in the dry steppe of the Altai Territory and identified key factors influencing their sustainability.

Results. The radial growth of trees in shelterbelts and their response to climatic factors are determined by their species composition and geographical location within the dry steppe. Precipitation deficiency and rising air temperatures most often cause a decrease in wood growth. The age, morphometric parameters of trees and their sanitary condition are correlatively interconnected, which makes it possible to forecast the state of shelterbelts on their basis. The results of processing remote sensing data (multispectral Landsat 5 and Landsat 8 images) indicate a significant reduction in the area of shelterbelts from 1990 to 2022. An analysis of the NDVI dynamics from 2017 to 2022, performed using Sentinel-2 data, revealed a decrease in the index values, which is probably due to the

aging of plantations. Degradation of forest shelterbelts in the dry steppe conditions of the Altai Territory is caused by the complex impact of natural and anthropogenic factors. Climate changes, manifested in increased aridity and more frequent extreme droughts, lead to the suppression of phytocenoses, a decrease in photosynthetic activity and an increase in water deficit. Natural processes of forest stand aging reduce their resistance to stress effects, which contributes to fragmentation and a decrease in the density of plantations. Anthropogenic load, including damage to the integrity of forest belts, aggravates the degradation processes. The combined effect of these factors leads to a decrease in bioproductivity, a decrease in the area of forest belts and the loss of their protective functions.

Research implications. The results of the study allow us to predict the deterioration of the forest belts in 5–7 years and their partial destruction in 15 years. Proposals have been formulated for the renewal of forest belts taking into account their orientation to improve the efficiency of wind protection and increase snow accumulation. It is recommended to carry out planned reforestation using drought-resistant tree species adapted to local conditions. To maintain the sustainability and productivity of plantations, it is necessary to introduce a system of regular sanitary felling, including the removal of dead wood. However, the most important thing is to develop and implement a regional support program aimed at restoring and maintaining plantations.

Keywords: tree rings, dendroclimatic analysis, morphometric parameters, remote sensing data, NDVI

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (no. FUFZ-2021-0007).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

ВВЕДЕНИЕ

Полезашитное лесоразведение в условиях сухой степи представляет собой важный аспект улучшения экологических условий территории. Лесные полосы оказывают положительное влияние на сельскохозяйственные угодья. Они защищают посевы от воздействий сильных ветров, суховеев, засух, эрозии почвы, увеличивая урожайность сельскохозяйственных культур, а также формируют биоразнообразие территории¹ [1; 4; 5; 9; 10].

Самые масштабные работы по созданию лесополос характерны для лесостепной и степной зон страны. В России они осуществлялись с начала XX в.² Так, например, на территории сухостепной подзоны Алтайского края было создано более 24 тыс. га лесных полос [6; 8]. Однако в начале 90-х годов XX в.

в связи с социально-экономическими изменениями в стране работы по созданию и поддержанию лесополос были прекращены. Это привело к снижению их защитных функций, деградации и сокращению площадей. Проведённая в 2011 г. инвентаризация лесополос Алтайского края показала их низкую сохранность и необходимость обновления [8].

Лесополосы, произрастающие в экстремальных для древесных растений условиях, проявляют высокую чувствительность и уязвимость на фоне климатического потепления и прогнозируемого увеличения засушливости. В связи с этим существует риск их разрушения уже в ближайшем будущем.

Данное исследование полезашитных лесных полос позволит оценить их современное состояние и дать прогноз их развития на ближайшее время.

В качестве территории исследования была выбрана сухостепная подзона Кулунды в границах Алтайского края, которая, согласно физико-географическому районированию, принадлежит Западно-Кулундинской подпровинции [2]. Отличительной особенностью здесь является континентальность климата, повторяемость сухих лет, малоснежность и неравномерное распределение осадков в

¹ Романов Р. Е., Высоцкая Е. А., Горбунова Н. С. Трансформация почвенного компонента агроценозов под влиянием экосистемы лесополос // Научные чтения, посвященные 135-летию К. П. Горшенина и 110-летию Н. Д. Градобоева: мат.-лы конф. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2023. С. 162–167.

² Лесомелиорация ландшафтов: учебник / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Б. Васильев, Г. В. Силаев. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 192 с.

течение года [14]. Данная территория представляет собой пролювиально-аллювиальную равнину с преобладанием низменных сухостепных аллювиальных супесчаных и песчаных равнин на каштановых и тёмно-каштановых почвах. Также встречаются низинные солонцово-степные супесчано-суглинистые озёрные и речные территории на каштановых и тёмно-каштановых солонцеватых почвах.

Растительный покров состоит преимущественно из многолетних микротермных и ксерофильных травяных растений, в основном дерновинных злаков¹.

Объектом исследования выступали деревья 21 полезащитной лесополосы (рис. 1).

Выбор ключевых участков осуществлялся с учётом ландшафтных особенностей территории, а также видового разнообразия дре-

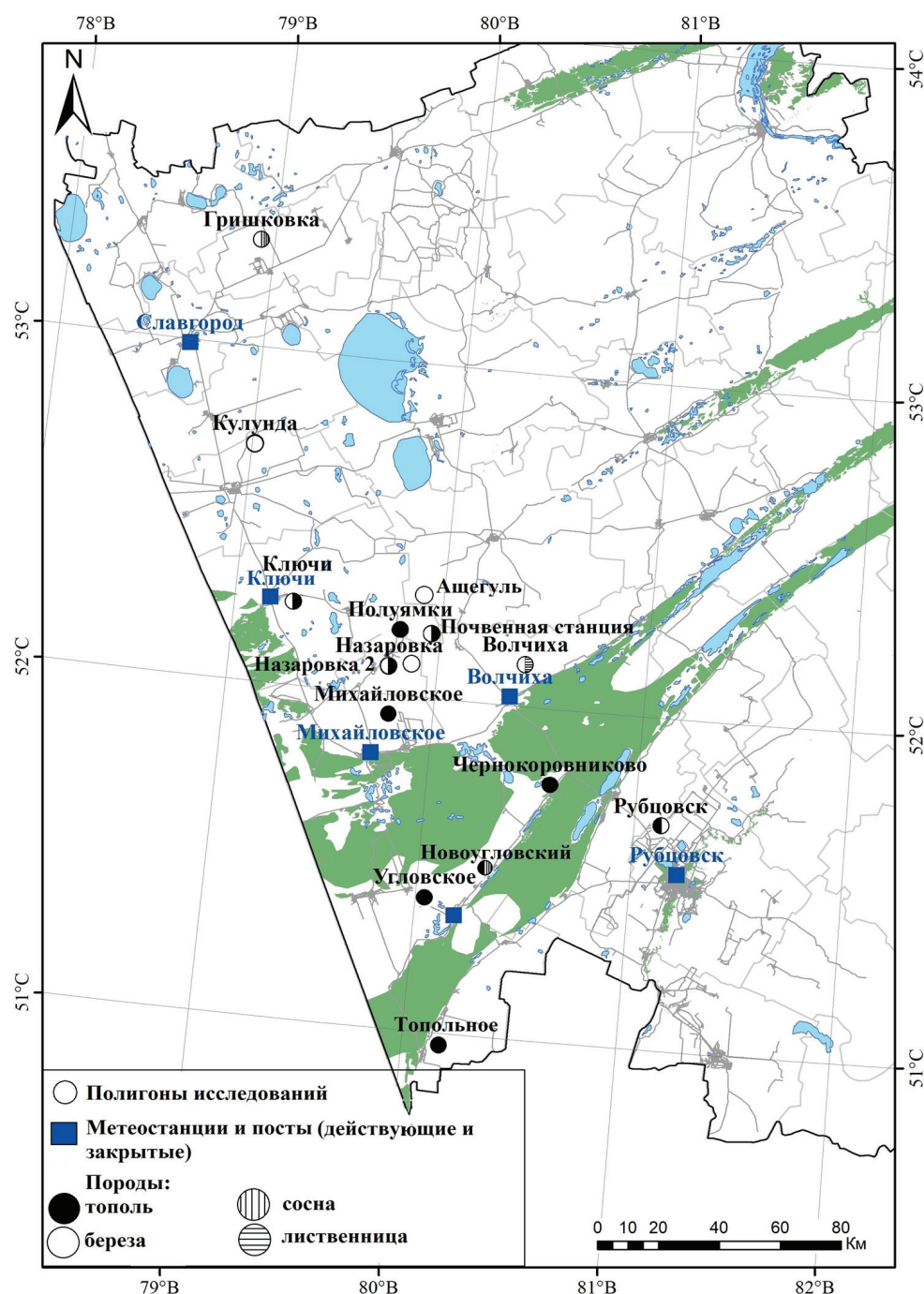


Рис. 1 / Fig. 1. Территория исследования / Research territory

Источник: составлено авторами

¹ Герасимов И.П. Материалы по геоморфологии Кулундинской степи // Тр. СОПС СН СССР, 1935. Вып. 10.

весных пород. Древесный состав представлен берёзой повислой (*Betula pendula* Roth.), тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.), лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (фото 1).

Для оценки современного состояния лесных полос был использован комплекс методов. На основе методов дендрохронологии и дендроклиматологии определялась возрастная структура древостоя с целью выявления основных природных факторов, оказывающих влияние на рост и развитие деревьев. Данный метод основывается на анализе данных о ширине колец годичного прироста деревьев и других параметрах [13]. Для этого в каждой лесополосе отбирались древесные керны с 15 здоровых, прямостоящих деревьев. При помощи возрастного бурава Haglof с каждого дерева было получено по 2 радиуса на высоте ~1,3 м. Для обеспечения репрезентативности данных образцы брались как с внутренней, так и с внешней стороны лесополос. Это позволило учесть влияние различных ми-

кроклиматических условий на рост деревьев. Отбор и обработка образцов выполнялись согласно общепринятой методике [7].

Измерение и анализ древесных кернов проводился при помощи специального оборудования LINTAB 6 и программного обеспечения TSAP [15], программы пакета DPL. Проверка качества измерений была проведена в программе COFESHA [12]. Стандартизация и построение обобщённых древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) выполнена в программе ARSTAN [11]. В качестве аппроксимирующих кривых были выбраны линейный тренд, негативная экспонента и кубический сплайн, которые подбирались в соответствии с особенностями ДКХ. У индивидуальных хронологий, полученных для каждого дендрополигона, проверялся так называемый единый популяционный сигнал (*EPS — Expressed Population Signal*), который показывает, насколько выборка отражает генеральную совокупность, и могут ли данные быть использованы для построения обобщённой хронологии конкретного дендрополигона [16].



Фото 1 / Foto 1. Исследуемые полезащитные лесные полосы / The studied forest shelterbelts

Источник: фото автора

Стандартизированные обобщённые древесно-кольцевые хронологии были проверены на предмет наличия в них климатического сигнала, который отражает коэффициент чувствительности, показывая степень воздействия внешних факторов на изменение величины прироста. Пороговым значением чувствительности древесно-кольцевых серий принято среднее значение коэффициента 0,2 [3].

Для проведения анализа между приростом и климатическими параметрами использовались данные среднесуточных температур и месячные суммы осадков ближайших метеостанций. Взаимосвязь между приростом ДКХ и климатическими определялась с помощью расчёта коэффициентов корреляции Пирсона.

При помощи методов лесотаксационных наблюдений проводился анализ морфометрических показателей деревьев и их санитарного состояния. Исследование было выполнено на 13 дендрополигонах в 14 лесополосах: Рубцовск (тополь и берёза), Чернокоровниково (тополь), Новоугловский (сосна), Топольное (тополь), Угловский (тополь), Михайловское (тополь), Назаровка (берёза), Назаровка 2 (берёза), Ащигуль (берёза), Почвенная станция (тополь и берёза), Ключи (тополь и берёза).

В каждой из них на площадке 400 м² у различных деревьев были измерены диаметр ствола у основания и на высоте ~1,3 м, высота, 2 диаметра кроны, выполнена оценка санитарного состояния и учтены повреждения на стволах и кроне (насекомые, следы пожаров и пр.). Оценка санитарного состояния деревьев проводилась в соответствии с действующими нормативными документами¹ и включала визуальный осмотр и классификацию деревьев по категориям состояния: здоровые, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие и сухостой. Учитывались признаки: наличие механических повреждений, степень поражения болезнями и вредителями, деформация ствола, усыхание ветвей и кроны, а также наличие плодовых тел грибов.

Анализ данных дистанционного зондирования и картографирование лесополос позволил сделать выводы о распределении полезащитных лесных полос и их площади на

исследуемой территории. В настоящее время методы дистанционного зондирования широко применяются для изучения лесополос, что позволяет получать актуальные данные о состоянии лесных экосистем².

Для создания карт плотности и нарушенности лесных полос использовались снимки *Landsat 8* (2022 г.), предоставленные USGS. На основе анализа спектральных характеристик и пространственного распределения лесных полос были выделены участки с нарушенной целостностью. В программе ArcGIS проведена оцифровка выпавших фрагментов и рассчитана площадь нарушений в км² с использованием инструментов геообработки. Для оценки ориентированности лесных полос применён анализ азимутального распределения.

Для оценки изменения площади лесных полос за последние 30 лет был выбран экспериментальный участок (рис. 2), территориально охватывающий Волчихинский и Михайловский районы Алтайского края. Были получены снимки *Landsat 5* за 1990 г. и *Landsat 8* за 2022 г. предоставленные *United States Geological Survey* (USGS). Такой подход позволил не только оценить текущее состояние полезащитных лесных полос, но и отследить их трансформацию за 3 десятилетия. Обработка изображений проводилась в программе ArcGIS Pro.

Для более детального выделения лесных полос и повышения их контрастности были применены различные индексы, однако наиболее эффективным оказался индекс TSAVI —

¹ Правила санитарной безопасности в лесах, 2020. Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах».

² Воробьев И. С. Концептуальные основания использования космического мониторинга в исследовании изменений состояния лесополос // Совершенствование методологии и организации научных исследований в целях развития общества Ч. 2: сб. ст. Стерлитамак, 2020. С. 17–21; Коба В. П., Мунтян О. Л. Космический мониторинг защитных лесополос степного Крыма // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности: мат-лы конф. Воронеж, 2022. С. 145–151; Колесникова И. А., Полужковский Б. В. Изучение состояния лесополос сельскохозяйственных земель Ставропольского края с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов: мат-лы конф. / под ред. Л. О. Григорьевой. Улан-Удэ, 2021. С. 67–70; Незамов В. И., Ярлыкова Н. С. Перспективы применения аэрокосмических методов в лесном хозяйстве // Мировые научные исследования и разработки в эпоху цифровизации: сб. ст. Ч. 2. Ростов-на-Дону, 2021. С. 151–155.

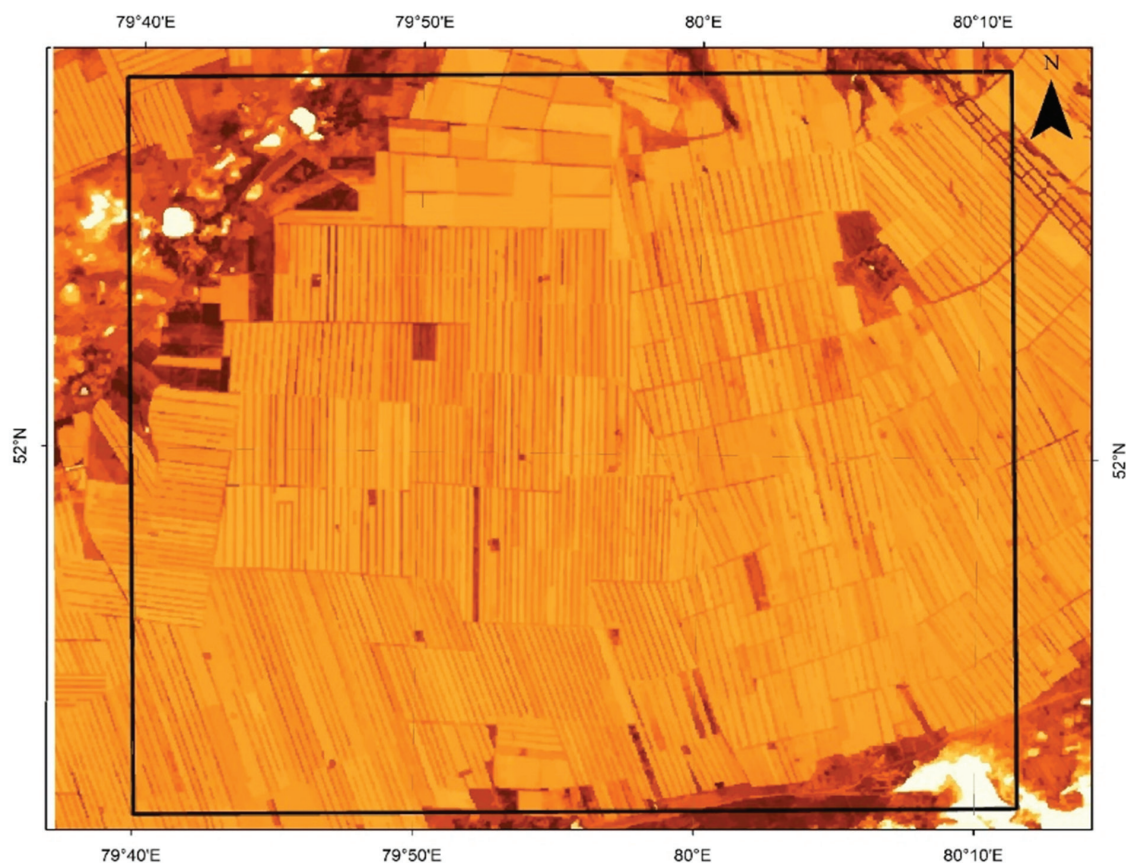


Рис. 2 / Fig. 2. Экспериментальный участок для расчёта изменения площади лесных полос за период с 1990 по 2022 г. / Experimental plot for calculating the change in the area of forest belts for the period from 1990 to 2022

Источник: составлено авторами

преобразованный индекс растительности с коррекцией по почве. Его использование обеспечило чёткое разделение растительности и почвы, увеличив контрастность между лесными полосами и окружающей средой.

Затем была проведена сегментация снимков с использованием кластерного алгоритма для автоматического выделения лесных полос. Далее была выполнена классификация этих участков. При помощи инструментов анализа выполнялся расчёт площади лесных полос за 1990 и 2022 г. Данная процедура позволила выделить преобразованные участки лесных полос и количественно оценить изменения.

Оценка изменения индекса NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) проведена с 2017 по 2022 г. Для получения данных была использована платформа Sentinel Hub и данные спутника Sentinel-2. Для каждой лесополосы рассчитаны даты начала и конца вегетационного периода на основе изменений значений NDVI. Начало вегетации определялось как

момент, когда значения NDVI устойчиво превышали порог 0,2–0,3, что свидетельствует о старте активной фотосинтетической деятельности растений. Конец вегетационного периода фиксировался при снижении значений NDVI ниже этого порога, что указывает на завершение активного роста. На основе этих данных для каждой лесополосы были получены максимальные значения NDVI за вегетационный период, которые отражают пик биологической активности растительности. Также определено общее количество дней вегетации, рассчитываемое как разница между датами начала и конца вегетационного периода.

Методы дендрохронологии, таксации, дистанционного зондирования и анализа NDVI, применённые в исследовании, взаимно дополняют друг друга, обеспечивая многоаспектную оценку состояния полей лесных полос. Если анализ данных дистанционного зондирования и NDVI позволяют оценить общую динамику растительности и площадь лесополос, то дендрохрологиче-

ский анализ даёт возможность изучить индивидуальные реакции деревьев на климатические и экологические изменения. На основе отобранных древесных кернов были построены древесно-кольцевые хронологии (ДКХ), которые раскрывают возрастную структуру, скорость радиального прироста и чувствительность деревьев к внешним факторам.

ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Анализ древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) показал, что возраст самых длительных индивидуальных ДКХ варьирует от 39 до 73 лет, а самых коротких — от 14 до 51 года.

Средний возраст исследованных деревьев на участках изменяется от 35 до 65 лет в зависимости от породного состава: берёза — 37–62 года, тополь — 35–65 лет, лиственница — 55 лет, сосна — 39–41 год (табл. 1).

Коэффициенты вариации возраста деревьев на участках низкие (0,04–0,18) и обусловлены разной скоростью вертикального роста. Средняя ширина годичных колец варьирует в зависимости от породного состава и географического расположения лесополосы. Для индивидуальных хронологий показатель изменяется от 1,0 до 7,9 мм: берёза — 1,3–7,9, тополь — 1,9–5,4, лиственница — 1,0–3,5, сосна — 2,3–5,6. По участкам от 1,2 до 4,3 мм: берёза — 1,5–3,0, тополь — 3,2–4,3, лиственница — 1,2, сосна — 3,7–3,9 мм. Коэффициент вариации средней ширины годичных колец

Таблица 1 / Table 1

Средние показатели индивидуальных хронологий / Average values of individual chronologies

Название хронологии	Период	Среднее число лет в хронологиях	Средний радиус, мм	Средний годичный прирост, мм	Древесная порода	Широта Долгота
Ключи	1969–2018	45±5	99,3±17	2,2±0,5	Берёза	52°13'30.87"C 79°11'38.60"B
Ключи	1969–2019	42±,8	132,6±40,1	3,2±0,7	Тополь	52°13'28.36"C 79°11'39.76"B
Назаровка	1975–2018	39±2,6	99,9±17	2,6±0,5	Берёза	51°57'49.31"C 79°38'48.86"B
Назаровка 2	1979–2021	37±2,9	109,3±20,5	2,9±0,5	Берёза	51°59'35.66"C 79°36'03.16"B
Ащигуль	1965–2021	43±5,5	100,5±26,2	2,3±0,5	Берёза	52° 6'0.12"C 79°55'4.14"B
Рубцовск	1965–2018	50±3,6	128,7±24,2	2,6±0,5	Берёза	51°40'3.32"C 81° 3'27.18"B
Рубцовск	1947–2019	65±8,4	224,1±44,2	3,4±0,5	Тополь	51°40'28.47"C 81° 3'51.23"B
Почвенная станция	1949–2018	51±9,3	163,4±41,2	3,2±0,6	Тополь	52° 3'51.72"C 79°54'20.24"B
Почвенная станция	1975–2019	40±3,2	109,5±14,5	2,7±0,4	Берёза	52° 3'58.89"C 79°54'38.98"B
Полуямки	1950–2019	56±8,9	202,6±37,4	3,6±0,7	Тополь	52° 3'53.35"C 79°42'37.92"B
Михайловское	1979–2018	35±4,8	116,5±24	3,3±0,9	Тополь	51°51'33.08"C 79°42'32.03"B
Угловское	1972–2018	38±7,4	130,8±36,8	3,5±0,8	Тополь	51°22'54.44"C 80° 3'52.98"B
Новоугловский	1971–2018	38±7,4	138,0±33	3,8±0,6	Тополь	51°26'13.70"C 80°13'48.93"B
Новоугловский	1979	39±5,2	149,1±31,3	3,9±0,8	Сосна	51°25'25.92"C 80°15'10.08"B

Название хронологии	Период	Среднее число лет в хронологиях	Средний радиус, мм	Средний годичный прирост, мм	Древесная порода	Широта Долгота
Волчиха	1961–2018	55±2	65,2±12,3	1,2±0,2	Лиственница	52°02'34,01"С 80°18'41,38"В
Волчиха	1947–2019	62±5	93,2±19,9	1,5±0,3	Берёза	52°02'32,53"С 80°18'43,87"В
Чернокоровниково	1967–2020	45±4,1	156,3±31,5	3,4±0,6	Тополь	51°37'56,40"С 80°27'49,72"В
Топольное	1971–2020	48±2,2	208,7±41	4,3±0,8	Тополь	50°56'17,7" С 80°07' 36,5" В
Кулунда	1971-2020	46±3,5	90,8±17,2	2,0±0,4	Берёза	52°36'39,46"С 78°52'52,34"В
Гришковка	1978–2020	41±1,8	151,8±28	3,7 ±0,6	Сосна	53°11'49,3" С 78°52' 23,3" В
Гришковка	1975–2020	42±3,4	123,7±26,5	3.0 ±0,7	Берёза	53°11'49,3" С 78°52' 23,3" В

Источник: составлено авторами

изменяется от 0,13 до 0,37: берёза – 0,13–0,37, тополь – 0,17–0,30, лиственница – 0,18. Наблюдается зависимость средней ширины прироста от среднего возраста хронологий на участках, указывающая на наличие возрастного тренда в радиальном росте деревьев (рис. 3).

Наиболее высокую скорость роста в сухой степи демонстрируют тополь и сосна, затем берёза, наименьшими темпами роста характеризуется лиственница. Тополь опережает берёзу по скорости прироста на 30%, а берёза превосходит лиственницу на 25–40%. У тополя отмечается тенденция увеличения ширины годичного кольца в юго-западном направлении, что связано с климатическими и географическими особенностями. Аналогичная, но менее выраженная тенденция наблюдается у берёзы. Приросты деревьев лесополос также

определяются их положением в лесополосе. Сравнительный анализ приростов деревьев с наветренной и подветренной сторон показывает, что значительное влияние оказывает снегонакопление. Наибольшими приростами отличаются деревья, расположенные на северо-восточной окраине лесополос, что определяется лучшим их увлажнением в связи с формированием здесь снежных заносов. Наименьшие приросты отмечаются у деревьев в глубине лесополос.

Анализ скорости вертикального роста показал значительные различия: тополь увеличивается с 80 см до 120 см за год, берёза – за 2–3 года, сосна – за 5 лет. Коэффициент чувствительности варьирует от 0,18 до 0,5 (табл. 2). Наиболее чувствительна к колебаниям климата берёза, затем лиственница,

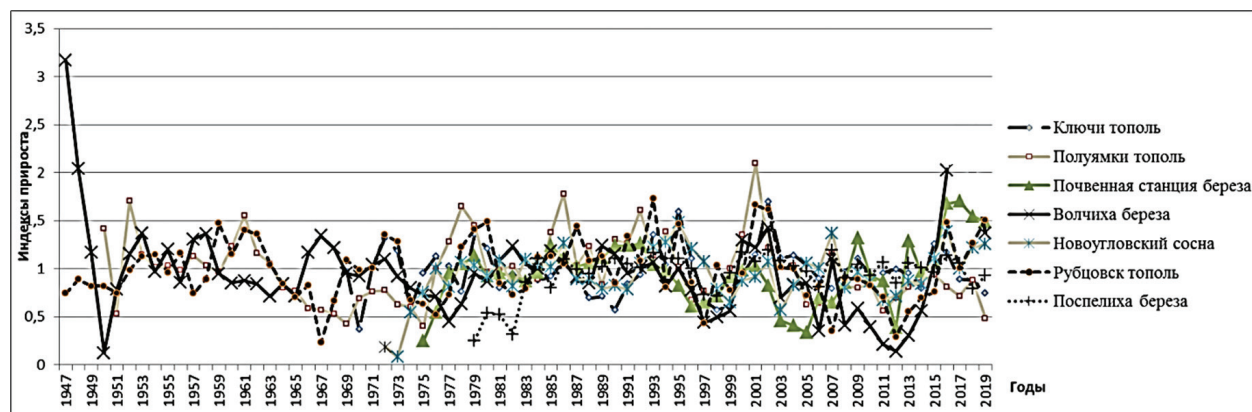


Рис. 3 / Fig. 3. Некоторые стандартизированные обобщённые древесно-кольцевые хронологии / Some standardized generalized tree-ring chronologies

Источник: составлено авторами

Таблица 2 / Table 2

Единый популяционный сигнал (EPS) абсолютных ДКХ и чувствительность обобщённых стандартизированных ДКХ/ Expressed Population Signal (EPS) of absolute (TRC) and sensitivity of generalized standardized (TRC)

Дендрополигон	Тополь		Берёза		Сосна		Лиственница	
	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ
Гришковка			0.98	0.28	0.98	0.22		
Кулунда			0.99	0.41				
Ключи	0.94	0.28	0.98	0.41				
Почвенная станция	0.99	0.30	0.97	0.35				
Полуямки	0.98	0.29						
Назаровка			0.98	0.33				
Назаровка 2			0.98	0.19				
Ашигуль			0.99	0.34				
Михайловское	0.97	0.23						
Волчиха			0.93	0.33			0.99	0.31
Рубцовск	0.98	0.35	0.99	0.35				
Угловское	0.95	0.29						
Новоугловский	0.97	0.23			0.98	0.24		
Чернокоровниково	0.99	0.31						
Топольное	0.99	0.21						

Примечания: EPS – единый популяционный сигнал EPS (Expressed Population Signal), ДКХ – древесно-кольцевые хронологии.

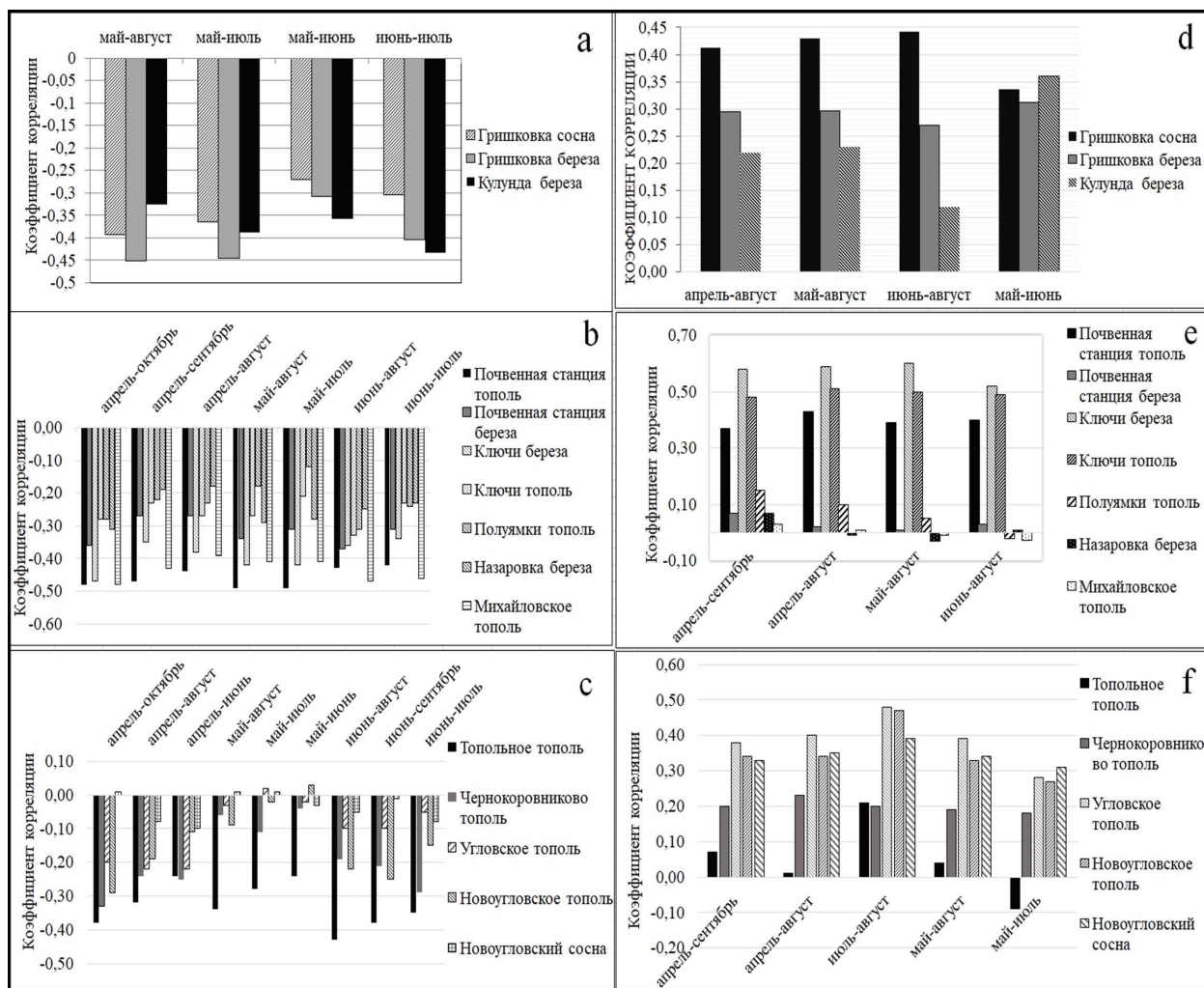
Источник: составлено авторами

тополь, а наименее – сосна. В группах тополевых и берёзовых хронологий отмечается повышение чувствительности хронологий в северо-восточном направлении. Чувствительность берёзовых хронологий изменяется в пределах ландшафтных катен: наибольшей чувствительностью отличаются берёзовые хронологии плакорных местоположений, а наименьшей – субкавальных участков.

Сопоставив данные древесно-кольцевых хронологий с количеством осадков и температурой, можно отметить, что взаимосвязь между радиальным приростом и среднемесячным количеством осадков выражена более отчетливо. Связи радиального прироста с осадками, преимущественно, положительные, это свидетельствует о том, что влага способствует увеличению прироста древесины в условиях сухой степи, и напротив, дефицит увлажнения вызывает уменьшение радиального прироста (рис. 4).

В северной части исследуемой территории в вегетационный период наиболее значимы осадки мая и июня, в средней – осадки за периоды апрель–август и май–август, а в южной части все деревья полезащитных лесополос положительно реагируют на осадки июля и августа. Внутри лесополосы также наблюдаются отличия, например, для деревьев северо-восточной окраины лесополосы наиболее значимыми являются осадки июня, а для деревьев, находящихся в середине лесополосы – осадки мая.

Взаимосвязь между среднемесячной температурой воздуха и радиальным приростом имеет обратную зависимость: повышение температуры воздуха вызывает снижение величины прироста древесины. Это объясняется возникновением неблагоприятных условий роста при повышении температуры воздуха: снижается влажность почвы, формируется дефицит влаги. Как правило, отрицательное



Условные обозначения:

- а) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Славгород» с индексами приростов годичных колец;
- б) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Ключи» с индексами приростов годичных колец;
- в) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Угловское» с индексами приростов годичных колец;
- д) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Славгород» за отдельные периоды;
- е) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Ключи» за отдельные периоды;
- ф) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Угловское» за отдельные периоды.

Рис. 4 / Fig. 4. Связь индексов приростов древесных растений с температурой и суммами атмосферных осадков за отдельные периоды/ Relationship between growth indices of woody plants and temperature and precipitation amounts for individual periods

Источник: составлено авторами

воздействие оказывает повышение температуры в вегетационный период, начиная с апреля. При этом у северных хронологий наиболее значимыми оказываются июнь и июль, а у южных — май и июнь.

Анализ корреляции древесно-кольцевых хронологий с ГТК Селянинова (диапазон

значений 0,23–0,74) показал значимость совокупного фактора тепла и влаги (табл. 3). К увлажнению наиболее чувствительны сосна и берёза, а менее — тополь и лиственница.

Древесно-кольцевая индикация предоставляет ценные данные о возрасте деревьев, скорости их роста и реакции на внешние фак-

Таблица 3/ Table 3

Коэффициенты корреляции индексов обобщённых хронологий и ГТК Селянинова по метеостанции Рубцовск/Славгород за 1989–2018 гг./ Correlation coefficients of generalized chronology indices and Selyaninov's HTC for the Rubtsovsk/Slavgorod meteorological station for 1989–2018

Название хронологии	Порода	Коэффициент корреляции	Название хронологии	Порода	Коэффициент корреляции
Гришковка	Сосна	0,42/0,44	Полуямки	Тополь	0,23/0,24
Гришковка	Берёза	0,29/0,18	Михайловское	Тополь	0,41/0,58
Кулунда	Берёза	0,44/0,40	Волчиха	Лиственница	0,34/0,14
Ключи	Берёза	0,67/0,34	Волчиха	Берёза	0,60/0,32
Ключи	Тополь	0,41/0,42	Угловское	Тополь	0,37/0,28
Назаровка	Берёза	0,30/0,39	Новоугловский	Тополь	0,33/0,21
Назаровка 2	Берёза	0,59/0,32	Новоугловский	Сосна	0,74/0,38
Ашигуль	Берёза	0,50/0,32	Чернокоровниково	Тополь	-0,01/0,17
Почвенная станция	Тополь	0,28/0,54	Почвенная станция	Берёза	0,23/0,46
Рубцовск	Берёза	0,61/0,32	Топольное	Тополь	0,11/0,42
Рубцовск	Тополь	0,28/0,40			

Источник: составлено авторами

торы, что помогает понять долгосрочную динамику развития лесных полос. Однако для оценки их текущего состояния и разработки мер по сохранению необходимы точные данные о структуре насаждений. Таксационное обследование, включающее анализ высоты деревьев, диаметров стволов, состояния крон и санитарного состояния насаждений, позволяет дополнить данные дендрохронологии и получить комплексное представление о текущем состоянии и устойчивости полезащитных лесных полос.

ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Таксационное обследование показало, что число деревьев на площадке размером 400 м² в изученных лесополосах колеблется от 10 до 61, а в среднем составляет 30,4 (табл. 4). Средняя высота деревьев изменяется от 8,9 м до 30,5 м. Диаметры стволов у основания и на высоте ~1,3 м в среднем составляют 37,3 и 28,9 см соответственно. При этом максимальные средние размеры у основания достигают 85,7 см, а минимальные — 12,5 см. На высоте ~1,3 м — 7,5 см, а максимальные — 44,6 см. Средний диаметр крон варьирует в лесополосах от 3,33 м до 20 м, по всем исследованным площадкам — 5,92 м. Средние по площадке

категории санитарного состояния деревьев изменяются от 1,55 до 3,33, а по всем площадкам — 2,11.

Многие показатели тесно связаны друг с другом. Наиболее сильно взаимосвязаны диаметры стволов у основания и на высоте ~1,3 м (коэффициент корреляции составляет 0,99). Высота деревьев имеет значимую связь с диаметрами стволов на различных уровнях, что прямо обусловлено их возрастом. Обратная связь со средними морфологическими показателями деревьев имеет число деревьев на площадке — выше деревья и толще их стволы, тем меньше их остаётся на площадке (табл. 5).

В соответствии с Правилами санитарной безопасности в лесах¹ почти все исследованные лесополосы относятся к категории ослабленных лесных насаждений (средневзвешенный балл 1,51–2,5) и 1 лесополоса — к категории сильно ослабленных лесных насаждений. Средневзвешенный балл санитарного состояния всех обследованных лесополос — 2,14. Это свидетельствует о том, что лесополосы в среднем близки к переходу в категорию сильно ослабленных насаждений.

Средневзвешенные категории санитарного состояния деревьев коррелируют с их морфологическими признаками (высота деревьев,

¹ Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах» // СПС «Консультант Плюс».

Таблица 4 / Table 4

Средние показатели деревьев исследованных полевых защитных лесополос / Average indicators of trees in the studied shelterbelts

Название площадки	Порода	Число деревьев	Высота деревьев, м	Диаметр ствола у основания, см	Диаметр ствола на высоте ~1,3 м, см	Диаметр кроны, м	Категория санитарного состояния	Возраст, лет
Поспелиха	Лиственница	32	15±2,9	29,3±7,5	22,4±6,1	3,41±1,5	2,12±0,5	47
Рубцовск	Берёза	21	18,6±5,8	33±11,4	25,9±9,0	4±1,7	2±0,8	57
Рубцовск	Тополь	11	30,5±1,8	85,7±15,5	75,2±2,8	20±1,2	3,33±0,5	75
Ключи	Берёза	52	8,9±5,6	12,5±12,5	7,5±8,5	6,49±2,0	1,55±0,5	53
Ключи	Тополь	24	15±6,7	46,6±21,6	31,5±11,2	6,94±3,1	2±0,3	53
Чернокоровниково	Тополь	45	22,1±9,7	43,9±12,8	35,2±11,2	3,33±1,6	2,2±0,5	55
Новоугловский	Сосна	17	18,2±3,3	35±11,4	31,8±7,0	5,27±1,8	1,59±0,5	43
Угловское	Тополь	18	13±6,3	31,7±13,6	26,4±12,8	3,78±2,2	2,28±	50
Топольное	Тополь	15	21,2±3,5	43,8±7,7	37,7±7,4	5,14±2,3	2,1±0,3	51
Михайловское	Тополь	34	12,6±3,9	31,5±9,8	28±6,9	3,89±1,8	2,22±0,8	43
Назаровка	Берёза	45	10,3±5,2	12,6±12,2	8,6±8,1	4,14±1,8	1,8±0,7	47
Назаровка 2	Берёза	28	12,5±3,8	36,6±11,7	23,6±8,7	6±2,1	1,71±0,7	44
Ащигуль	Берёза	43	11,2±3,3	35,6±14,3	19,2±7,4	4,59±1,6	2,12±0,8	57
Почвенная станция	Тополь	10	19,6±5,2	57,4±20,8	44,6±11,7	8,29±2,6	2,4±0,7	73
Почвенная станция	Берёза	61	13,9±7,4	23,9±13,7	16,7±9,7	3,49±1,7	2,25±0,9	47

Источник: составлено авторами

Таблица 5 / Table 5

Связь таксационных показателей и санитарного состояния деревьев в полевых защитных лесополосах / Relationship between taxation indicators and the sanitary condition of trees in shelterbelts

Показатели	Число деревьев	Высота деревьев	Диаметр ствола у основания	Диаметр ствола на высоте ~1,3 м	Диаметр кроны	Категория состояния	Возраст
Число деревьев	1						
Высота деревьев	-0,57	1					
Диаметр ствола у основания	-0,68	0,90	1				
Диаметр ствола на высоте ~1,3 м	-0,69	0,92	0,99	1			
Диаметр кроны	-0,45	0,68	0,80	0,81	1		
Категория состояния	-0,38	0,72	0,82	0,83	0,73	1	
Возраст	-0,44	0,81	0,78	0,77	0,84	0,67	1

Источник: составлено авторами

диаметры их стволов, диаметр кроны). Чем больше их размеры, тем хуже их состояние. Наиболее хорошим физиономическим индикатором санитарного состояния деревьев является диаметр их ствола. Если средний на пло-

щадке диаметр стволов у их основания менее 30 см, то, как правило, средний балл категории санитарного состояния <2. По мере увеличения среднего диаметра от 30 до 80 см среди деревьев II категории увеличивается доля

деревьев III категории. Деревья с диаметром стволов более 80 см чаще всего имеют III и IV категорию санитарного состояния. Среднее значение санитарного состояния, равное 2, достигается деревьями лесополос сухостепной подзоны примерно в 40-летнем возрасте, а значение, равное 3 — в возрасте 55–60 лет (рис. 5).

Переход в категорию сильно ослабленных насаждений происходит, в среднем, в возрасте 50 лет (возраст дерева на высоте ~1,3 м). Поскольку возраст всех обследованных деревьев составляет 45 лет, следует ожидать, что большинство исследованных лесополос перейдут в категорию сильно ослабленных насаждений в течение ближайших 5–7 лет, а через 15 лет — в категорию усыхающих насаждений.

В лесополосах Ащигуль, Назаровка, Назаровка-2 и Рубцовск у основания стволов берёз были отобраны керны для проверки наличия ядровой гнили. Всего было обследовано 82 дерева. Оказалось, что 100% деревьев IV категории санитарного состояния поражены ядровой гнилью. Среди деревьев III категории поражены 88% деревьев, II категории — 59%, а среди I категории — 32%. Таким обра-

зом, ядровая гниль наиболее распространена среди деревьев с худшим санитарным состоянием.

АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСОПОЛОС

Использование методов дистанционного зондирования (мультиспектральные снимки Landsat 5 и Landsat 8) и картографирования лесополос исследуемой территории позволило сделать выводы о неравномерном их распределении и сокращении их площади за последние 30 лет. Наибольшая плотность лесных полос наблюдаются в центральной части, исследуемой территории, которая приурочена к Михайловскому, Волчихинскому и Кулундинскому районам Алтайского края (до 3,4 км длины лесных полос на км²) (рис. 6а).

Южная и северная оконечности исследуемой территории характеризуются наименьшей плотностью полезащитных лесных полос от 0 до 0,9 км на км². Площадь лесополос за период с 1990 по 2022 г. на модельном участке

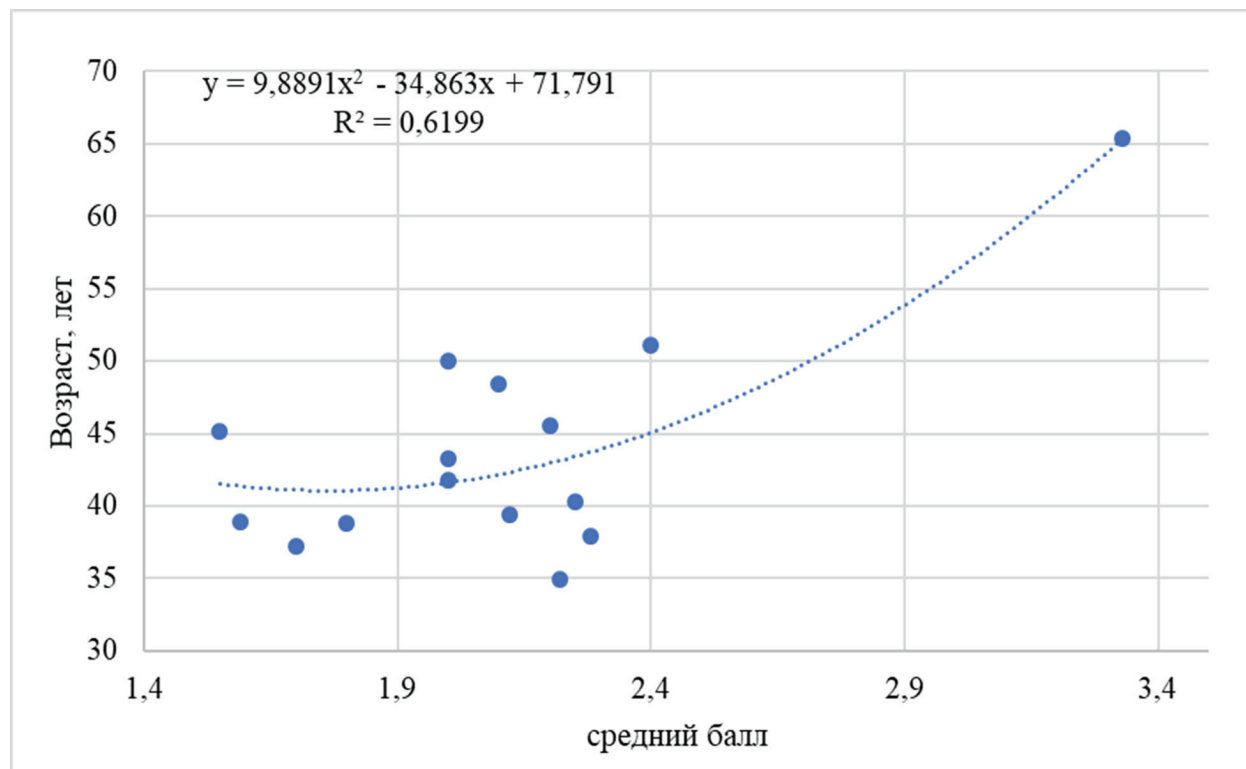


Рис. 5 / Fig. 5. Взаимосвязь среднего возраста и категорий санитарного состояния у деревьев полезащитных лесополос / Relationship between average age and categories of sanitary condition of trees in shelterbelts

Источник: составлено авторами

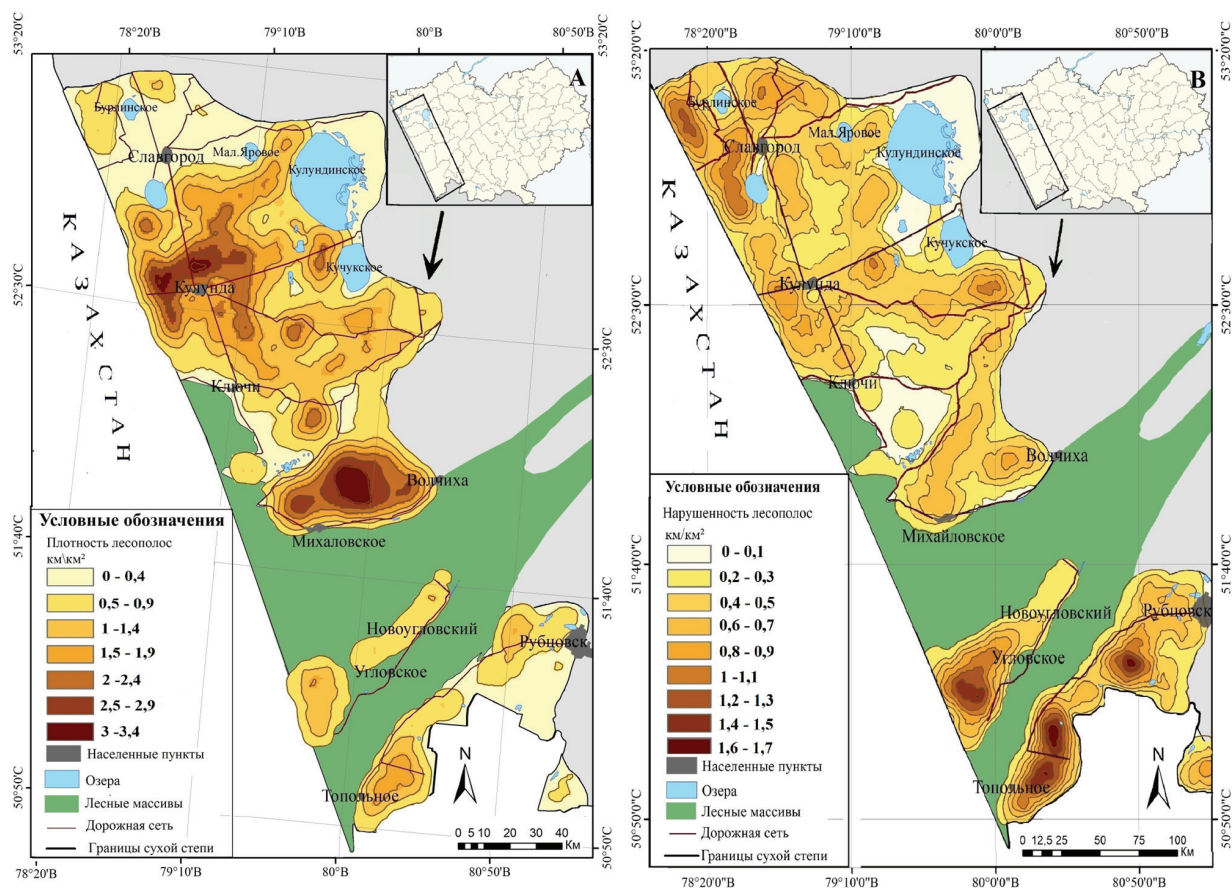


Рис. 6 / Fig. 6. Карты плотности (а) и нарушенности (б) лесных полос сухостепной подзоны Кулунды / Maps of density (a) and disturbance (b) of forest belts of the dry steppe subzone of Kulunda

Источник: составлено авторами

сократилась с 8 990 га до 8 080 га, что составляет почти 10%. Наиболее нарушенные участки отмечаются в Угловском, Рубцовском, Славгородском, Табунском районах Алтайского края. В данных районах на 1 км² приходится 1,7 км выпавших лесополос (рис. 6б).

Проанализировав расположение полевых защитных лесных полос относительно господствующих ветров, было установлено, что их ориентация иногда неэффективна с точки зрения уменьшения скорости ветра и снегонакопления¹. Наибольшее ветрозащитное влияние они оказывают в том случае, если расположены перпендикулярно направлению ветра. Отклонение направления ветра от перпендикулярного допускается не более 30°².

¹ Особенности распределения снежного покрова на сельскохозяйственных угодьях сухой степи Алтайского края / Н. И. Быков, Е. В. Рыгалов, А. А. Шигимага, А. А. Бондарович // География и природопользование Сибири. 2020. № 27. С. 63–72.

² Лесомелиорация ландшафтов: учебник / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Б. Васильев, Г. В. Силаев. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 192 с.

Для достижения наибольшего положительного эффекта на прилегающие территории лесные полосы должны располагаться перпендикулярно господствующим ветрам. Результаты картографирования показывают, что в Ключевском и Кулундинском районах наблюдаются области с неэффективными защитными насаждениями, направление которых в большинстве соответствует от 0° до 90° и имеют северо-восточное направление (рис. 7). В данном случае лесные полосы параллельны господствующим ветрам и, соответственно, не обеспечивают достаточной защиты от ветров и их воздействия на окружающую среду. В Табунском, Волчихинском, Угловском районах Алтайского края наблюдается наиболее выгодное расположение насаждений, которое соответствует юго-восточному направлению.

Оценка индекса NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) показала, что вегетационный сезон у всех исследованных лесных полос начинается в период с апреля по май и заканчивается с сентября по октябрь в зависимости

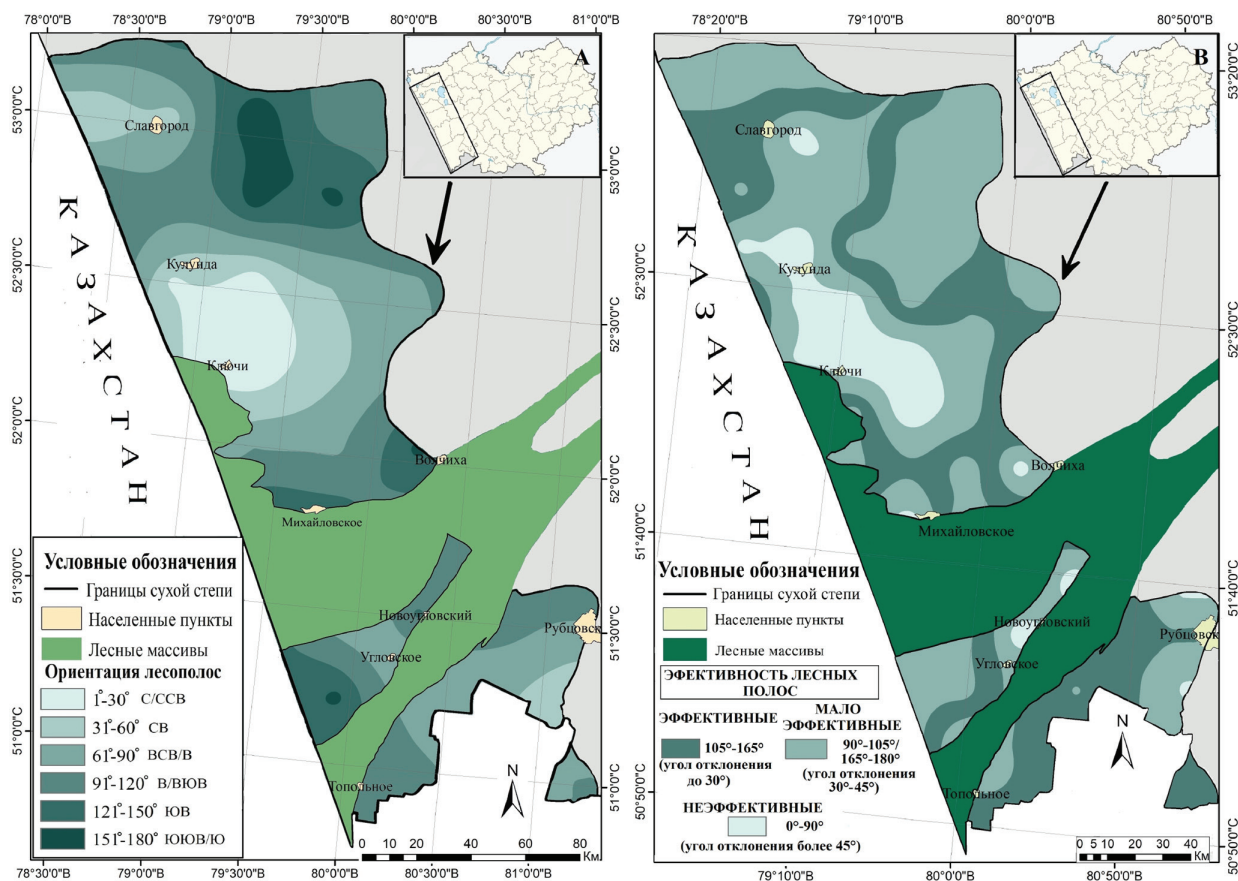


Рис. 7 / Fig. 7. Карты ориентированности (а) и эффективности (б) лесных полос сухостепной подзоны Кулунды / Maps of orientation (a) and efficiency (b) of forest strips in the dry-steppe subzone of the Kulunda subzone

Источник: составлено авторами

от конкретного года. Раньше всех вегетационный период начинается у берёзы повислой, несколько позднее (через 7–14 дней) у тополя бальзамического и далее у лиственницы сибирской. Окончание вегетации тополевых лесополос происходит раньше берёзы на несколько дней. В целом, средняя длина вегетационного периода у берёзы за исследованный период с 2017 по 2022 г. составляет 173 дня, у тополя — 164 дня, у лиственницы — 159 дней. По тополевым дендрополигонам отмечается уменьшение длины вегетационного периода в южном направлении, возможно, это связано с более засушливыми условиями на юге исследуемой территории, которые ограничивают доступность влаги для растительности (рис. 8). По берёзовым дендрополигонам особой закономерности выявлено не было.

Для исследованных дендрополигонов были рассчитаны максимальные значения индекса NDVI за период вегетации. Дендрополигоны: Рубцовск (берёза, тополь), Волчиха (лиственница), Назаровка-2 (берёза), Ащегуль

(берёза), Кулунда (берёза), характеризуются максимальными значениями индекса NDVI. Подобная тенденция может быть связана с различными факторами: породным составом, густотой насаждений (участки лесных полос с выпавшими деревьями имеют наименьшие значения индекса NDVI), климатическими факторами (осадками, температурой), и немаловажным моментом может выступать здоровье древесных насаждений. Кроме того, на некоторых дендрополигонах отмечена тенденция снижения значений индекса NDVI со временем.

Дополнительно был проведён анализ средних значений NDVI по дендрополигонам с таксационными показателями: диаметр крон, диаметр ствола у основания, диаметр ствола на высоте ~1,3 м, возраст, высота деревьев, а также категории состояния насаждений (рис. 9).

Анализ выявил устойчивые взаимосвязи между значениями NDVI и таксационными характеристиками древостоев. Наиболее выраженная корреляция NDVI с высотой де-

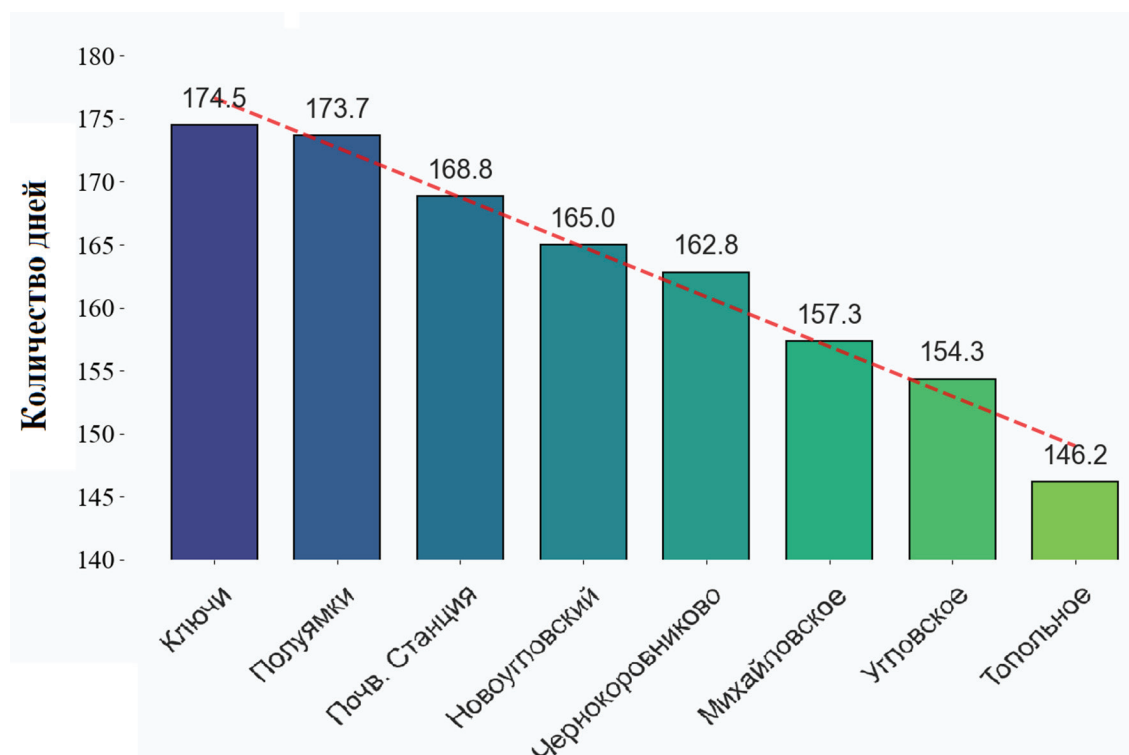


Рис. 8 / Fig. 8. Распределение длины вегетационного периода с севера на юг по тополевым дендрополигонам / Distribution of the length of the growing season from north to south across poplar dendropolygons

Источник: составлено авторами

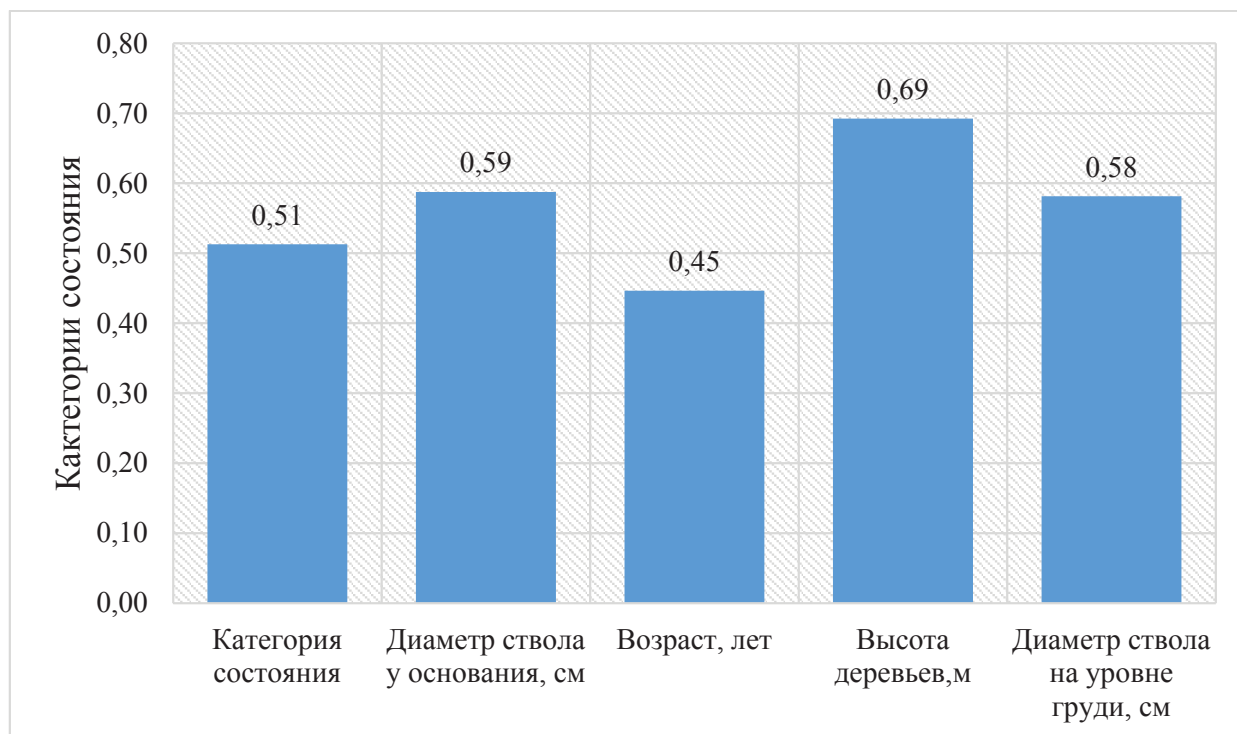


Рис. 9 / Fig. 9. Корреляция среднего значения NDVI дендрополигонов с таксационными показателями / Correlation of the average NDVI value of dendropolygons with taxation indicators

Источник: составлено авторами

ревьев, обусловлена увеличением площади листовой поверхности, что усиливает фотосинтетическую активность и, как следствие, повышает значения индекса. Диаметр ствола является показателем накопленной биомассы и общего развития дерева. Более толстые стволы обычно характерны для зрелых и здоровых деревьев, которые активно участвуют в фотосинтезе и имеют развитую корневую систему, обеспечивающую доступ к ресурсам. Это объясняет сильную связь с NDVI, т. к. такие деревья демонстрируют высокую вегетационную активность. При этом связь с возрастом деревьев менее выражена, что может быть связано с постепенным снижением фотосинтетической активности у старых деревьев, несмотря на увеличение их биомассы. Таким образом, NDVI демонстрирует высокую чувствительность к ключевым биометрическим параметрам, что делает его мощным инструментом для мониторинга продуктивности и здоровья лесных экосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ показал, что современное состояние полезащитных лесополос характеризуется значительным ухудшением, обусловленным как климатическими факторами, так и возрастной структурой насаждений. Наибольшее значение для радиального роста деревьев полезащитных лесополос сухой степи имеет увлажнение территории.

Возраст, морфометрические показатели деревьев и их санитарное состояние коррелятивно взаимосвязаны, что позволяет на их основе осуществлять прогноз состояния лесополос. Имеется устойчивая линейная связь морфометрических показателей с возрастом деревьев. При этом чем значительнее морфометрические показатели деревьев (высота деревьев, диаметры их стволов, диаметр крон), тем хуже их санитарное состояние. На основании установленной связи между возрастом деревьев и их санитарным состоянием можно прогнозировать, что через 5–7 лет они перейдут в категорию сильно ослабленных насаждений, что вызовет их частичное разрушение, а через 15 лет – в категорию усыхающих насаждений.

Анализ данных дистанционного зондирования и картографирование лесополос иссле-

дуемой территории позволил сделать выводы о неравномерном их распределении и сокращении их площади. Установлено, что ориентация лесных полос иногда неэффективна с точки зрения уменьшения скорости ветра и снегонакопления. Анализ данных NDVI свидетельствует о различиях в длине вегетационного периода у деревьев разных пород, а также сокращении значений NDVI в многолетнем плане, что, вероятно, обусловлено старением лесополос.

Наибольшему сокращению подвержены полезащитные лесные полосы возрастом более 50 лет, состоящие преимущественно из берёзы и тополя. Это связано с естественным старением древостоев, снижением их устойчивости к засухам и увеличением поражения ядровой гнилью.

Полученные результаты подчёркивают необходимость срочных управленческих мер для сохранения и восстановления лесополос, учитывая их значительную деградацию и возрастающие климатические риски. Требуется разработка и внедрение новых стратегий, направленных на улучшение санитарного состояния лесополос и их адаптацию к экстремальным климатическим условиям, чтобы обеспечить их устойчивость и функциональность в будущем.

Для предотвращения дальнейшей деградации и повышения устойчивости лесополос рекомендуется начать с поэтапной замены стареющих деревьев молодыми саженцами, уделяя особое внимание породам, показавшим наибольшую устойчивость и скорость роста.

На основе проведённого анализа можно сделать вывод, что наиболее успешной для формирования лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края является сосна. Она демонстрирует высокую скорость радиального роста и устойчивость к засушливым условиям, что делает её наиболее подходящей для защиты от ветровой эрозии и улучшения микроклимата. Тополь также является быстрорастущей и засухоустойчивой породой, однако он более подвержен ядровой гнили и менее долговечен. Берёза и лиственница менее устойчивы к дефициту влаги и имеют более низкие темпы роста. Таким образом, приоритет следует отдавать сосне как наиболее перспективной и долговечной породе. Это позволит не только сохранить функциональ-

ность лесополос, но и адаптировать их к изменяющимся климатическим условиям.

Возведение новых полезащитных лесных полос необходимо проводить с учётом их ориентации для повышения эффективности защиты от ветра и увеличения снегонакопления. Для предотвращения развития заболеваний на здоровые деревья следует регулярно проводить санитарные рубки, удаляя деревья с III и IV категориями состояния и пораженные гнилью.

Однако самое важное — это разработка и внедрение региональной программы поддержки, направленной на восстановление и поддержание полезащитных насаждений, с привлечением финансирования из федеральных и местных бюджетов. Вовлечение местных сообществ и сельхозпроизводителей в процесс восстановления лесополос также является важным шагом, т. к. это позволит повысить осведомлённость о роли лесополос в защите почв и повышении урожайности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абакумов Б. А., Бабенко Д. К., Бертнев И. М. Защитное лесоразведение в СССР. М.: Агропромиздат, 1986. 263 с.
2. Алтайский край: атлас. Т. 1. М., Барнаул, 1978. 203 с.
3. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С.. Дендроклиматические исследования в Урало Сибирской Субарктике. Новосибирск: Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 246 с.
4. Грибачева О. В., Сотников Д. В., Черская Н. А. Влияние полезащитных лесополос и сорной растительности на урожайность озимой пшеницы в ГУП ЛНР «Агрофонд» // Вестник аграрной науки. 2022. № 2. С. 12–19. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.2.12
5. Ишутин, Я. Н. Лесополосы в Кулундинской степи. Барнаул: Алт. Ун-т, 2005. 160 с.
6. Кукис С. И., Горин В. И. История защитного лесоразведения в Алтайском крае // Опыт полезащитного лесоразведения на Алтае: сб. ст. / сост. А. Д. Нехаев, Н. В. Яшутин. Барнаул: Алтайское кн. изд-во, 1973. С. 13–71.
7. Методы дендрохронологии. Ч. I / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов, В. Б. Круглов, В. С. Мазепа, М. М. Наурзбаев, Р. М. Хантемиров. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
8. Парамонов Е. Г. Итоги инвентаризации защитных лесных насаждений в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 8. С. 58–62.
9. Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н. Лесополосы как фактор улучшения экологической обстановки в степной Кулунде // Сибирский экологический журнал. 2009. № 5. С. 687–691.
10. Румянцев Д. Е. Лес, засуха, урожай зерновых и дендрохронология // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3. С. 82–85.
11. Cook E. R., Krusic P. J. Program ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Palisades. N.Y., 2005. 14 p.
12. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. Vol. 43. № 3. P. 69–78.
13. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian / eds.: M. Kaennel, F. H. Schweingruber. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1995. 467 p.
14. Kharlamova N. F. Climatic Variability of the Kulunda Steppe // KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research / eds.: M. Frühauf et al. Lentz. Springer, Cham, 2020. P. 19–32. DOI:10.1007/978-3-030-15927-6_3
15. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
16. Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Htdrometeorology // Journal of Climate and Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. P. 201–213.

REFERENCES

1. Abakumov B. A., Babenko D. K., Bertnev I. M. *Zashchitnoye lesorazvedeniye v SSSR* [Protective afforestation in the USSR]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 263 p.
2. *Altayskiy kray: atlas* [Altai region: atlas]. Vol. 1. Moscow, Barnaul, 1978. 203 p.
3. Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Mazepa V. S. *Dendroklimaticheskiye issledovaniya v Uralo Sibirskoy Surktike* [Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk, Sibirskaya izdatelskaya firma RAN Publ., 1996. 246 p.
4. Gribacheva O. V., Sotnikov D. V., Cherskaya N. A. [The influence of shelterbelts and weed vegetation on the yield of winter wheat in the State Unitary Enterprise of the LPR “Agrofond”]. In: *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], 2022, no. 2, pp. 12–19. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.2.12
5. Ishutin Ya. N. *Lesopolosy v Kulundinskoy stepi* [Forest Belts in the Kulunda Steppe]. Barnaul, Alt. Un-t Publ., 2005. 160 p.

6. Kukis S. I., Gorin V. I. [History of Protective Forest Cultivation in Altai Krai]. In: Nekhaev A. D., Yashutin N. V., eds. *Opyt polezashchitnogo lesorazvedeniya na Altaye* [Experience of Protective Forest Cultivation in Altai]. Barnaul, Altayskoye kn. izd-vo Publ., 1973, pp. 13–71.
7. Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M., Khamtemirov R. M. [Dendrochronology Methods. Part I]. Krasnoyarsk, KrasGU Publ., 2000. 80 p.
8. Paramonov E. G. [Results of the inventory of protective forest plantations in Altai Krai]. In: *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2012, no. 8, pp. 58–62.
9. Paramonov E. G., Ishutin Ya. N. [Shelterbelts as a factor in improving the environmental situation in the steppe Kulunda]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2009, no. 5, pp. 687–691.
10. Rumyantsev D. E. [Forest, drought, grain yield and dendrochronology]. In: *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2019, no. 3, pp. 82–85.
11. Cook E. R., Krusic P. J. *Program ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics*. Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Palisades. N.Y., 2005. 14 p.
12. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. In: *Tree-Ring Bull*, 1983, vol. 43, no. 3, pp. 69–78.
13. Kaennel M., Schweingruber F. H., eds. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1995. 467 p.
14. Kharlamova N. F. Climatic Variability of the Kulunda Steppe. In: Frühauf M. et al., eds. *KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research*. Lentz. Springer, Cham, 2020, pp. 19–32. DOI:10.1007/978-3-030-15927-6_3
15. Rinn F. *TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation*. Heidelberg, Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p
16. Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. In: *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, vol. 23, pp. 201–213.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шигимага Анна Александровна — младший научный сотрудник лаборатории ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: anettshigimaga@mail.ru

Быков Николай Иванович — кандидат географических наук, заведующий лабораторией ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

Рыгалова Наталья Викторовна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: natalia.ml@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Shigimaga — Junior Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: anettshigimaga@mail.ru

Nikolay I. Bykov — PhD (Geography), Laboratory Head, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

Natalya V. Rygalova — PhD (Geography), senior researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Environmental Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: natalia.ml@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Шигимага А. А., Быков Н. И., Рыгалова Н. В. Комплексная оценка современного состояния полевых защитных лесных полос сухой степи Алтайского края // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 6–26.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

FOR CITATION

Shigimaga A. A., Bykov N. I., Rygalova N. V. Comprehensive assessment of the current state of field protection forest strips in the dry steppe of the Altai Territory. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 6–26.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

Научная статья
УДК 504.055

ОПЫТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ» Г. МОСКВЫ)

© СС ВУ Лукьянов Л. Е.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: lev.lykhanov@yandex.ru; ORCID: 00-0001-5294-3711*

Поступила в редакцию 23.09.2024

После доработки 18.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Разработка методики определения и оценка количества добавленной энергии при световом загрязнении ландшафтов природного заказника «Воробьёвы горы».

Процедура и методы. Проанализированы технические характеристики ландшафтного освещения в природном заказнике, при котором световые характеристики светодиодов осветительных приборов были преобразованы в энергетические, характеризующие искусственно генерируемую световую энергию в природную среду заказника. Эта энергия сравнивалась с притоком фотосинтетически активной радиации, включая и её поступление в сумеречное время, а также на начало вегетационного периода и листопада. В эти периоды при изменении освещённости происходят выраженные изменения многих внутриландшафтных процессов, особенно заметных в перестройке биоты.

Результаты. Световое загрязнение рассматривается как фактор антропогенной динамики ландшафта, т. к. оно сопряжено с поступлением энергии фотонов и тепловой энергии от осветительных приборов. Выявлены количественные значения притока добавленной энергии от систем искусственного освещения в ландшафты, потенциально влияющего на их сезонную и суточную ритмику функционирования, изменение биоразнообразия, которое наиболее часто фиксируется как следствие светового загрязнения, однако без раскрытия внутреннего механизма этого явления. В эксперименте доля добавленной энергии за счёт светового потока от суммарной солнечной радиации в летнее время составила 3–6%, в зимнее время — до 70%. В начале и конце вегетационного периода прирост суммарной радиации за счёт добавленной энергии составил 6,4% и 34,1%, что в вегетационный период влияло на сдвиги сроков начала распускания листьев деревьев и листопада.

Теоретическая и/или практическая значимость. Выявлен физический механизм воздействия светового загрязнения, лежащего в основе физиологических изменений растительного и животного мира. Выполненные на основе инструментальных измерений расчёты позволяют ставить вопрос о влиянии добавленной энергии искусственного светового потока на ритмику природных процессов, изменение биоразнообразия, почв, экзогенных геоморфологических процессов. Полученные данные могут быть использованы для организации контроля и регулирования светового загрязнения в ООПТ.

Ключевые слова: искусственное освещение, особо охраняемые природные территории, световое загрязнение, ритмика ландшафтов

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность профессору географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова Татьяне Михайловне Красовской за помощь в создании концепции исследования, проведении расчётов добавленной энергии и обсуждение полученных результатов.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-27-40

Original Article

ENERGY ESTIMATION OF LIGHT POLLUTION (THE CASE STUDY OF THE VOROBYOVY GORY NATURE RESERVE IN MOSCOW)

© CC BY L. Lukianov

*Lomonosov Moscow State University**Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation**e-mail: lev.lykianov@yandex.ru; ORCID: 00-0001-5294-3711*

Received 23.09.2024

Revised 18.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. Methodology elaboration for determining and estimating the amount of the added light pollution energy to the landscapes of the Vorobyovy Gory Nature Reserve.

Methodology. Landscape lighting technical characteristics in the nature reserve were analyzed. Light characteristics of the LEDs lighting devices were converted into energy units, reflecting artificially generated light energy flux into the reserve natural environment. This energy was compared with the influx of photosynthetically active radiation, including its influx at dusk, as well as at the beginning of the growing season and leaf fall. During these periods, changes in lighting caused a considerable impact on many internal landscape processes, especially noticeable in biota restructuration.

Results. Light pollution is regarded as a factor of anthropogenic landscape dynamics, since it is associated with the supply of photon and thermal energy from lighting devices. Quantitative values of the added energy influx from artificial lighting systems into landscapes were identified. This potentially affects their seasonal and diurnal rhythms, changes in biodiversity which are most often recorded as a result of light pollution, however, without revealing the internal mechanism of this phenomenon. In our experiment, the added energy share due to the artificial lighting flux from the total solar radiation in the summer was 3–6%, in winter – up to 70%. At the beginning and at the end of the growing season, the increase in total radiation due to the added energy amounted to 6.4% and 34.1%. During the growing season, it affected shifts in the start time of tree leaf blooming and leaf fall.

Research implications. The theoretical and/or practical significance lies in identification of physics of light pollution impact process underlining physiological changes in the plant and animal world. Assessment based on instrumental measurements allows us to raise the question of the artificial light added energy impact on natural processes rhythm, changes in biodiversity, soils, and exogenous geomorphological processes. The data obtained may be used to manage light pollution control and regulation in protected areas

Keywords: artificial lighting, specially protected natural areas, light pollution, landscapes rhythms

Acknowledgments. The author expresses his deep gratitude to the professor of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, T. M. Krasovskaya for her help in creating the research concept, the added energy flux assessment, and discussing the results.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-27-40

ВВЕДЕНИЕ

Ритмика природных процессов является универсальной экосистемной функцией. Пространственно-временная ритмичность природных процессов, связанных с астрономическими, геологическими и другими ритмами, разнообразна — от планетарных геологических ритмов глобального масштаба до суточных региональных и локальных. Самыми известными проявлениями ритмичности природных процессов, отражающимися на

динамике ландшафтов, являются сезонные и суточные изменения. Появление этих ритмов обусловлено цикличным поступлением солнечной энергии. Вследствие этого на протяжении 24 ч. в ландшафте меняются микроклиматические характеристики, физиология растений и животных (циркадные ритмы), интенсивность внутрипочвенных процессов и т. д. [1; 16]. Для проявления изменений в ландшафтах в процессе сезонной ритмики необходим относительно протяжённый период, зависящий от интенсивности поступления

солнечной радиации (географической широты, особенностей рельефа и др.). В этот период происходят выраженные колебания изменений климатических, биогеохимических и др. характеристик. В средних широтах сезонными ритмами обусловлены две основных фенофазы растительного покрова: вегетации и покоя, разделённые переходными состояниями (бутонизация, распускание листьев и листопад), а также сезонное изменение видового состава орнитофауны, интенсивности процессов разложения органического вещества в почвах и т. д. Суточные ритмы также сопряжены с изменениями температурного режима, влажности, циркадных ритмов биоты и т. д., наличием коротких переходных периодов — сумерками.

Антропогенное воздействие на ландшафты затрагивает не только изменение их физико-химических и биотических характеристик, но и ритмику их функционирования, постепенно приводя к изменению исходных характеристик ландшафта, наиболее очевидным из которых является увеличение чистой первичной продукции за счёт удлинения вегетационного периода. На суточное состояние ландшафтов и фазы их сезонных изменений, контролируемых притоком солнечной энергии, оказывает определённое влияние световое загрязнение, наиболее заметное на изменении циркадных ритмов биоты [11; 26]. Световое загрязнение может рассматриваться как фактор антропогенной динамики ландшафта, т. к. оно сопряжено с поступлением энергии фотонов и тепловой энергии от осветительных устройств.

В. И. Вернадский, рассматривая проблему устойчивого состояния биосферы, заметил, что оно достигается в результате установления динамических физико-химических равновесий, которое нарушается чуждыми данному состоянию проявлений энергии [3].

Неконтролируемый рост светового загрязнения наиболее чётко прослеживается в урбанизированных районах Земли и представляет собой угрозу для здоровья человека и нормального функционирования экосистем, вызванных среди прочего изменением ритмики освещённости [22; 28; 29]. Наиболее полно влияние светового загрязнения изучено в отношении изменения обмена веществ у человека. Расширяются исследования влияния светового загрязнения на птиц, летучих мышей, морских черепаха, насекомых и т. д. [19; 25]. При этом

сопряжённые изменения в ландшафтах в целом практически не изучены, хотя можно считать, что они транслируются через растительный покров, преобразующий энергетические потоки в ландшафтах [27]. Подобные изменения потоков энергии могут представлять интерес для моделирования влияния интенсивного потепления климата на ландшафты и их экосистемные функции. Это обстоятельство позволяет рассматривать эту проблему как геоэкологическую в контексте воздействия на ландшафты не только техногенных факторов [6], но и климатических изменений [14].

В связи с этим целью исследования стала разработка методики определения и оценка количества добавленной энергии при световом загрязнении ландшафтов природного заказника «Воробьёвы горы», меняющем ритмику их функционирования.

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заказник «Воробьёвы горы» расположен в г. Москве и тянется узкой дугой (ширина до 400 м) вдоль р. Москвы от устья р. Сетунь до Андреевского монастыря (рис. 1). Площадь заказника — 137,5 га. Связи с другими элементами зелёной инфраструктуры города не имеется, т. к. заказник со всех сторон окружён транспортными магистралями. В заказнике обитает большое число видов (более 70) растений и животных, внесённых в Красную книгу г. Москвы; также там находится 14 объектов культурного наследия, 5 из которых являются памятниками федерального значения [5].

Территория Воробьёвых гор в 1987 г. получила статус памятника природы геологического характера, а в 1998 г. стала природным заказником регионального значения. В 2013 г. территория заказника была передана в безвозмездное пользование ЦПКиО «Парк Горького», что привело к росту антропогенной нагрузки, обусловленной внедрением элементов благоустройства (ландшафтное освещение¹,

¹ Ландшафтное освещение — это система осветительных приборов, устанавливаемых на территории садовых участков или парков с декоративными целями (подчёркивание красоты отдельных элементов ландшафта, создание акцентов и т. д.). В природном заказнике «Воробьёвы горы» ландшафтное освещение было установлено в 2018 г. с целью «подчеркнуть ценность природного заказника как знакового элемента природного каркаса Москвы» (См.: Проект ландшафтной

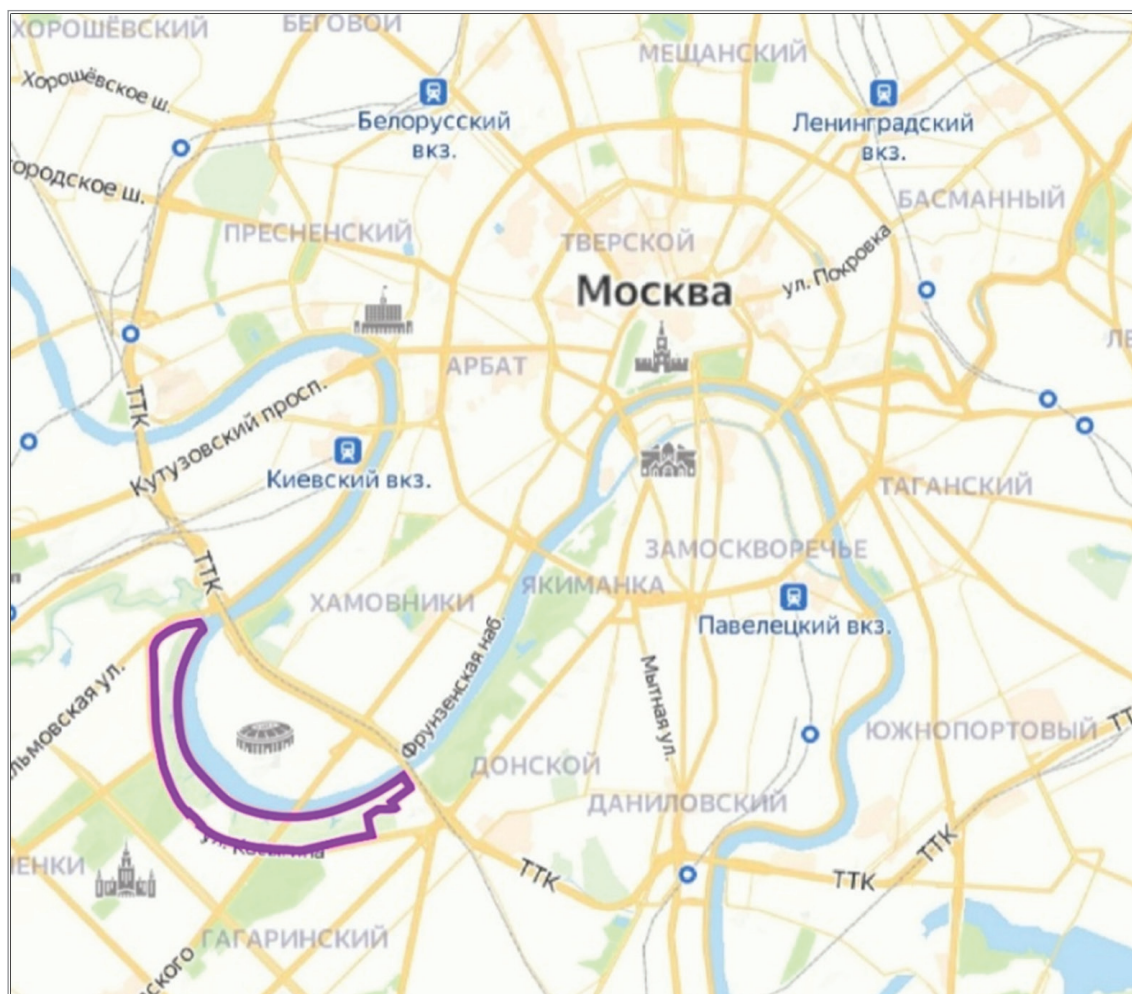


Рис. 1 / Fig. 1. Расположение природного заказника «Воробьёвы горы» в пределах г. Москвы / Location of the Vorobyovy Gory Nature Reserve within Moscow

Источник: Яндекс Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/maps/213/moscow> (дата обращения: 03.02.2025)

установка билбордов), вырубкой древостоя под строительство спортивных сооружений и т. п., что входит в противоречие с основными целями и задачами ООПТ¹, но стимулирует её рекреационное использование. В связи с этим в заказнике усугубились проблемы шумового и визуального загрязнения.

Исследования включали полевые измерения интенсивности светового потока (люксметр СЕМ DT-1301) на высоте 1,5 м тестовой площадки, геоботанических характеристик освещаемых участков с выявлением призна-

подсветки разработают для Бульварного кольца и Воробьёвых гор // ICMOS: [сайт]. URL: <https://icmos.ru/news/46036-proekt-landshaftnoy-podsvetki-razrabotayut-dlya-bulvarnogo-koltsa-i-vorobevykh-gor> (дата обращения 03.02.2025).

¹ 27 декабря 2024 г., согласно постановлению Правительства Москвы № 3160-ПП, заказник получил статус особо охраняемой зелёной территории (ООЗТ).

ков потенциальной угрозы биоразнообразию, а также памятникам природы и культуры местного значения (традиционным эстетически ценным пейзажам заказника, историческому облику сохранившихся строений). Выборочно осуществлялись промеры уровня освещённости на различной высоте от линзы прожектора. Измерения при ясном и облачном небе на участках с ландшафтным освещением практически не отличались, в более затенённых участках они могли различаться в зависимости от облачности в 5 раз (от 0,2 лк летом в безоблачную погоду до 1,0 лк зимой в облачную погоду), что согласуется с данными других исследователей [23]. Интенсивность искусственного светового потока варьируется в зависимости от расстояния до прожектора, тип которого изучен по их техническим характеристикам. Характеристика изменения

природных ритмов проводилась с использованием материалов тематических публикаций и собственных полевых наблюдений.

Физические характеристики уровня освещённости могут быть преобразованы в энергетические показатели мощности светового потока только при наличии технических характеристик источника освещения и освещаемой территории, поэтому в нашем исследовании был использован анализ технических характеристик светодиодов на прожекторах. Уровень освещённости в природном заказнике «Воробьёвы горы» сопоставляется с имеющимися в тематических публикациях.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННОГО ЛАНДШАФТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

На территории Воробьёвых гор на площади в 24 га расположены опоры ландшафтного освещения высотой около 3,75 м. Опоры располагаются в 3 ряда (в некоторых местах наблюдается скученность до 5 рядов). Всего на территории ООПТ располагается 1000 опор по 12 прожекторов на каждой на протяжении 4 км вдоль набережной (рис. 2). Среднее расстояние между опорами — 10 м. Прожектора направлены вверх, в кроны деревьев, под углом 45–60°.

Подсветка осуществляется LED-светодиодными уличными прожекторами архитектурно-художественной иллюминации мощностью 163 Вт, с углом освещённости 25°, оснащёнными многоканальными контроллерами для смены цветов. На каждом прожекторе расположено по 72 светодиода, аналогичных светодиоду ARPL-Star-3W-EPA-RGB (350mA, W/W). Проведённые нами расчёты КПД светодиодов при различных спектрах светового потока с использованием коэффициента преобразования световых величин в энергетические (ГОСТ 8.332-2013) показали, что при мощности светодиода в 3 Вт средний КПД составляет 8% (т. е. светодиод излучает 0,24 Вт в виде света и 2,76 Вт в виде тепла).

Ввиду пересечённого характера рельефа опоры освещения установлены на разных уровнях: в днищах оврагов, на плоских участках, на бровках оползневых террас и т. д. Всё это создаёт неравномерную освещённость территории ООПТ. Где-то распространение световых потоков ограничивается холмами, и

лучи не проходят вглубь ООПТ, а где-то особенности рельефа, наоборот, способствуют вторжению лучей глубоко внутрь охраняемой территории. Ландшафтное освещение на Воробьёвых горах включается в среднем через 15 минут после захода солнца и выключается в полночь.

ЭНЕРГИЯ СВЕТОВОГО И ТЕПЛОВОГО ПОТОКОВ

При исходной мощности и КПД прожектора лишь 13 Вт расходуется на оптическое излучение. За 1 ч ($13 \text{ Вт} \times 3600 \text{ с}$) 46,8 кДж световой энергии поступает от 1 прожектора в окружающую среду, а от 12 прожекторов на 1 опоре — 561,6 кДж/час. Для всей освещённой территории заказника (все прожекторы освещают около 40 га территории) получим суммарно 561,6 МДж/час. В пересчёте на 1 м² кроны это составит 1400 Дж/ч (или 23 Дж/мин.). Крона дерева — объёмный объект (примерно 1 м³), представляющий собой условную квадратную поверхность, приподнятую вверх на среднюю высоту дерева (20 м) параллельно земле и принимающую на себя энергию светового потока.

Распространение тепловой энергии отличается от распространения энергии фотонов света. Величина теплового излучения зависит от теплопроводности среды, конвекции и т. п. Оценить эти параметры в данном исследовании не представляется возможным, т. к. влияние добавленной тепловой энергии на экосистемы имеет более сложную зависимость от исходных и меняющихся характеристик ландшафтов, чем световой, что требует дополнительных исследований.

При исходной мощности прожектора (163 Вт) и КПД (8%) прожектора, а также известной доли оптического излучения получим, что около 150 Вт рассеивается в виде тепла. Тепловой поток от 1 прожектора в окружающую среду составляет 540 кДж/ч, 12 прожекторов на опоре дают 6,48 МДж/ч, а все 12 тыс. прожекторов в заказнике высвобождают 6480 МДж/ч. В пересчёте на 1 м² это составит 16,2 кДж/ч (или 270 Дж/мин.). Таким образом, добавленная антропогенная энергия от ландшафтного освещения составляет: 270 Дж тепла + 23 Дж света = 293 Дж/мин. дополнительной энергии на 1 м².



Рис. 2 / Fig. 2. Ландшафтное освещение на Воробьёвых горах: *a* — опора ландшафтного освещения с прожекторами; *b* — работающее ландшафтное освещение в зимнее время; *в* — пространственное распространение опор и засветки ландшафтного освещения / Landscape lighting in the Vorobyovy Gory Nature Reserve: *a* — landscape lighting pole with spotlights; *b* — landscape lighting in winter; *c* — spatial distribution of landscape lighting illumination and its poles.

Источник: Фото и картографический материал автора

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ АНТРОПОГЕННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Как было отмечено выше, ландшафтное освещение включается через 15 мин. после захода солнца и работает до полуночи, что

при различной продолжительности светового дня и определяет продолжительность поступления добавленной энергии. На основании известного времени включения и времени работы освещения в минутах было рассчитано количество добавленной световой энергии для каждого дня в году (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Количество добавленной световой энергии в зависимости от продолжительности светового дня в течение года, в кДж/м² / The amount of additional light energy depending on the length of daylight during the year, kJ/m²

Дата	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.	Дек.
1	10,56	9,32	7,91	6,46	5,06	3,80	3,40	4,30	5,93	7,75	9,50	10,63
2	10,53	9,27	7,87	6,42	5,01	3,77	3,43	4,35	6,00	7,80	9,55	10,65
3	10,51	9,20	7,82	6,37	4,97	3,73	3,43	4,39	6,05	7,87	9,59	10,67
4	10,49	9,15	7,77	6,33	4,92	3,70	3,45	4,44	6,12	7,94	9,64	10,70
5	10,47	9,11	7,73	6,28	4,88	3,68	3,45	4,49	6,19	7,98	9,68	10,70
6	10,42	9,06	7,68	6,23	4,83	3,66	3,47	4,53	6,23	8,05	9,73	10,72
7	10,40	9,02	7,64	6,19	4,78	3,63	3,50	4,58	6,30	8,10	9,78	10,74
8	10,35	8,97	7,59	6,14	4,76	3,59	3,50	4,62	6,35	8,17	9,82	10,74
9	10,33	8,90	7,54	6,10	4,72	3,57	3,52	4,67	6,42	8,21	9,87	10,76
10	10,28	8,86	7,48	6,05	4,65	3,54	3,54	4,74	6,49	8,28	9,91	10,76
11	10,26	8,81	7,43	6,00	4,62	3,52	3,57	4,78	6,53	8,33	9,96	10,79
12	10,21	8,76	7,38	5,96	4,58	3,52	3,59	4,83	6,60	8,40	10,01	10,79
13	10,17	8,72	7,34	5,91	4,53	3,50	3,61	4,88	6,65	8,46	10,05	10,79
14	10,14	8,67	7,29	5,87	4,49	3,47	3,66	4,92	6,72	8,51	10,07	10,79
15	10,10	8,60	7,25	5,82	4,44	3,45	3,68	4,99	6,79	8,58	10,12	10,79
16	10,05	8,56	7,20	5,77	4,39	3,45	3,70	5,04	6,83	8,63	10,17	10,79
17	10,01	8,51	7,15	5,70	4,37	3,43	3,73	5,08	6,90	8,69	10,19	10,79
18	9,96	8,46	7,11	5,66	4,30	3,43	3,75	5,15	6,97	8,74	10,24	10,79
19	9,91	8,42	7,06	5,61	4,28	3,40	3,80	5,20	7,02	8,79	10,28	10,79
20	9,87	8,37	7,02	5,57	4,23	3,40	3,82	5,24	7,08	8,86	10,30	10,79
21	9,84	8,30	6,97	5,52	4,19	3,40	3,86	5,31	7,13	8,90	10,35	10,76
22	9,80	8,26	6,92	5,47	4,14	3,38	3,89	5,36	7,20	8,97	10,37	10,76
23	9,75	8,21	6,88	5,43	4,12	3,38	3,93	5,43	7,27	9,02	10,42	10,74
24	9,71	8,17	6,83	5,38	4,07	3,38	3,96	5,47	7,31	9,06	10,44	10,74
25	9,64	8,12	6,79	5,34	4,05	3,38	4,00	5,54	7,38	9,13	10,47	10,72
26	9,59	8,07	6,74	5,29	4,00	3,38	4,05	5,59	7,45	9,18	10,51	10,70
27	9,55	8,03	6,69	5,24	3,96	3,38	4,09	5,66	7,50	9,22	10,53	10,70
28	9,50	7,96	6,65	5,20	3,93	3,38	4,12	5,70	7,57	9,29	10,56	10,67
29	9,45	-	6,60	5,15	3,89	3,40	4,16	5,77	7,61	9,34	10,58	10,65
30	9,41	-	6,56	5,11	3,86	3,40	4,21	5,82	7,68	9,38	10,60	10,63
31	9,36	-	6,51	-	3,82	-	4,26	5,89	-	9,43	-	10,60
Всего	310,6	241,8	223,4	173,5	136,8	105,1	116,1	156,8	204,3	267,0	303,3	332,6

Источник: составлено автором

ТРИГГЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЗОННОЙ РИТМИКЕ ВНУТРИЛАНДШАФТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Энергия солнца — это электромагнитные колебания с разными длинами волн. 40–45% этой энергии приходится на область от 380 до 770 нм, т. е. видимый свет. Более короткие волны представляют собой ультрафиолетовую радиацию, более длинные — инфракрасную. Коротковолновая радиация вызывает мутагенез растений и изменяет их репродуктивные возможности, длинноволновая радиация воспринимается как тепло, и тоже оказывает влияние на растения, ускоряя или замедляя метаболические реакции [13]. Пигменты хлоропластов в листе растений способны поглощать только радиацию видимого света (380–710 нм) — фотосинтетически активную радиацию (ФАР). В умеренной зоне в летний полдень лист растения поглощает 85% видимого света, пропускает 5% и отражает 10%. Инфракрасная радиация (тепло) поглощается на 25%, пропускается на 30% и отражается на 45% [13]. Поглощение ФАР неодинаково для разных областей спектра: в спектральном составе наиболее поглощаемыми являются лучи красного и синего спектра, наименее поглощаемыми — зелёного.

Основным аккумулятором и преобразователем поступающих в ландшафты энергии является растительный покров. При этом условия произрастания растений, оптические свойства листа разных жизненных форм мало влияют на поглощение, пропускание и отражение света. Не углубляясь более в биологические характеристики использования ФАР, определим коэффициент поглощения ФАР лесными участками заказника (с преобладанием клёна, дуба, берёзы) для формирования фитомассы, опираясь на средние значения расчётов по лесным территориям с наиболее близким видовым составом — 1,15%, что соответствует аналогичным показателям для лесных систем России [2; 4; 8]. Основное поглощение света происходит в верхних ярусах растительного покрова. Энергия поглощённого света определяет ритмику ландшафтных процессов: изменяется период листопада, распускания почек, плодоношения и т. п. [17; 21; 23].

Известно, что длительность фотопериода и температурный режим оказывают прямое

влияние на фенофазы древесных пород [20]. Энергия, влияющая на изменение фотопериода, связанного с дополнительным освещением, рассчитанная нами для заказника, представлена в таблице 1. Сравним эффективность поглощения ФАР на модельной территории и приток добавленной энергии, используя данные наблюдений метеостанции МГУ [9] и представленные выше расчёты (табл. 2).

Рассмотрим подробнее количество ФАР и добавленную энергию от светового потока в условные начальные дни «перестроечного» периода в ландшафтах — т. е. в средние по Москве периоды начала распускания почек и начала листопада. При этом для разных видов эти сроки могут отличаться, как и длительность вегетационного периода, который для Москвы составляет около 150 дней [9].

Кульминационный период сезонной перестройки, связанный с распусканием почек и листопадом многих древесных пород, условно принимаем в следующие даты: 27–30 апреля и 01–04 октября. Этот процесс в вегетационный период весной обеспечивает энергия ФАР в 28 МДж/м², в период листопада — 8 МДж/м² (табл. 2). С учётом коэффициента поглощения ФАР растительным покровом, равным 1,15%, получим в эти даты энергию ФАР_{кплд} равной 322 кДж/м² и 92 кДж/м² соответственно. В свою очередь, добавленная энергия светового потока с наступлением темноты составляет в конце апреля 20,7 кДж/м², в начале октября — 31,3 кДж/м² (табл. 1).

Посчитаем, какой приток ФАР_{кплд} приходит в апреле и в октябре на 1 м² за 1 мин. За последние 4 дня апреля (3 962 мин. «света») 1 м² территории получает 322 кДж энергии, следовательно, за 1 мин. получим 81,3 Дж. За первые 4 дня октября (3 064 мин. «света») 1 м² территории получает 92 кДж энергии, значит, за 1 мин. получим 30 Дж. Добавленная энергия светового потока за 1 мин. в любое время года составляет 23 Дж.

Таким образом, в конце апреля энергия естественного светового потока вместе с добавленной энергией возрастает до 342,7 кДж/м², т. е. добавленная энергия даёт прирост 6,4% (табл. 3). В начале октября сумма ФАР равна 91,9 кДж/м², а суммарная энергия составляет 123,3 кДж/м², т. е. добавленная энергия даёт прирост 34,1%. Можно предположить, что вычисленные значения притока добавленной энергии являются триггерными

Таблица 2 / Table 2.

Сопоставление потоков ФАР (с учётом КПД) и добавленной энергии / Comparison of photosynthetically active radiation (PAR) fluxes and additional energy

Месяц	ФАР, МДж/м ²	Добавленная энергия от светового потока, МДж/м ²	Суммарная энергия (ФАР + до- бавленная), МДж/м ²	Доля добавленной энергии от всей суммарной	ФАР при КПД = 1,15%, МДж/м ²	Суммарная энергия (ФАР _{кпд} + добавленная), МДж/м ²	Доля добавленной энергии от (ФАР _{кпд} + добавленная)
I	23	0,31	23,3	1,33%	0,26	0,58	54%
II	50	0,24	50,2	0,48%	0,58	0,82	30%
III	115	0,22	115,2	0,19%	1,32	1,55	14%
IV	177	0,17	177,2	0,10%	2,04	2,21	8%
V	258	0,14	258,1	0,05%	2,97	3,10	4%
VI	271	0,11	271,1	0,04%	3,12	3,22	3%
VII	265	0,12	265,1	0,04%	3,05	3,16	4%
VIII	202	0,16	202,2	0,08%	2,32	2,48	6%
IX	123	0,20	123,2	0,17%	1,41	1,62	13%
X	57	0,27	57,3	0,47%	0,66	0,92	29%
XI	21	0,30	21,3	1,42%	0,24	0,54	56%
XII	13	0,33	13,3	2,49%	0,15	0,48	69%

Источник: составлено автором

Таблица 3 / Table 3

ФАР и количество добавленной энергии в рассматриваемые периоды / Photosynthetically active radiation and the amount of additional energy in the periods under review

Дата	Продолжи- тельность естественного освещения, мин.	ФАР _{кпд} за 1 мин., Дж/м ²	ФАР _{кпд} за световой день, кДж/м ²	Продолжи- тельность работы ландшафтного освещения, мин.	Добавленная энергия от светового потока в 1 мин., Дж/м ²	Добавленная энергия за время работы ландшафтного освещения, кДж/м ²
27.04	983	81,3	79,91	228	23	5,24
28.04	988		80,32	226		5,20
29.04	993		80,73	224		5,15
30.04	998		81,13	222		5,11
01.10	773	30	23,19	337	23	7,75
02.10	768		23,04	339		7,80
03.10	764		22,90	342		7,87
04.10	759		22,77	345		7,94

Источник: составлено автором

для ускорения «запуска» рассматриваемых фенологических процессов.

Вывод о стимулирующем сезонные фенофазы потоке добавленной энергии подтверждается экспериментальными наблюдениями. Так, наблюдения за изменением фенофаз растений в результате светового загрязнения в Словакии, Великобритании и других странах

свидетельствуют о более раннем распускании почек весной, задержке осеннего опадания листьев, увеличению фитомассы надземных частей растений при уменьшении подземной и т. п. [18; 22; 24; 27]. В Словакии на тестовых участках зафиксировано, что меняются фенофазы древесных пород: например, наступление сроков листопада у клёна белого (*Acer*

*pseudoplatanus*¹⁾) откладывается на 1 неделю на участке с интенсивностью засветки всего в 6–8,5 лк, крайне незначительном при сравнении с ландшафтной подсветкой в природном заказнике «Воробьёвы горы» [23]. В Великобритании отмечено ускорение распускания почек у берёзы повислой (*Betula pendula*) примерно на 4 дня [24]. Заметим, что интенсивность светового потока и освещаемая поверхность в обоих случаях была существенно ниже, чем на изучаемой территории [10]. Подобное заключение делают и уральские учёные, изучавшие влияние светового загрязнения на лиственницу сибирскую (*Larix sibirica*) [15].

ТРИГГЕРНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДОБАВЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ В СУТОЧНОЙ РИТМИКЕ ВНУТРИЛАНДШАФТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Для определения аналогичных показателей суточного ритма в качестве примера рассмотрим время вечерних сумерек в конце апреля и начале октября. В этот «перестроечный» период наиболее выражены изменения ритмов живой природы, которые зависят от освещённости и температуры воздуха, влияющих на метаболизм в клетках живых организмов, поведенческие циклы животных. Необходимо отметить, что суточная ритмичность опреде-

ляет также и микроциркуляцию воздуха, увлажнённость и другие процессы [16].

Экспериментальные данные показывают наличие фотопериодичности у многих видов растений и животных (см. ниже). Заметим, однако, что необходимы дальнейшие натурные наблюдения за фоточувствительными видами для определения пороговых значений, которые могут быть различными для каждого из них. В работе мы провели сравнение среднего поступления ФАР в экосистемы изучаемой территории в вечерние сумерки и величины добавленной энергии подсветки в указанные периоды (табл. 4).

Фотосинтетический аппарат растений приспособлен к использованию незначительного светового потока: у большинства растений фотосинтез начинается при мощности светового потока в 5 Вт/м² (в энергетическом выражении — 300 Дж/мин.)². Полученные данные по суммарному «энергетическому обеспечению» функционирования биоты в минуту сумеречного времени сопоставимы с таковыми в течение светового дня, поскольку физиологически активная длина дня включает и сумеречное время [7]. Длительность вечерних сумерек в рассматриваемый весенний период составляет 42–43 мин., в осенний — 36–37 мин., однако через 15 минут после захода солнца включается ландшафтное освещение.

Таблица 4 / Table 4

ФАР и количество добавленной энергии во время вечерних сумерек / Photosynthetically active radiation and the amount of additional energy during evening twilight

Дата	Время работы ландшафтного освещения в сумерки, мин.	ФАР _{кпл} в мин., Дж/м ²	ФАР _{кпл} в сумерки, кДж/м ²	Добавленная энергия от светового потока в сумерки, кДж/м ²	Суммарная энергия в мин., кДж/м ²
27.04	27	81,3	3,41	0,62	4,03
28.04	28		3,5	0,64	4,14
29.04	28		3,5	0,64	4,14
30.04	28		3,5	0,64	4,14
01.10	22	30	1,11	0,50	1,61
02.10	21		1,08	0,48	1,56
03.10	22		1,11	0,50	1,61
04.10	22		1,11	0,50	1,61

Источник: составлено автором

¹ Искусственные посадки *Acer pseudoplatanus* встречаются в парках Москвы, Санкт-Петербурга и др. городов.

² Искусственное освещение растений в культивационных сооружениях защищённого грунта / Минск, 2022. URL: <https://ledfarm.by/raschyot-osveshheniya/> (дата обращения: 29.11.2023).

Добавленная энергия светового потока увеличивает его на 18,2% в весенний период и на 44,9% в осенний период, что, вероятно, является толчком для запуска циркадных ритмов биоты.

Для изучаемой территории сумеречная, сумеречно-ночная и ночная активизация известна для насекомых (поденки, бражники и др.), птиц (ушастая сова, серая неясыть), земноводных (травяная лягушка), млекопитающих (рукокрылые, мышевидные грызуны), обитающих в природном заказнике. Наблюдаемое сокращение популяции соловья обыкновенного (*Luscinia luscinia*) в заказнике может быть связано в т. ч. и со световым загрязнением: непарные самцы регулярно поют ночью, а ночное пение, вероятно, служит для привлечения самок [12]. Сокращение тёмного времени суток уменьшает их шансы. Для растений известен также феномен фотопериодизма. На территории заказника произрастает опыляемая ночными насекомыми любка двулистная (*Latanthéra Bifolia*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*), растение «длинного дня» гвоздика Фишера (*Dianthus fischeri*) и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование носит оценочный характер и впервые проводится для городских ООПТ. Полученные значения поступления добавленной энергии искусственного освещения раскрывают механизм воз-

действия светового загрязнения на ритмику ландшафтов и оценивают его энергетическое содержание. Результаты такого воздействия могут быть как положительными (удлинение вегетационного периода, активизация биогеохимического круговорота и др.), так и отрицательными (сокращение численности фоточувствительных видов растений и животных, биоразнообразия и др.). Для заказника вычислены ориентировочные триггерные значения поступления добавленной энергии, влияющие на сезонную (прирост суммарной радиации за счёт добавленной до 6% в летнее время, до 70% — в зимнее время) и суточную (прирост суммарной радиации за счёт добавленной энергии составил 6,4% в начале вегетационного периода и 34,1% в конце вегетационного периода) ритмику его ландшафтов. Для уточнения полученных данных необходимо расширение тематических натурных наблюдений ландшафтов заказника в течение всего года и определения фоточувствительных видов биоты. Заслуживают внимания и исследования аналогичных изменений экзогенных геоморфологических и почвенных процессов, в перспективе — разработка комплексной программы исследований. Тем не менее полученные данные раскрывают методику организации контроля и возможного регулирования светового загрязнения в природном заказнике, что необходимо для его сохранения в качестве городского ООЗТ, а также объекта природного и культурного наследия Москвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беручашвили Н. Л. Четыре измерения ландшафта. М: Мысль, 1986. 182 с.
2. Бурцев Д. С. Моделирование динамики продукции энергии в лесных культурах ели // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2013. № 1. С. 6—10.
3. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 376 с.
4. Дьяконов К. Н., Байбар А. С., Харитонов Т. И. Внутривековая динамика эффективности использования лесами Мещеры фотосинтетически активной радиации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 5. С. 12—22.
5. Ефремов К. Д., Кузьмичев Е. П. Особо охраняемые природные территории города Москвы: справочник-путеводитель. М., 2013. 178 с.
6. Захаров К. В., Медведков А. А., Иванова Е. Ю. Технология геоэкологической оценки урбанизированных территорий (на примере Ближнего Подмосковья) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25. № 1. С. 352—361. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-352-361
7. Информационно-регуляторная роль солнечной радиации в периоды сумерек в развитии и продуктивности яровых зерновых культур / И. А. Шульгин, Р. М. Вильфанд, А. И. Страшная, О. В. Береза, К. И. Павлова // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2016. № 362. С. 193—213.
8. Истомина Я. Г., Каплина Н. Ф. Динамика густоты и жизненности антропогенных дубрав южной лесостепи в связи с волновым отпадом и рубками ухода // Научные основы устойчивого управления лесами: мат-лы конф. М., 2016. С. 35—36.

9. Климат Москвы в условиях глобального потепления / Л. И. Алексеева, М. И. Варенцов, Е. В. Горбаренко, И. А. Горлач, И. Д. Еремина, Е. Ю. Жданова, А. А. Кирсанов, и др. М.: МГУ, 2017. 288 с.
10. Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М. Влияние светового загрязнения на местообитания птиц на территории природного заказника «Воробьёвы горы» (г. Москва) // Проблемы региональной экологии. 2022. № 1. С. 101–107. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-1-101-107
11. Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М. Изучение светового загрязнения окружающей среды на разных масштабных уровнях // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. конф. / отв. ред. Т. Н. Ледащева М.: РУДН, 2021. С. 318–327.
12. Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М., Емельянова Л. Г. Геоботанический мониторинг светового загрязнения в городском ООПТ (на примере природного заказника «Воробьёвы горы» г. Москвы) // Географическая среда и живые системы. 2024. № 3. С. 47–61. DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-47-61
13. Малкина И. С. Световые кривые фотосинтеза подрастающих пород // Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса / отв. ред. Ю. Л. Цельникер. М.: Наука, 1967. С. 220–231.
14. Медведков А. А. Геоэкологические проблемы в контексте климатических изменений: теоретический анализ и региональные последствия // Известия РАН. Серия географическая. 2024. Т. 88. № 3. С. 263–280. DOI: 10.31857/S2587556624030011
15. Соловьева М. В., Бунькова В. П. Влияние уличного освещения на объекты озеленения // Вестник биотехнологии. 2020. № 1. С. 1–6.
16. Солнцев Н. А. Учение о ландшафте (избранные труды). М.: МГУ, 2001. 384 с.
17. Artificial light at night advances reproductive phenology and reduces reproductive capacity of a wild plant / Shuo Wang, Zhihui Wang, Lu Xiao, Hongxiang Zhang, Yanjie Liu, et al. // bioRxiv 2022. DOI: 10.1101/2022.12.11.519667
18. Artificial light at night promotes bottom-up changes in a woodland food chain / M. Lockett, R. Rasmussen, S. K. Arndt, G. R. Hopkins, Th. M. Jones // Environmental Pollution. 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119803
19. Azam C., Le Viol I., Julien J. F. Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program // Landscape Eco. 2016. Vol. 131. P. 2471–2483.
20. Basler D., Körner C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest trees // Tree Physiology. 2014. № 34. P. 377–388. DOI: 10.1093/treephys/tpu021
21. Ecological effects of artificial light at night on wild plants / J. Bennie, T. Davies, D. Cruse, K. Gaston // Journal of Ecology. 2016. № 104. P. 611–620.
22. Editorial: Effects of Artificial Light at Night on Organisms: From Mechanisms to Function / A. A. Ríos-Chelén, J. N. Phillips, G. L. Patricelli, D. M. Dominoni // Frontiers in Ecology and Evolution. 2022. DOI: 10.3389/fevo.2022.896460
23. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment / J. Škvareninová, M. Tuharska, J. Škvarenina, D. Babalova, L. Slobodnikova, B. Slobodnik, H. Stredova, et al. // Moravian Geographic Reports. 2017. Vol. 25. P. 282–290.
24. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom / R. H. Ffrench-Constant, R. Somers-Yeates, J. Bennie, T. Economou, D. Hodgson, A. Spalding, P. K. McGregor // Proceedings of the Royal Society. 2016. DOI: 10.1098/rspb.2016.0813
25. Light pollution is a driver of insect declines / A. Owens, P. Cochard, J. Durrant, B. Farnworth, E. Perkin, B. Seymoure // Biological Conservation. 2020. Vol. 241. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108259
26. Longcore T., Rich C. Ecological Light Pollution // Frontiers in Ecology and the Environment. 2004. № 2. P. 191–198.
27. Mayer-Pinto M., Jones Th. M., Swearer S. Light pollution: a landscape-scale issue requiring cross-realm consideration // Environment Preprint. 2021. DOI: 10.14324/111.444/000103.v1
28. 11 Pressing Research Questions on How Light Pollution Affects Biodiversity / F. Hölker, J. Bolliger, T. W. Davies, S. Giavi, A. Jechow, G. Kalinkat, T. Longcore, et al. // Frontiers in Ecology and Evolution. 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.767177
29. Worldwide increase in artificial light at night around protected areas and within biodiversity hotspots / A. Guetté, L. Godet, M. Juigner, M. Robin // Biological Conservation. 2018. Vol. 223. P. 97–103.

REFERENCES

1. Beruchashvili N. L. *Chetyre izmereniya landshafta* [Four Dimensions of Landscape]. Moscow, Mysl Publ., 1986. 182 p.
2. Burtsev D. S. [Modeling the Dynamics of Energy Production in Spruce Forest Cultures]. In: *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Research Institute], 2013, no. 1, pp. 6–10.
3. Vernadsky V. I. *Biosfera* [Biosphere]. Moscow, Mysl Publ., 1967. 376 p.
4. Dyakonov K. N., Baibar A. S., Kharitonova T. I. [Intra-century Dynamics of the Efficiency of Use of Photosynthetically Active Radiation by Meshchera Forests]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2017, no. 5, pp. 12–22.

5. Efremov K. D., Kuzmichev E. P. *Osobo okhranyayemaya prirodnaya territoriya goroda Moskvy: spravochnik-putevoditel* [Specially protected natural areas of the city of Moscow: a reference book and guide]. Moscow, 2013. 178 p.
6. Zakharov K. V., Medvedkov A. A., Ivanova E. Yu. [Technology of geoecological assessment of urbanized territories (on the example of the Near Moscow Region)]. In: *InterKarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS], 2019, vol. 25, no. 1, pp. 352–361. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-352-361
7. Shulgin I. A., Vilfand R. M., Strashnaya A. I., Berеза O. V., Pavlova K. I. [Information and regulatory role of solar radiation during twilight periods in the development and productivity of spring grain crops]. In: *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological research and forecasts], 2016, no. 362, pp. 193–213.
8. Istomina Ya. G., Kaplina N. F. [Dynamics of density and vitality of anthropogenic oak groves of the southern forest-steppe in connection with wave mortality and thinning]. In: *Nauchnyye osnovy upravleniya lesami* [Scientific foundations of sustainable forest management]. Moscow, 2016, pp. 35–36.
9. Alekseeva L. I., Varentsov M. I., Gorbarenko E. V., Gorlach I. A., Eremina I. D., Zhdanova E. Yu., Kirsanov A. A., et al. *Klimat Moskvy v usloviyakh global'nogo potepleniya* [Climate of Moscow under the conditions of global warming]. Moscow, Moscow University Publ., 2017. 288 p.
10. Lukyanov L. E., Krasovskaya T. M. [The influence of light pollution on bird habitats in the territory of the Vorobyovy Gory nature reserve (Moscow)]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of regional ecology], 2022, no. 1, pp. 101–107. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-1-101-107
11. Lukyanov L. E., Krasovskaya T. M. [Study of light pollution of the environment at different scale levels]. In: Ledashcheva T. N., ed. *Aktualnyye problemy ekologii i prirodopolzovaniya* [Actual problems of ecology and nature management]. Moscow, RUDN Publ., 2021, pp. 318–327.
12. Lukyanov L. E., Krasovskaya T. M., Emelyanova L. G. [Geobotanical monitoring of light pollution in an urban protected area (using the Vorobyovy Gory nature reserve in Moscow as an example)]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2024, no. 3, pp. 47–61. DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-47-61
13. Malkina I. S. [Light curves of photosynthesis of deciduous undergrowth]. In: Tselniker Yu. L., ed. *Svetovoy rezhim, fotosintez i produktivnost lesa* [Light regime, photosynthesis and forest productivity]. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 220–231.
14. Medvedkov A. A. [Geoecological problems in the context of climate change: theoretical analysis and regional consequences]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2024, vol. 88, no. 3, pp. 263–280. DOI: 10.31857/S2587556624030011
15. Solovieva M. V., Bunkova V. P. [The influence of street lighting on landscaping objects]. In: [Bulletin of Biotechnology], 2020, no. 1, p. 1–6.
16. Solntsev N. A. *Obucheniye o landshafte (izbrannyye trudy)* [Landscape Studies (Selected Works)]. Moscow, Moscow University Publ., 2001. 384 p.
17. Shuo Wang, Zhihui Wang, Lu Xiao, Hongxiang Zhang, Yanjie Liu, et al. *Artificial light at night advances reproductive phenology and reduces reproductive capacity of a wild plant*. In: *bioRxiv*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1101/2022.12.11.519667>
18. Lockett M., Rasmussen R., Arndt S. K., Hopkins G. R., Jones Th. M. Artificial light at night promotes bottom-up changes in a woodland food chain. In: *Environmental Pollution*, 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119803
19. Azam C., Le Viol I., Julien J. F. Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program. In: *Landscape Eco*, 2016, vol. 131, pp. 2471–2483.
20. Basler D., Körner C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest trees. In: *Tree Physiology*, 2014, no. 34, pp. 377–388. DOI: 10.1093/treephys/tpu021
21. Bennie J., Davies T., Cruse D., Gaston K. Ecological effects of artificial light at night on wild plants. In: *Journal of Ecology*, 2016, no. 104, pp. 611–620.
22. Ríos-Chelén A. A., Phillips J. N., Patricelli G. L., Dominoni D. M. Editorial: Effects of Artificial Light at Night on Organisms: From Mechanisms to Function. In: *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022. DOI: 10.3389/fevo.2022.896460
23. Škvareninová J., Tuharska M., Skvarenina J., Babalova D., Slobodnikova L., Slobodnik B., Stredova H., et al. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. In: *Moravian Geographic Reports*, 2017, vol. 25, pp. 282–290.
24. Ffrench-Constant R. H., Somers-Yeates R., Bennie J., Economou T., Hodgson D., Spalding A., McGregor P. K. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. In: *Proceedings of the Royal Society*, 2016. DOI: 10.1098/rspb.2016.0813
25. Owens A., Cochard P., Durrant J., Farnworth B., Perkin E., Seymoure B. Light pollution is a driver of insect declines. In: *Biological Conservation*, 2020, vol. 241. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108259
26. Longcore T., Rich C. Ecological Light Pollution. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, no. 2, pp. 191–198.
27. Mayer-Pinto M., Jones Th. M., Swearer S. Light pollution: a landscape-scale issue requiring cross-realm consideration. In: *Environment Preprint*, 2021. DOI: 10.14324/111.444/000103.v1

28. Hölker F., Bolliger J., Davies T. W., Giavi S., Jechow A., Kalinkat G., Longcore T., et al. 11 Pressing Research Questions on How Light Pollution Affects Biodiversity. In: *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.767177
29. Guetté A., Godet L., Juigner M., Robin M. Worldwide increase in artificial light at night around protected areas and within biodiversity hotspots. In: *Biological Conservation*, 2018, vol. 223, pp. 97–103.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лукьянов Лев Евгеньевич — аспирант кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: lev.lykhanov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Lev E. Lukianov — Postgraduate student, Department of the World Physical Geography and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: lev.lykhanov@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Лукьянов Л. Е. Опыт энергетической оценки светового загрязнения (на примере природного заказника «Воробьёвы горы» г. Москвы) // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 27–40.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-27-40

FOR CITATION

Lukianov L. E. Energy estimation of light pollution (the case study of the Vorobyovy gory nature reserve in Moscow). In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 27–40.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-27-40

Научная статья
УДК 504.05

ДИНАМИКА ЗАРАСТАНИЯ СУХОРОЙНЫХ ПЕСЧАНЫХ КАРЬЕРОВ В СЕВЕРО-ТАЁЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПЕРИОД С 1985 ПО 2021 ГГ.

© СС ВУ Сизов О. С.

*Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина
119991, г. Москва, Ленинский пр-т., д. 65, Российская Федерация
e-mail: kabanin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-1509-8912*

Поступила в редакцию 02.10.2024

После доработки 21.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. На примере модельного участка в бассейне р. Надым провести дистанционную оценку пространственно-временного распространения сухоройных карьеров и динамику их естественного зарастания за последние 40 лет.

Процедура и методы. Объектами исследования являются сухоройные песчаные карьеры, образованные при строительстве железных и автомобильных дорог, а также магистральных газо- и нефтепроводов. В качестве исходных данных использовались разновременные космические снимки Corona (1968 и 1976 г.), Landsat-5/7/8 (1984–2023 гг.) и Sentinel-2 (2017–2020 гг.). Расчёты ежегодного медианного значения NDVI по архиву данных Landsat за 1985–2021 гг. для каждого карьера выполнены с помощью платформы Google Earth Engine. Методически работа включала оцифровку и атрибутирование линейных объектов инфраструктуры, выявление и определение границ карьеров, определение степени затопления, типа фонового ландшафта и времени образования каждого карьера. Также выполнялись расчёты зональной статистики в ArcGIS Desktop и MS Excel.

Результаты. Выявлено 343 сухоройных песчаных карьера, приуроченных преимущественно к автодорогам и магистральным трубопроводам. Карьеры разделены на 4 поколения, отражающие этапы хозяйственного освоения территории. Пик нарушенности отмечен во время строительства автодороги «Надым–Приозёрный» во второй половине 1980-х гг. Установлено, что успешность зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа местоположения. В частности, максимальные значения NDVI (0,63) выявлены для карьеров I поколения, образованные более 70 лет назад в густых зеленомошных лесах; минимальные (0,36) — для молодых карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий. В карьерах, приуроченных к участкам густых зеленомошных лесов, фоновый уровень NDVI по состоянию на 2021 г. не достигнут, несмотря на наличие благоприятных лесорастительных условий. В то же время в карьерах на участках сухих сосново-лишайниковых редколесий в настоящее время отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI за счёт улучшения условий увлажнения.

Теоретическая и/или практическая значимость. В целом установлено, что в современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири за последние 40 лет наблюдается устойчивый тренд естественного восстановления растительности в карьерах вне зависимости от эффективности проведения биологического этапа рекультивации. Полученные результаты могут использоваться для оптимизации и повышения эффективности методик восстановления почвенно-растительного покрова на нарушенных территориях в пределах рассматриваемой территории.

Ключевые слова: вегетационный индекс, карьер, магистральный трубопровод, нарушенность, Corona, Landsat

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

Original Article

DYNAMICS OF THE OVERGROWTH OF DRY SAND QUARRIES IN THE NORTHERN TAIGA CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA FOR THE PERIOD FROM 1985 TO 2021

© CC BY O. Sizov

*Gubkin University**Leninsky Prospect, 65, Moscow 119991, Russian Federation**e-mail: kabanin@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-1509-8912*

Received 02.10.2024

Revised 21.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. One of the negative environmental consequences of the active development of the oil and gas industry in the northern part of Western Siberia is the formation of disturbed lands, which occur, among other reasons, during the extraction of sand and sand-gravel mixtures. The aim of this study is to conduct a remote assessment of the spatial and temporal distribution of dry sand quarries and the dynamics of their natural overgrowth over the past 40 years, using a model site in the Nadym River basin as an example.

Methodology. The research objects are dry sand quarries formed during the construction of railways, highways, as well as main gas and oil pipelines. The initial data included multi-temporal satellite images from Corona (1968 and 1976), Landsat-5/7/8 (1984–2023), and Sentinel-2 (2017–2020). Calculations of the annual median NDVI values for each quarry, based on the Landsat data archive from 1985 to 2021, were performed using the Google Earth Engine platform. Methodologically, the work involved digitizing and attributing linear infrastructure objects, identifying and delineating the boundaries of the quarries, determining the degree of flooding, background landscape type, and the formation time of each quarry. Zonal statistics calculations were also performed using ArcGIS Desktop and MS Excel software.

Results. A total of 343 dry sand quarries were identified, primarily located along highways and main pipelines. Based on their age, the quarries are divided into four generations, reflecting different stages of the region's economic development. The peak of land disturbance was observed during the construction of paved roads in the second half of the 1980s. It was found that the success of quarry revegetation directly depends on their age and location type. Specifically, the highest NDVI values (0,63) were found in first-generation quarries formed more than 70 years ago in dense mossy forests, while the lowest values (0,36) were observed in younger quarries located along pipelines in lichen woodland areas. In quarries situated in dense green moss forests, the background NDVI level as of 2021 had not yet been reached, despite favorable forest growth conditions. Meanwhile, in quarries located in dry pine-lichen woodlands, NDVI values comparable to or exceeding the background level were recorded due to improved moisture conditions.

Research implications. Overall, it was established that in the modern climatic conditions of the northern taiga in Western Siberia, there is a statistically stable trend of natural vegetation recovery in quarries over the past 40 years, regardless of the effectiveness of the biological stage of reclamation. The results obtained can be used to optimize and improve the efficiency of methods for restoring soil and vegetation cover on disturbed areas within the studied region.

Keywords: vegetation index, quarry, main pipeline, disturbance, Corona, Landsat

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

ВВЕДЕНИЕ

Механические нарушения являются одной из наиболее актуальных экологических проблем, связанных с развитием нефтегазового комплекса на севере Западной Сибири [11; 12]. Даже частичное повреждение почвенно-растительного покрова нередко приво-

дит к перераспределению тепла и влаги, что значительно увеличивает риск развития неблагоприятных экзогенных процессов: термокарста, солифлюкции, дефляции [2; 3; 13]. Ситуация усложняется тем, что в арктических и субарктических условиях темпы естественного восстановления растительности существенно отстают от скорости развития ин-

фраструктуры, что приводит к неуклонному увеличению фонда нарушенных земель¹ [18].

Наиболее характерными формами техногенного рельефа, связанными с механическим воздействием на исходный ландшафт, являются сухоройные карьеры по добыче песка или песчано-гравийной смеси. Это довольно распространённые объекты для геоботанических и геоэкологических исследований [6; 7; 13; 14], что обусловлено следующими факторами:

- явная выраженность границ в плане, обеспечивающая различимость объектов, как на местности, так и на дистанционных данных;
- наличие типовых форм микрорельефа, которые определяют контрастные условия для различных местоположений (крутой склон, пологий склон, днище);
- тотальное уничтожение почвенно-растительного покрова, позволяющее изучать сукцессию растительных сообществ и формирование почвы, начиная с первичной (инициальной) стадии;
- неравномерность проведения рекультивации, дающая возможность сравнения эффективности искусственных мер и естественных процессов самозарастания.

В большинстве современных публикаций основное внимание уделяется изучению механизмов первичной сукцессии растительности на техногенных местообитаниях на локальных примерах [6; 13; 14; 17].

Целью данной работы является дистанционная оценка пространственно-временного распространения сухоройных карьеров и динамики их естественного зарастания в условиях северной тайги Западной Сибири за последние 40 лет.

ТЕРРИТОРИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на примере модельного участка, площадью около 50 тыс. км², расположенного в среднем и нижнем течении р. Надым (рис. 1). В физико-географическом отношении он относится к Надымской северо-таёжной провинции

лесной широтно-зональной области Западно-Сибирской равнины [1; 4] и представляет собой слабонаклонную заболоченную равнину, сложенную водно-ледниковыми, морскими и озёрно-аллювиальными осадками.

Типичными почвами являются торфяно-болотные, глеево-подзолистые и подзолистые, последние отличаются лёгким механическим составом и маломощным гумусовым горизонтом [15]. На заболоченных участках формируются кустарничково-мохово-лишайниковые и травяно-сфагновые плоскобугристые болота с мерзлотой островного типа, в пределах дренированных террас и водоразделов — лиственничные, елово-лиственничные и сосново-лиственничные зеленомошно-кустарничковые или лишайниковые редкостойные леса [4]. В пределах рассматриваемой территории относительно невысока плотность эксплуатируемых нефтегазовых месторождений (Медвежье, Ярудейское, Средне- и Южно-Хулымское), в то же время здесь проходят многочисленные объекты линейной транспортной инфраструктуры.

В качестве объектов исследования рассматриваются сухоройные карьеры (далее — карьеры), образованные при строительстве железных и автомобильных дорог, а также магистральных газо- и нефтепроводов. Такие карьеры, как правило, испытали однократное и кратковременное воздействие, что позволяет с точностью до года определить начало сукцессии, ход которой в дальнейшем не прерывался повторным антропогенным вмешательством (обратная ситуация периодического воздействия характерна для карьеров вблизи населённых пунктов и в пределах месторождений углеводородов). Общая протяжённость исследованных линейных объектов составила около 2 тыс. км (табл. 1).

В качестве исходных фактических данных использовались разновременные космические снимки Corona (спутники серии КН, съёмка за 1968 и 1976 г.), данные Landsat-5/7/8 (1984—2023 гг.) и Sentinel-2 (2017—2020 гг.) (все исходные данные находятся в открытом доступе). Методически работа включала выполнение следующих операций:

- оцифровку и атрибутирование линейных объектов инфраструктуры на основе мозаик спутниковых снимков картографических сервисов Яндекс.Карты и ArcGIS Online (слой ESRI Imagery);

¹ Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2022 году». [Электронный ресурс]. URL: <https://dprg.yanao.ru/documents/active/273069/> (дата обращения: 20.09.2024).

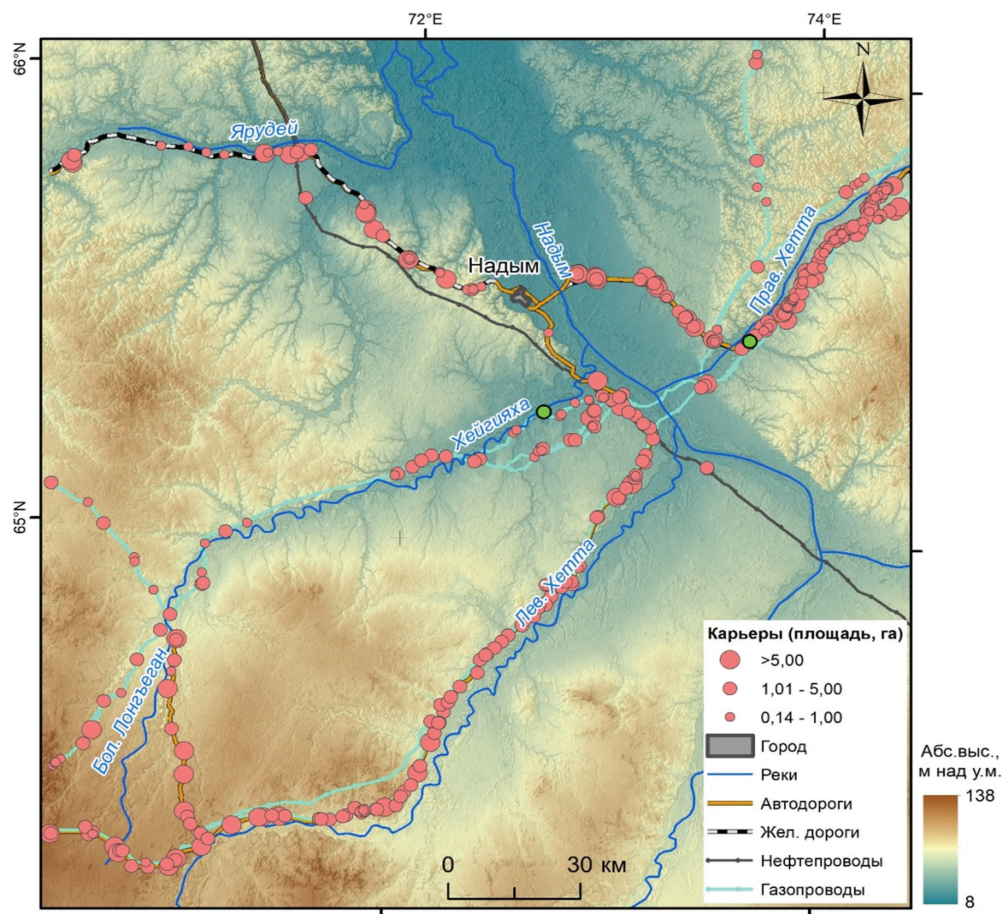


Рис. 1 / Fig. 1. Обзорная карта расположения выявленных карьеров / Overview Map of the Identified Quarries
Источник: данные автора

Таблица 1 / Table 1

Рассматриваемые объекты линейной инфраструктуры / Considered linear infrastructure objects

Тип объекта	Название объекта	Период строительства	Протяжённость в пределах участка, км
Железная дорога	«Чум – Коротчаево» (Проект 501)	1950–1952	235
	«Надым-Пристань – Пангоды»	1971–1978	
Газопровод магистральный	«Медвежье – Надым – Пунга» (с учётом расширения)	1971–1980	892
	«Уренгой – Помары – Ужгород» (с учётом расширения) ¹	1982–1985	
	«Лонгьюган – Салехард»	1994–2003	
Автодорога с твёрдым покрытием	«Уренгой – Надым»	1985–1987	608
	«Надым – Приозерный» (включая ответвление на пос.Лонгьюган)	1984–1985, 1988–1990	
	«Надым – Салехард» (включая ответвление на Ярудейское месторождение)	2011–2020	
Нефтепровод межпромысловый	«ЦПС Ярудейское месторождение – ПСП НПС Пурпе»	2013–2015	244

Источник: данные автора

¹ Ягельное ЛПУ, в частности, обслуживает газопроводы «Уренгой – Центр I», «Уренгой – Центр II», «Уренгой – Ужгород», «Ямбург – Елец I», «Ямбург – Елец II», «Прогресс», «Ямбург – Тула I», «Ямбург – Тула II», «Ямбург – Поволжье», «СРТО – Урал».

– выявление и оцифровку границ карьеров на основе мозаик указанных выше картографических сервисов;

– определение степени затопления карьеров, а также типа фонового ландшафта (лишайниковое редколесье или густой мохово-кустарничковый лес) на основе мозаик указанных выше картографических сервисов;

– определение времени образования каждого карьера на основе ежегодных безоблачных мозаик Landsat с 1984 по 2023 г. (получены с помощью Google Earth Engine);

– расчёт графиков динамики NDVI для каждого карьера по гармонизированным данным Landsat (обводнённые карьеры в расчётах не учитывались);

– расчёт зональной статистики по выявленным карьерам – абсолютной высоты по ЦМР TanDEM-X 90m DEM, NDVI по данным Sentinel-2 с помощью соответствующего инструмента в ПО ArcGIS Desktop 10.8;

– расчёт площадей и медианных значений NDVI в ПО ESRI ArcGIS Desktop 10.8 и MS Excel 2016.

Расчёты ежегодного медианного значения NDVI с 1985 по 2021 г. по каждому карьере выполнены с помощью платформы Google Earth Engine. Для этого использовались данные Landsat-5/7/8 (уровень обработки L2, коллекция C01) с облачностью менее 50% и минимальными геометрическими и радиометрическими погрешностями. При расчётах учитывался только вегетационный период с 30 июня по 31 августа каждого года. Для при-

ведения значений коэффициентов отражения, полученных сенсорами ТМ (Landsat-5) и ETM+ (Landsat-7), к значениям сенсора OLI (Landsat-8) использовались коэффициенты, опубликованные в работе [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего в пределах рассматриваемого участка выявлено 343 карьера (рис. 1). Из них 173 (50%) относятся к автодорогам, 108 (31%) – к трубопроводам и 62 (18%) – к железной дороге. По площади большую долю также занимают карьеры у автодорог (697,8 га – 56%), в то время как карьеры у трубопроводов и железных дорог занимают 23 и 21% площади соответственно.

Карьеры в сосново-лиственничных лишайниковых редколесьях составляют 47% общей выборки, при этом 16% из них (25 объектов) в настоящее время обводнены более чем на половину. В свою очередь, доля обводнённых карьеров в густых мохово-кустарничковых лесах составляет 30% (55 из 182), что объясняется влиянием локальных понижений рельефа.

На рисунке 2 хорошо видно, что большая часть карьеров (54%) имеет возраст 35 лет и более (образованы до начала 1990-х гг.).

Абсолютный пик наблюдается в 1987 г., он связан с активным строительством автодорог с твёрдым покрытием. С 2003 по 2010 г. относительно высокую долю составляли карьеры вдоль магистральных трубопроводов, что обу-

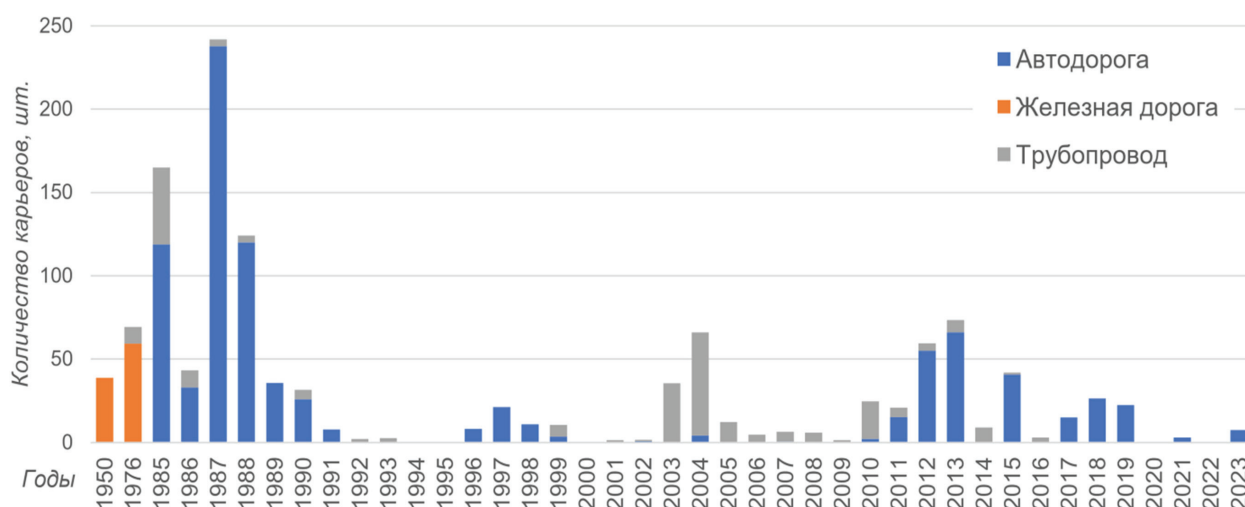


Рис. 2 / Fig. 2. Распределение выявленных карьеров по времени образования / Distribution of identified quarries by formation time

Источник: составлено автором

словлено проведением капитального ремонта на отдельных участках. В целом, можно выделить 4 поколения карьеров:

1. карьеры, образованные в начале 1950-х гг. при строительстве железной дороги «Чум–Коротчаево» (Проект 501);
2. карьеры, образованные вдоль строящихся газопроводов и железной дороги во время начального промышленного освоения территории (1971–1976 гг.);
3. карьеры середины и конца 1980-х гг., появившиеся во время масштабного строительства магистральных газопроводов и автомобильной дороги от г. Новый Уренгой до границы с ХМАО;
4. современные карьеры (менее 25 лет), появление которых связано с локальным

ремонтom инфраструктуры и появлением отдельных новых линейных объектов.

Карьеры преимущественно имеют относительно небольшую площадь (медианное значение площади по всей выборке – 2,1 га; доля объектов до 1,6 га – 42,3%). При этом 26 объектов (7,6%), к которым относятся в основном современные карьеры вдоль автодорог, имеют площадь более 10 га (рис. 3). В целом прослеживается тенденция увеличения средней площади карьера с уменьшением возраста.

Большая часть выявленных карьеров приурочена к нижнему геоморфологическому уровню (до 45 м над у.м. – 71,1% объектов). Преимущественно это участки второй надпойменной террасы или более высокой озёрно-аллювиальной равнины (рис. 4). Ме-

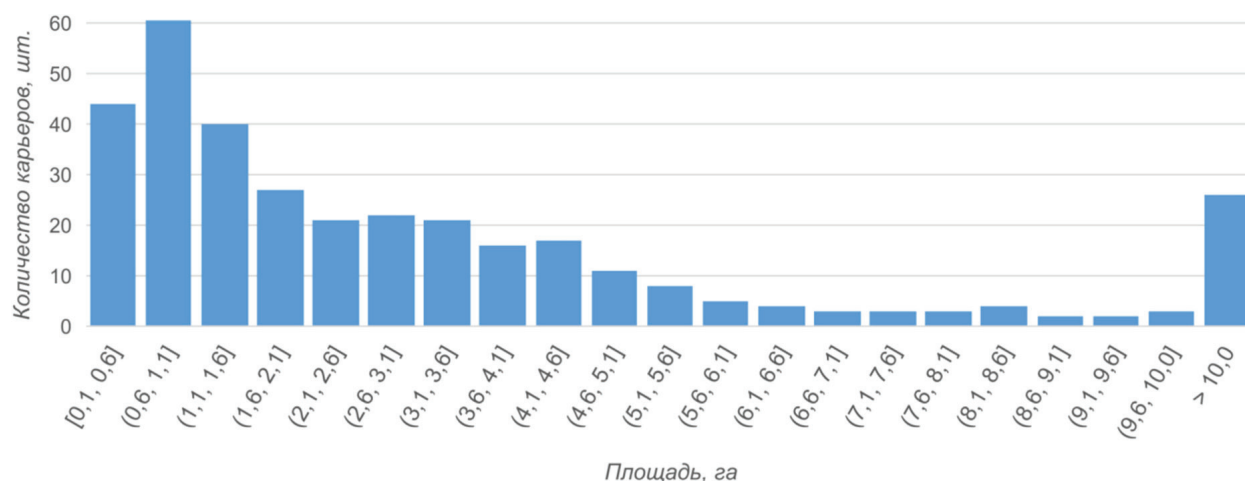


Рис. 3 / Fig. 3. Распределение выявленных карьеров по площади / Distribution of identified quarries by area

Источник: составлено автором

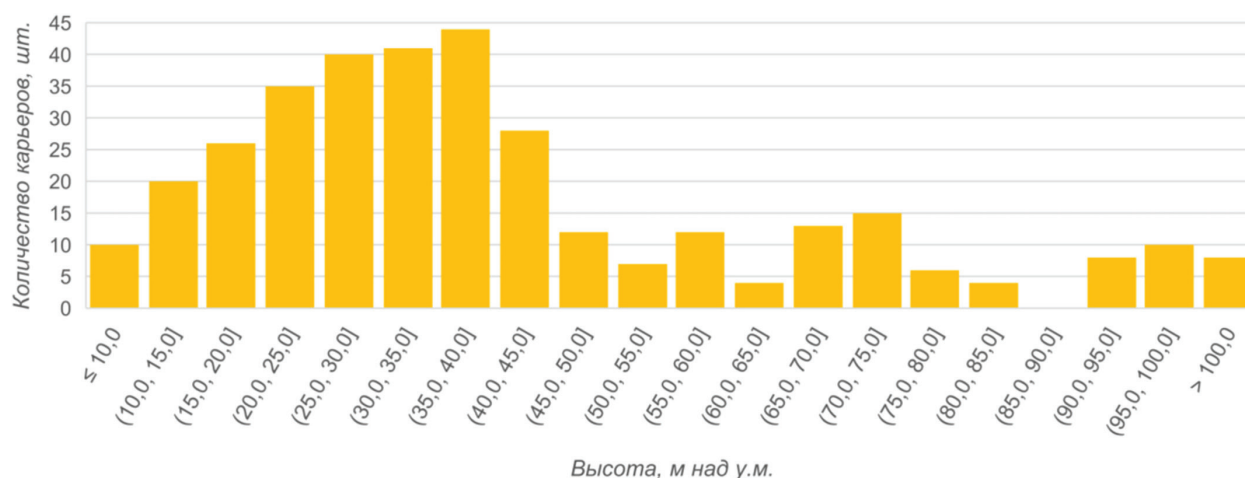


Рис. 4 / Fig. 4. Распределение выявленных карьеров по абсолютной высоте / Distribution of identified quarries by absolute elevation

Источник: составлено автором

дианное значение высоты по всей выборке объектов составляет 34,9 м.

Актуальный уровень зарастания по всей выборке объектов можно показать на примере гистограммы медианных значений NDVI, полученных для каждого карьера по данным Sentinel-2 (съемки 2017–2020 гг., разрешение 10 м). График (рис. 5) демонстрирует в целом нормальное распределение значений (медиана по всей выборке – 0,5) с плавным ростом и более резким спадом. При разделении карьеров по типам линейных объектов и типам растительности (рис. 6) можно отметить, что максимальным медианным значением NDVI (0,63) характеризуются карьеры первого поколения, образованные более 70 лет назад в густых лесах. Минимальный уровень биомассы фиксируется для относительно молодых

на по всей выборке – 0,5) с плавным ростом и более резким спадом. При разделении карьеров по типам линейных объектов и типам растительности (рис. 6) можно отметить, что максимальным медианным значением NDVI (0,63) характеризуются карьеры первого поколения, образованные более 70 лет назад в густых лесах. Минимальный уровень биомассы фиксируется для относительно молодых

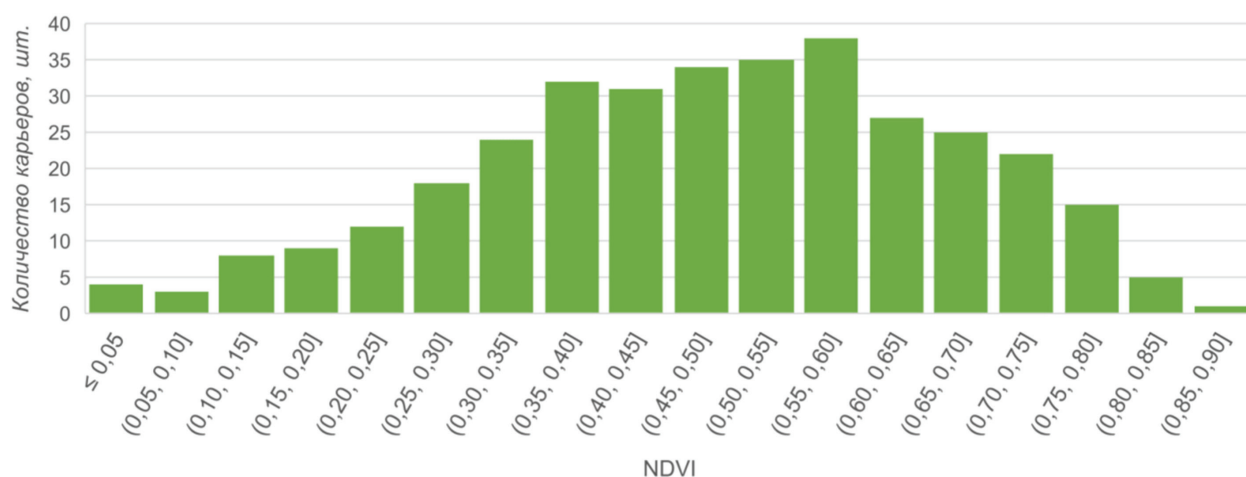


Рис. 5 / Fig. 5. Распределение выявленных карьеров по медианным значениям NDVI / Distribution of identified quarries by median NDVI

Источник: составлено автором

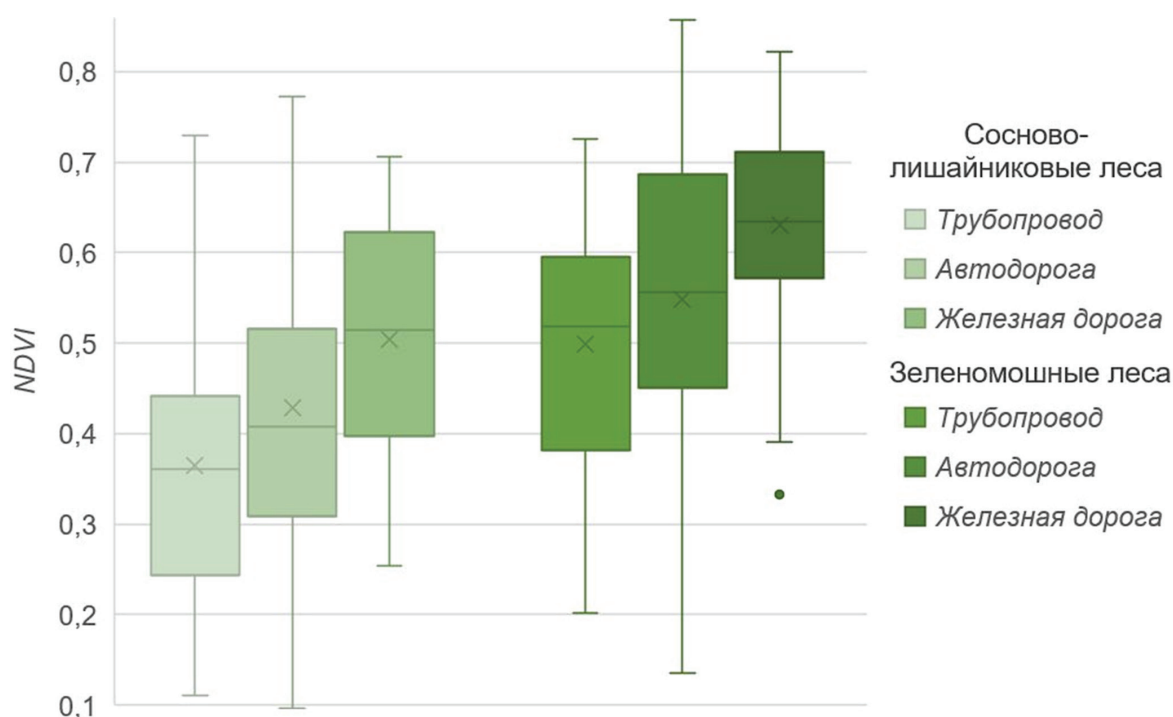


Рис. 6 / Fig. 6. Распределение значений NDVI в пределах карьеров за 2020 г. относительно типа ландшафта и типа линейной инфраструктуры / Distribution of NDVI within quarries in 2020 relative to landscape type and type of linear infrastructure

Источник: составлено автором

карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий (медиана NDVI 0,36).

Можно предположить, что уровень зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа фоновой растительности, определяемой составом верхней толщи почвообразующих пород. Для наглядного подтверждения для каждого карьера рассчитаны графики динамики NDVI за последние 40 лет (рис. 7). Для сравнения динамики зарастания используются фоновые участки в густых (9 объектов) и разреженных (10 объектов) лесах.

В густых лесах наблюдается более однородное распределение значений NDVI для всей выборки, медиана за весь период составила 0,71. В лишайниковых редколесьях участки существенно различаются по объёму фитомассы, графики показывают разброс значений от 0,3 до 0,6 при медиане 0,41. На уменьшение NDVI прямо влияет снижение густоты лесного покрова, в этом случае увеличивается площадь лишайников с высоким альбедо.

Карьеры I и II поколений, образованные в 50–70-х гг. XX в. вдоль железной дороги и магистральных газопроводов на участках густых зеленомошных лесов, демонстрируют устойчивый тренд увеличения фитомассы за весь период наблюдения. Тем не менее фоновый уровень в обоих случаях не достигнут, т. е. формирующаяся в карьерах лесная растительность по показателям сомкнутости крон и общему объёму фитомассы уступает фоновым лесам.

В карьерах III и IV поколений, образованных в зеленомошных лесах, также прослеживается последовательный рост значе-

ний NDVI с 0,2 до 0,58, что отражает наличие благоприятных лесорастительных условий. К таким условиям относится, прежде всего, повышенное увлажнение [5] — доля полностью или частично затопленных карьеров именно в этой возрастной категории выше среднего значения (39%).

Для карьеров на участках сосново-лишайниковых редколесий, наблюдается аналогичный рост значений NDVI вне зависимости от возраста:

- с 0,35 до 0,56 — для карьеров I поколения;
- с 0,3 до 0,55 — для карьеров II поколения;
- с 0,22 до 0,44 — для карьеров III и IV поколений.

Уровень NDVI в пределах карьеров I и II поколений (возраст от 50 лет и старше) по состоянию на 2021 г. превышает фоновые значения более чем на 30%. Одним из основных благоприятных факторов для этого является улучшение условий увлажнения. В карьерах III поколения (старше 30 лет) фоновый уровень NDVI достигается на 27–30 год после окончания разработки. При этом можно отметить, что из 75 карьеров значения NDVI в большинстве случаев (71%) превышают фоновый уровень (по состоянию на 2021 г.).

Таким образом, результаты расчётов показывают, что в отработанных карьерах на рассматриваемой территории с течением времени наблюдается неуклонное естественное восстановление растительности либо заболачивание (с частичным или полным обводнением). В карьерах на участках с зеленомошными лесами уровень фоновых значений NDVI на момент окончания наблюдений не достигнут, поскольку плотность молодого

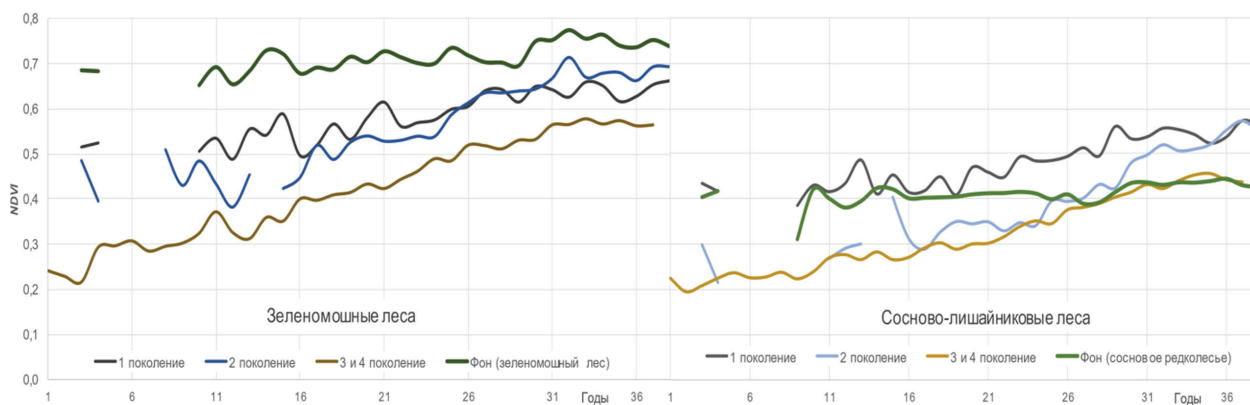


Рис. 7 / Fig. 7. Сводные графики динамики NDVI (медианное значение) по каждому поколению карьеров с разделением по типам растительности (графики приведены к году образования каждого карьера)

Источник: составлено автором

древостоя меньше изначальной. В то же время в карьерах на участках с лишайниковыми редколесьями (I, II и III поколения), несмотря на относительно медленное восстановление растительности, в настоящее время отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выборочные полевые наблюдения показали, что видовой состав растительности в пределах карьеров на рассматриваемой территории практически не зависит от зональных особенностей. В целом, здесь отмечается низкая сомкнутость крон деревьев, при этом на крутых склонах древостой возобновляется хуже, чем на пологих. На фоне сохранения доминирования кустарничков (толокнянки, брусники, вороники) отмечается увеличение проективного покрытия злаков (до 10–15%) и разнотравья (до 5–7%).

Основным негативным экзогенным процессом в пределах зарастающих карьеров является дефляция. Доля оголённых песков здесь колеблется от 6,5 до 25%. Наиболее подвержены ветровой эрозии склоны карьеров I и III поколений (17–21%), особенно склоны, обращённые навстречу доминирующим ветрам). Повышенная доля развеваемых песков отмечается также в пределах днищ карьеров III поколения (17–25%), даже на фоне высоких геоботанических показателей и явных следов искусственного восстановления лес-

ной растительности. Минимальную площадь оголённые участки занимают в пределах карьеров IV поколения (6,5% для склонов и 13,7% для днищ). Можно также отметить, что днища карьеров I поколения, несмотря на относительно низкие геоботанические показатели, имеют сниженную долю оголённых песков за счёт сплошного развития лишайникового покрова. При этом важно отметить, что в пределах карьеров I поколения рекультивация не проводилась.

Проведённые ранее комплексные исследования физико-химических показателей верхней части почвенно-грунтового слоя в карьерах III поколения выявили в целом кислотную среду почвообразования [10]. Общей особенностью является низкое содержание органики (повсеместно менее 1%), а также значение окислительно-восстановительного потенциала в пределах 220–330 мВ.

При общем песчаном субстрате материнских пород основное влияние на дифференциацию физико-химических показателей рассматриваемых участков оказывают условия увлажнения, которые определяются характером микрорельефа [10]. Повышенная дренированность на пологих склонах постепенно приводит к обеднению химического состава верхней толщи, способствуют развитию дефляции, в то время как при формировании гидроморфных условий даже на оголённых песчаных участках относительно недавно образованных карьеров наблюдается постепенное накопление фосфора и калия в процессе заболачивания (рис. 8).

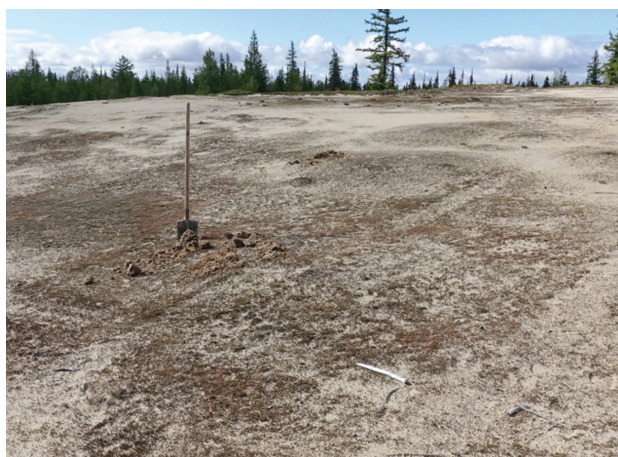


Рис. 8 / Fig. 8. Проявление дефляции (слева) и заболачивания (справа) в карьерах третьего поколения / Manifestation of deflation (left) and waterlogging (right) in third-generation quarries

Источник: фото О. С. Сизова, 2021

— Морфометрические измерения показали, что доля склонов в общей площади минимальна у карьеров IV поколения (17%), в то время как у карьеров III поколения она достигает 40% и более. Максимальными значениями углов наклона (до 25° на примере модельного участка в бассейне р. Надым в результате сплошного картографирования выявлено 343 сухоройных песчаных карьера, приуроченных преимущественно к автодорогам и магистральным трубопроводам;

— по возрастному признаку выделяют 4 поколения карьеров, связанных с различными этапами хозяйственного освоения территории; пик нарушенности отмечен во время строительства автодороги с твёрдым покрытием во второй половине 1980-х гг.;

— максимальным медианным значением NDVI (0,63) характеризуются карьеры I поколения, образованные более 70 лет назад в густых зеленомошных лесах; минимальные

медианные значения NDVI (0,36) выявлены для молодых карьеров вдоль магистральных трубопроводов на участках лишайниковых редколесий;

— в карьерах, приуроченных к участкам густых зеленомошных лесов, фоновый уровень NDVI не достигнут, несмотря на наличие благоприятных лесорастительных условий;

— в карьерах, приуроченных к участкам сухих сосново-лишайниковых редколесий отмечаются сопоставимые или превышающие фоновый уровень значения NDVI.

Успешность зарастания карьеров напрямую зависит от их возраста и типа местоположения. В современных климатических условиях северной тайги Западной Сибири на основе динамики значений NDVI выявлен статистически устойчивый тренд естественного восстановления растительности в карьерах вне зависимости от эффективности проведения биологического этапа рекультивации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. М.: ГУГК, 2004. 304 с.
2. Восстановление земель на Крайнем Севере / отв. ред. И. Б. Арчегова. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2000. 152 с.
3. Ермилов О. М., Грива Г. И., Москвин В. И. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: СО РАН, 2002. 148 с.
4. Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 248 с.
5. Коронатова Н. Г. Особенности и условия восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2003. № 7. С. 135–141.
6. Коронатова Н. Г., Миляева Е. В. Сукцессия фитоценозов при зарастании выработанных карьеров в подзоне северной тайги Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 697–705.
7. Лоботросова С. А. Сукцессии растительного покрова эоловых форм рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере бассейна реки Надым): дис. ... канд. биол. наук. Тюмень: ИКЗ ТюмНЦ СО РАН, 2020. 193 с.
8. Нарушенность почвенно-растительного покрова на севере Западной Сибири: пространственное распространение и способы рекультивации / О. С. Сизов, А. В. Соромотин, С. А. Лоботросова, Н. Е. Лобжанидзе, Н. В. Приходько // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. Т. 4. № 307. С. 40–46. DOI: 10.33285/2411-7013-2022-4(307)-40-46
9. Седых В. Н. Леса и нефтегазовый комплекс. Новосибирск: Наука, 2011. 138 с.
10. Сизов О. С., Лоботросова С. А., Соромотин А. В. Оценка физико-химических свойств верхних органо-минеральных горизонтов песчаных обнажений на севере Западной Сибири (на примере среднего течения р. Надым) // Географическая среда и живые системы. 2020. № 1. С. 31–52. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-31-52
11. Соромотин А. В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень: ТюмГУ, 2010. 320 с.
12. Соромотин А. В., Сизов О. С. Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием // Проблемы Региональной Экологии. 2007. № 4. С. 12–15.
13. Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. Санкт-Петербург: Информ-Навигатор, 2013. 340 с.
14. Сумина О. И., Копцева Е. М. Разнообразие и динамика растительности карьеров в лесотундре Западной Сибири (окрестности г. Лабытнанги, Ямало-Ненецкий АО) // Растительность России. 2004. № 6. С. 83–103.
15. Хренов В. Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. Новосибирск: Наука, 2011. 214 с.

16. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity / D. P. Roy, V. Kovalsky, H. K. Zhang, E. F. Vermote, L. Yan, S. S. Kumar, A. Egorov // *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 185. № 185. P. 57–70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024
17. Cyclic and linear trajectories of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis / A. V. Soromotin, G. R. Lanza, O. S. Sizov, S. A. Lobotrosova, E. V. Abakumov, A. O. Zverev, A. S. Yakimov et al. // *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 928. P. 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265
18. Forbes B. C., Sumina O. I. Comparative ordination of low Arctic vegetation recovering from disturbance: reconciling two contrasting approaches for field data collection // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 1999. Vol. 31. № 4. P. 389–399.
19. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions // *Environmental dynamics and global climate change*. 2019. Vol. 10. № 1. P. 28–37. DOI: 10.17816/edgcc10533
1. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. Moscow, GUGK Publ., 2004. 304 p.
2. Arhegov I. B., ed. *Vosstanovleniye zemel na Kraynem Severe* [Land Restoration in the Far North]. Syktyvkar, Komi nauchnyy tsentr UrO RAN Publ., 2000. 152 p.
3. Ermilov O. M., Griva G. I., Moskvina V. I. *Vozdeystviye ob'yektov gazovoy promyshlennosti na severnyye ekosistemy i ekologicheskaya stabil'nost' geotekhnicheskikh kompleksov v kriolitozone* [The Impact of Gas Industry Facilities on Northern Ecosystems and Environmental Stability of Geotechnical Complexes in the Cryolithozone]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2002. 148 p.
4. Ilyina I. S., Lapshina E. I., Lavrenko N. N. *Rastitelnyy pokrov Zapadno-Sibirskoy soblyudeniya* [Vegetation Cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1985. 248 p.
5. Koronotova N. G. [Features and conditions of restoration of soil and vegetation cover in quarries of Western Siberia]. In: *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2003, no. 7, pp. 135–141.
6. Koronotova N. G., Milyaeva E. V. [Succession of phytocenoses during overgrowing of worked-out quarries in the northern taiga subzone of Western Siberia]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2011, no. 5, pp. 697–705.
7. Lobotrosova S. A. *Suktsessii rastitelnogo pokrova eolovykh form relyefa v severnoy tayge ekonomicheskoy Sibiri (na primere basseyna reki Nadym): dis. ... kand. biol. nauk* [Successions of vegetation cover of aeolian landforms in the northern taiga of Western Siberia (on the example of the Nadym River basin): Cand. Sci. thesis in Biological sciences]. Tyumen, 2020. 193 p.
8. Sizov O. S., Soromotin A. V., Lobotrosova S. A., Lobzhanidze N. E., Prikhodko N. V. [Disturbance of soil and vegetation cover in the north of Western Siberia: spatial distribution and methods of reclamation]. In: *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas complex], 2022, vol. 4, no. 307, pp. 40–46. DOI: 10.33285/2411-7013-2022-4(307)-40-46
9. Sedykh V. N. *Lesa i neftegazovyy kompleks* [Forests and oil and gas complex]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 138 p.
10. Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Soromotin A. V. [Assessment of physicochemical properties of the upper organo-mineral horizons of sandy outcrops in the north of Western Siberia (using the middle reaches of the Nadym River as an example)]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2020, no. 1, pp. 31–52. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-31-52
11. Soromotin A. V. *Vozdeystviye dobychi nefti na tayezhnyye ekosistemy Sibiri* [Impact of oil production on taiga ecosystems of Western Siberia]. Tyumen, Izd-vo TyumGU Publ., 2010. 320 p.
12. Soromotin A. V., Sizov O. S. [Activation of aeolian processes in the north of Western Siberia due to increased anthropogenic impact]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of Regional Ecology], 2007, no. 4, pp. 12–15.
13. Sumina O. I. *Formirovaniye rastitelnosti na tekhnogennykh mestakh obitaniya Kraynego Severa Rossii* [Formation of vegetation in technogenic habitats of the Russian Far North]. St. Petersburg, Inform-Navigator, 2013. 340 p.
14. Sumina O. I., Koptseva E. M. [Diversity and dynamics of vegetation of quarries in the forest-tundra of Western Siberia (the environs of Labytnangi, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)]. In: *Rastitelnost Rossii* [Vegetation of Russia], 2004, no. 6, pp. 83–103.
15. Khrenov V. Ya. *Pochvy kriolitozony Sibiri: morfologiya, fiziko-khimicheskiye svoystva, khimiya geoiya* [Soils of the cryolithozone of Western Siberia: morphology, physicochemical properties, geochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 214 p.
16. Roy D. P., Kovalsky V., Zhang H. K., Vermote E. F., Yan L., Kumar S. S., Egorov A. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. In: *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 185, no. 185, pp. 57–70. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.024
17. Soromotin A. V., Lanza G. R., Sizov O. S., Lobotrosova S. A., Abakumov E. V., Zverev A. O., Yakimov A. S. et al. Cyclic and linear trajectories

- of ecosystem evolution on sand dunes in Siberian taiga: A comprehensive analysis. In: *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 928, pp. 172265. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.172265
18. Forbes B. C., Sumina O. I. Comparative ordination of low Arctic vegetation recovering from disturbance: reconciling two contrasting approaches for field data collection. In: *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 1999, vol. 31, no. 4, pp. 389–399.
19. Kapitonova O., Aksarina K. On some physical and chemical properties of soils of sandy outcrops of the West Siberian northern regions. In: *Environmental dynamics and global climate change*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 28–37. DOI: 10.17816/edgcc10533
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сизов Олег Сергеевич — кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии факультета геологии и геофизики нефти и газа Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина;
e-mail: kabanin@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg S. Sizov — PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Geoecology, Faculty of Geology and Geophysics of Oil and Gas, Gubkin Russian State University of Oil and Gas;
e-mail: kabanin@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Сизов О. С. Динамика зарастания сухоройных песчаных карьеров в северо-таёжных условиях Западной Сибири за период с 1985 по 2021 гг. // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 41–52.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

FOR CITATION

Sizov O. S. The dynamics of overgrowth of dry sand quarries in the northern taiga conditions of Western Siberia for the Period from 1985 to 2021. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 41–52.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-41-52

Научная статья
УДК 504.054+631.45

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЧВОГРУНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОСАДКОВ ШЛАМ-ЛИГНИНА (ОТХОДОВ БАЙКАЛЬСКОГО ЦБК) НА ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ

© СС ВУ Шатрова А. С.¹, Богданов А. В.²

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет
г. Иркутск, Российская Федерация
e-mail: shatrova.irk@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8054-1680

² Иркутский национальный исследовательский технический университет
г. Иркутск, Российская Федерация
e-mail: bogdanovav@istu.edu; ORCID: 0000-0002-7519-1126

Поступила в редакцию 12.10.2024

После доработки 18.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Оценка воздействия почвогрунтов из лигнинсодержащих коллоидных осадков ОАО «Байкальский ЦБК» на высшие сосудистые растения — редька масличная, овёс посевной, плодово-ягодные культуры (малина и клубника), а также оценка динамики рекультивационной сукцессии при её интенсификации вымороженными лигнинсодержащими осадками и полученными из них почвогрунтами.

Процедура и методы. Проведены исследования воздействия почвогрунтов из вымороженных лигнинсодержащих осадков ОАО «Байкальский ЦБК» на высшие сосудистые растения. Вымороженные лигнинсодержащие осадки образуются в ходе реализации природоподобной технологии их переработки посредством интенсификации естественных процессов вымораживания и осушения. В работе представлена оценка как острой, так и хронической фитотоксичности. Для оценки возможности использования полученного субстрата в выращивании сельскохозяйственной продукции было изучено содержание тяжёлых металлов — кадмия, ртути, меди, цинка и мышьяка в ягодах клубники и малины, выращенных на опытных делянках, сформированных на Солзанском полигоне ОАО «Байкальский ЦБК». Для оценки эффективности применения полученных субстратов из лигнинсодержащих осадков при рекультивации нарушенных земель проведена оценка динамики рекультивационной сукцессии. В период с 2019 по 2024 г. осуществлены исследования по изменению химического и агрохимического состава отвалов изучаемых лигнинсодержащих осадков, а также почвогрунтов на их основе.

Результаты. Проведённая оценка воздействия почвогрунтов из лигнинсодержащих осадков на высшие растения выявила отсутствие как острой, так и хронической токсичности. Было выявлено, что полученный субстрат интенсифицирует активный рост и развитие растений, вследствие наличия в своём составе питательных компонентов (калия, фосфора, азота). Элементный анализ ягод плодово-ягодных культур, выращенных на полученном почвогрунте, не выявил превышения нормативов по кадмию, ртути, меди, цинку и мышьяку.

Теоретическая и/или практическая значимость. Разработанная природоподобная технология получения почвогрунтов из лигнинсодержащих осадков целлюлозно-бумажной промышленности может быть успешно внедрена при ликвидации накопленного экологического вреда ОАО «Байкальский ЦБК».

Ключевые слова: рекультивационная сукцессия, фитотоксичность, промышленные отходы, природоподобные технологии, Байкальский регион

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-53-66

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SOILS OBTAINED FROM SLUDGE-LIGNIN SEDIMENTS (WASTE FROM THE BAIKAL PULP AND PAPER MILL) ON HIGHER PLANTS

© CC BY A. Shatrova, A. Bogdanov

¹*Irkutsk National Research Technical University*

Irkutsk, Russian Federation

e-mail: shatrova.irk@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8054-1680

²*Irkutsk National Research Technical University*

Irkutsk, Russian Federation

e-mail: bogdanovav@istu.edu; ORCID: 0000-0002-7519-1126

Received 12.10.2024

Revised 18.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. Evaluation of the impact of soils from lignin-containing colloidal sediments of Baikal Pulp and Paper Mill on higher vascular plants — oil radish, oats, fruit and berry crops (raspberries and strawberries), as well as an assessment of the dynamics of reclamation succession during its intensification by frozen lignin-containing sediments and soils obtained from them.

Methodology. The impact of soils from frozen lignin-containing sediments of Baikal Pulp and Paper Mill on higher vascular plants has been studied. Freezed lignin-containing sediments are formed during the implementation of a nature-like technology for their processing by intensifying the natural processes of freezing and drainage. The paper presents an assessment of both acute and chronic phytotoxicity. To assess the possibility of using the obtained substrate in growing agricultural products, the content of heavy metals — cadmium, mercury, copper, zinc and arsenic — in strawberries and raspberries grown on experimental plots formed at the Solzansky landfill of Baikal Pulp and Paper Mill was studied. To assess the effectiveness of using the obtained substrates from lignin-containing sediments in the reclamation of disturbed lands, an assessment of the dynamics of reclamation succession was carried out. In the period from 2019 to 2024. Research was carried out to change the chemical and agrochemical composition of the waste heaps of the studied lignin-containing sediments, as well as the soils based on them.

Results. The assessment conducted of the impact of soils from lignin-containing sediments on higher plants revealed the absence of both acute and chronic toxicity. It was found that the substrate obtained intensifies active growth and development of plants due to the presence of nutritious components (potassium, phosphorus, nitrogen) in its composition. Elemental analysis of berries of fruit and berry crops grown on the obtained soil did not reveal excess of standards for cadmium, mercury, copper, zinc and arsenic.

Research implications. The developed nature-like technology for obtaining soils from lignin-containing sediments of the pulp and paper industry can be successfully implemented in the elimination of accumulated environmental damage at Baikal Pulp and Paper Mill.

Keywords: reclamation succession, phytotoxicity, industrial waste, nature-like technologies, Baikal region

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-53-66

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых экологических проблем в Российской Федерации является стремительный рост образования отходов. Согласно данным Росприроднадзора¹ в 2023 г.

образовалось 9,279 млрд тонн отходов, что на 3% больше, чем в 2022 г. (9,017 млрд тонн), при этом 98% из общей массы составляют отходы промышленности. Утилизировано в 2023 г. 3,946 млрд тонн отходов, что составляет менее 50% образовавшихся отходов, тогда

¹ Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производ-

ства и потребления // Росприроднадзор: [сайт]. URL: <https://clck.ru/3Mm2mL/> (дата обращения: 03.12.2024).

как размещено на специальных площадках (хранение, захоронение) порядка 60% всех образовавшихся за год отходов. При этом Иркутская область входит в десятку субъектов РФ по объёму образованных отходов за 2023 г. и находится на 7-м месте по темпам прироста их образования — прирост за год составил 306,3 млн тонн. Также стоит отметить, что на конец 2023 г. в Иркутской области накоплено более 1,8 млрд тонн отходов производства и потребления.

Одной из самых актуальных экологических задач Иркутской области и, в частности, Байкальского региона, по-прежнему остаётся утилизация отходов и устранение нанесённого ранее вреда окружающей среде вследствие деятельности ОАО «Байкальский ЦБК». Осадки шлам-лигнина объёмом более 6 млн м³ [7], накопленные в период работы комбината располагаются на Солзанской промплощадке и являются потенциальной социально-экологической угрозой для всего Южного Прибайкалья и оз. Байкал (рис. 1–2).

Начиная с 2013 г. и по настоящее время, в рамках Нацпроекта «Экология» (1 октября 2018 — 31 декабря 2024 гг.) ведётся поиск решений этой проблемы. При этом уже сменено 3 исполнителя работ — это ВЭБ-Инжиниринг,

АО «Росгеология», ООО «ГазЭнергоСтрой», а в настоящее время единственным исполнителем назначен ФГУП «Федеральный экологический оператор» (Росатом). Ввиду своей специфичности и больших объёмов накопленных отходов, комплексная концепция их ликвидации так и не была разработана. Учитывая специфику объекта, необходим поиск альтернативных технологий, которые могли бы позволить переработать многотоннажные отходы без использования дорогостоящих и импортных средств. В настоящее время уделяется особое внимание концепции природоподобных технологий [2], а в 2023 г. президент России подписал указ от 02.11.2023 № 818 «О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации».

В ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» на кафедре обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды имени С. Б. Леонова ведутся камеральные и полевые исследования по разработке комплексной природоподобной технологии переработки коллоидных лигнин-содержащих осадков целлюлозно-бумажной промышленности. Природоподобная технология основана на создании условий интенсификации протекания природных процессов в холодный и тёплый периоды времени года [7].



Рис. 1 / Fig. 1. Солзанская промплощадка ОАО «Байкальский ЦБК», карты-накопители № 1–7 / Solzan industrial site of “Baikal Pulp and Paper Mill”, storage maps no. 1–7

Источник: Геотехпроект: [сайт]. URL: <https://geotehproekt.ru/> (дата обращения: 20.07.2024).



Рис. 2 / Fig. 2. Космический снимок Солзанской промплощадки БЦБК, на которой расположены карты-накопители № 1–10 / Satellite image of the Solzanskaya industrial site of the BPPM, on which storage cards no. 1–10 are assigned

Источник: космоснимки Google

Вымораживание в холодный период основано на кристаллизации воды из гидрофильного коллоидного осадка и золя при воздействии устойчивых отрицательных температур с последующей коагуляцией лигнинных веществ, образующих крупные устойчивые мицеллы [18]. В процессе оттаивания в тёплом периоде времени года происходит отделение свободной влаги от осадка, который становится фильтрующим слоем, вследствие чего мелкодисперсные частицы удерживаются внутри его слоя [11]. Технологический цикл представленной технологии состоит из 5 основных этапов [7]:

1. осушение карт-накопителей в тёплый период времени года;
2. вымораживание осадков в холодное время года посредством прокладки траншей¹;

3. подсушивание и отвод талых вод в тёплый период времени года;
4. повторное вымораживание, только траншеи выбираются на месте ранее складированного осадка;
5. рекультивационная сукцессия отвалов вымороженных осадков или их использование в качестве почвогрунтов и удобрений.

В период 2019–2024 гг. ФГБОУ ВО «ИРНИ-ТУ» был организован ряд натурных и опытно-промышленных испытаний (рис. 3–4), в ходе которых было подтверждено, что разработанная технология позволяет уменьшить объём и влажность осадков до 40% и 60% соответственно, а также снизить класс опасности отходов до V (практически неопасные отходы). При осуществлении разработанной природоподобной технологии можно получать субстрат, отвечающий требованиям нормативных документов, регламентирующих использование осадков очистных сооружений в качестве сырья для рекультивации нарушен-

¹ Патент № 2717520 С1 Российская Федерация, МПК C02F 11/20, C02F 103/28. Способ вымораживания коллоидных осадков шлам-лигнина посредством прокладки траншей: № 2019129421: заявл. 17.09.2019; опубл. 23.03.2020 / А. В. Богданов, О. В. Алексеева, А. С. Шатрова [и др.].



Рис. 3 / Fig. 3. Планировка площадки вымораживания осадка на Солзанской промплощадке ОАО «Байкальский ЦБК», февраль 2019 г. / Layout of the sludge freezing site at the Solzan industrial site of Baikal Pulp and Paper Mill, February 2019

Источник: фото авторов



Рис. 4 / Fig. 4. Формирование опытных делян почвогрунта, полученного из вымороженных лигнинсодержащих осадков на Солзанской промплощадке ОАО «Байкальский ЦБК», май 2019 г. / Formation of experimental plots of soil obtained from frozen lignin-containing sediments at the Solzan industrial site of Baikal Pulp and Paper Mill, May 2019

Источник: фото авторов

ных земель и удобрений (ГОСТ 54534-2011¹, ГОСТ Р 54651-2011²) [7].

Однако, несмотря на соответствие полученного в результате реализации разработанной природоподобной технологии почвогрунта требованиям ГОСТ 54534-2011, ГОСТ Р 54651-2011, важно дать оценку его фактического воздействия на рост и развитие высших растений.

ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ СОЛЗАНСКОГО ПОЛИГОНА ОАО «БАЙКАЛЬСКИЙ ЦБК»

Климатические условия района расположения карт-накопителей Солзанского полигона ОАО «Байкальский ЦБК» относительно мягкие [6], что обусловлено влиянием водных масс озера Байкал.

Солзанская промплощадка располагается в пределах аллювиальной предгорной впадины, образованной конусам выноса рек и состоящей из аллювиальных, аллювиально-пролювиальных и селевых осадков четвертичного и неоген-четвертичного возраста. Мощность рыхлых отложений — от первых десятков до сотен метров. Южнее полигона впадина переходит в отроги хр. Хамар-Дабан, сложенного архейскими метаморфическими образованиями.

В геологическом строении данной территории в пределах глубин до 30 м принимают участие сверху вниз: техногенные грунты, отсыпанные галечниковыми грунтами с песчаным и супесчаным заполнителем и аллювиальные отложения, песок гравелистый малой степени водонасыщения средней плотности, валунный грунт. Вечномерзлые грунты до глубины 30 м не встречены [1].

Стоит отметить, что Солзанский полигон находится в сейсмоактивной области Байкальской рифтовой зоны (юг оз. Байкал) с расчётной величиной возможных землетрясений — от 10 до 11 баллов по 12-балльной шкале.

¹ ГОСТ 54534-2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.

² ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОЙ И ХРОНИЧЕСКОЙ ФИТОТОКСИЧНОСТИ ВЫМОРОЖЕННЫХ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ ШЛАМ-ЛИГНИНА, А ТАКЖЕ ПОЛУЧЕННЫХ НА ИХ ОСНОВЕ ПОЧВОГРУНТОВ

Исследование острой фитотоксичности вымороженных лигнинсодержащих осадков шлам-лигнина, а также почвогрунтов на их основе в отношении высших растений осуществлялось согласно МР 2.1.7.2297—07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности».

Для проведения исследований был выбран тест-объект, непосредственно рекомендованный в МР 2.1.7.2297—07 — овёс посевной (лат. *Avena sativa*). Для того, чтобы оценить наличие острой фитотоксичности рассматривалось биологическое воздействие водной вытяжки из исследуемых образцов. Водная вытяжка готовилась следующим образом: 10 г образца заливалось дистиллированной водой до 100 мл, затем полученная масса встряхивалась 24 часа. Далее фильтровальную бумагу помещали в чашки Петри и выкладывали 25 семян используемого тест-объекта, затем в чашки приливалось 5 мл тестируемой профильтрованной водной вытяжки. Пробы термостатировались 7 суток, после чего измерялась длина корней каждого проростка в пробках.

В таблице 1 приведены результаты исследований острой фитотоксичности в вымороженных лигнинсодержащих осадках и почвогрунтах на их основе согласно МР 2.1.7.2297—07.

Как видно из таблицы, подверженные воздействию отрицательных температур лигнинсодержащие осадки и почвогрунт на их основе не обладают острым токсическим действием, поскольку фитотоксический эффект составляет менее 20%. Также установлено, что полученный почвогрунт стимулирует рост овса посевного.

Исследование хронической фитотоксичности вымороженных лигнинсодержащих осадков шлам-лигнина и получаемых из них почвогрунтов осуществлялось согласно ГОСТ Р ИСО 22030—2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений».

ГОСТ Р ИСО 22030—2009 позволяет оценить качество почв и грунтов разнообразного состава, в который могут входить неизвестные

Таблица 1 / Table 1

Оценка острой фитотоксичности исследуемых образцов в отношении *Avena sativa* / Evaluation of acute phytotoxicity of the studied samples in relation to *Avena sativa*

№ семян	Длина корней проростков, мм		
	Дистиллированная вода	Вымороженные лигнинсодержащие осадки	Полученный почвогрунт
1	10,8	12,0	14,4
2	11,2	11,7	11,8
3	10,7	10,2	15,3
4	12,3	14,5	10,7
5	11,4	13,6	13,5
6	13,5	10,1	12,1
7	14,5	10,0	14,1
8	12,8	8,4	14,7
9	15,1	7,9	14,0
10	13,4	13,3	12,1
11	14,6	12,4	13,5
12	11,3	7,9	9,8
13	13,5	12,5	11,7
14	10,7	11,3	15,1
15	11,8	14,4	12,9
16	14,4	13,1	14,3
17	12,7	10,5	13,5
18	10,1	12,2	12,8
19	10,1	14,4	11,7
20	13,7	13,2	14,4
21	13,5	11,3	11,7
22	14,2	12,5	13,7
23	12,1	14,4	12,5
24	11,3	11,7	13,1
25	0,0	0,0	14,8
Средняя длина корней, мм	12,0	11,3	13,1
Отклонение от контроля (дистиллированная вода) – фитоэффект (ЕТ), %	-	5	-9,2

Источник: данные авторов (по результатам лабораторных исследований)

загрязнители. В ГОСТ Р ИСО 22030–2009 предлагается использование редьки масличной (лат. *Brassica rapa CrGC syn. Rbr*) и овса посевного (лат. *Avena sativa*). Редька масличная – однолетнее растение, которое применяют в качестве сидерата [5], а также для борьбы с вредителями и сорняками [13]. Овёс посевной – злаковое растение, которое неприхотливо классифицируется как солеустойчивое растение и считается одним из растений-фиторемедиантов для улучшения засоленных почв [16].

В ходе эксперимента тест-объекты высаживали в пластиковые контейнеры в количестве 10 семян и через 2 недели в каждом контейнере оставляли по 4 растения (табл. 2). Контейнеры помещались в термостат с контролируемой температурой и освещением, при необходимости образцы увлажнялись дистиллированной водой. В качестве контроля была взята фоновая проба почвы, отобранная возле территории Солзанской промплощадки ОАО «Байкальский ЦБК», на которую не влияли техногенные факторы.

Таблица 2 / Table 2

Оценка хронической фитотоксичности исследуемых образцов в отношении *Avena sativa* и *Brassica rapa* / Evaluation of chronic phytotoxicity of the studied samples in relation to *Avena sativa* and *Brassica rapa*

Параметры оценки хронической токсичности	Фоновая проба		Полученный почвогрунт		Вымороженные лигнинсодержащие осадки	
	<i>Avena sativa</i>	<i>Brassica rapa</i>	<i>Avena sativa</i>	<i>Brassica rapa</i>	<i>Avena sativa</i>	<i>Brassica rapa</i>
Количество проросших семян, шт	10	9	10	9	10	9
Количество живых растений на 14-й день, шт	9	8	10	9	9	8
Средняя длина побега на 14-й день (на 1 растение), см	18,1	14,6	26,5	17,1	21,7	15,4
Средняя сырая масса растений на 14-й день (на 1 растение), г	0,22	0,26	0,29	0,38	0,24	0,31
Средняя сухая масса растений в конце опыта (на 1 растение), г	0,057	0,073	0,10	0,11	0,079	0,093
Среднее количество цветков в конце опыта (на 1 растение), шт	34	14	42	24	38	16

Источник: данные авторов (по результатам лабораторных исследований)

Как видно, вымороженные осадки шлам-лигнина и полученный из них почвогрунт не обладают острой токсичностью¹, т. к. гибель овса посевного и редьки масличной не превышает 20% по сравнению с фоновой пробой. При этом в образцах полученного почвогрунта наблюдается прирост биомассы и увеличение длины побегов на 14-е сутки в 1,5 и 1,2 раза выше фоновой пробы почвы по *Avena sativa* и *Brassica rapa* соответственно. Полученный почвогрунт также способствует активному размножению тест-растений — среднее количество цветков на конец опыта показало их увеличение в 1,2 (*Avena sativa*) и 1,8 (*Brassica rapa*) раз по отношению к фоновой пробе. Данный эффект объясняется более бедным составом фоновой пробы почвы на питательные элементы по сравнению с полученным почвогрунтом. При этом подверженные воздействию отрицательных температур деструктированные лигнинсодержащие осадки не проявляют хроническую токсичность, т. к. за весь период проведения исследования (52 дня) угнетения роста и развития растений не выявлено.

¹ Под острой токсичностью в данном случае понимается способность химических веществ за короткий промежуток времени оказывать негативное воздействие на растения и вызывать их повреждение или гибель более чем на 20% по сравнению с контрольным образцом.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫМОРОЖЕННЫХ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩИХ ОСАДКОВ ШЛАМ-ЛИГНИНА, А ТАКЖЕ ПОЛУЧЕННЫХ НА ИХ ОСНОВЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА ПЛОДОВО-ЯГОДНЫЕ КУЛЬТУРЫ

Исследования проводились следующим путём: на опытных делянках почвогрунта, сформированных на Солзанском полигоне ОАО «Байкальский ЦБК» были высажены плодово-ягодные культуры.

Выбор плодово-ягодных культур был обусловлен тем, что малина является одной из самых адаптивных кустарных культур, которые устойчивы к негативным условиям окружающей среды [15], а также не требует особого ухода. Выбор клубники обусловлен климатическими особенностями региона «холодных тропиков», которые позволяют выращивать и собирать её богатые урожаи. Поэтому клубника является популярной плодово-ягодной культурой для этого региона. Так, уже более 10 лет в городе ежегодно проходит региональный фестиваль клубники «Виктория» [3].

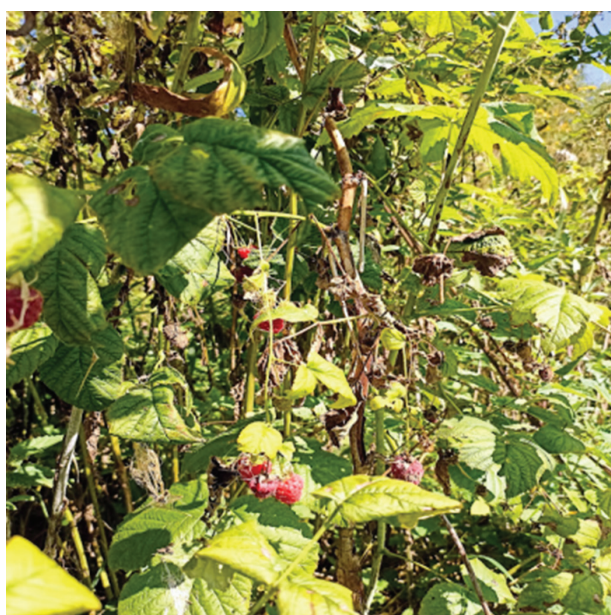
В ходе эксперимента проводилась визуальная оценка состояния высаженных культур, также был проведён элементный анализ отобранных образцов плодов малины и клубники на содержание тяжёлых металлов и мышьяка методом спектрометрии с индуктивно-связ-

занной плазмой (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98). Особое внимание уделялось тяжёлым металлам (кадмию, ртути, меди, цинку) и мышьяку, т. к. их высокие концентрации ведут к различным морфологическим нарушениям и даже могут вызвать гибель растений [10; 14; 17].

Визуальная оценка воздействия вымороженных лигнинсодержащих осадков шлам-лигнина и полученных из них почвогрунтов на плодово-ягодные культуры (клубнику, малину) за период 2019–2024 гг. показала активное зарастание почвогрунта кустами малины (рис. 5). При этом визуально растения не имели физиологических отклонений.

В таблице 3 представлены результаты количественного химического анализа образцов плодов малины и клубники на содержание в них тяжёлых металлов (кадмия, ртути, меди, цинка) и мышьяка. В качестве нормативных концентраций были приняты значения, указанные в СанПиН 42-123-4089-86 «Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах».

Согласно данным концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в ягодах малины и клубники, которые выращены на изучаемом субстрате, не превышают предельно-допустимые концентрации.



А. Август 2022 г.



Б. Октябрь 2023 г.

Рис. 5 / Fig. 5. Малина, высаженная на опытной деляне в 2022 и 2023 гг. / Raspberries planted in an experimental plot in 2022 and 2023

Источник: фото авторов

Таблица 3 / Table 3

Тяжёлые металлы и мышьяк в ягодах культур, выращенных на исследуемом почвогрунте / Heavy metals and arsenic in berries of crops grown on the studied soil

Компонент	Клубника	Малина	Предельно-допустимые концентрации, мг/кг
Cd, мг/кг	0,008	0,01	0,03
As, мг/кг	0,05	0,09	0,2
Hg, мг/кг	0,005	0,008	0,02
Cu, мг/кг	0,9	2,1	5,0
Zn, мг/кг	3,6	6,2	10,0

Источник: данные авторов (результаты лабораторных исследований) и СанПиН 42-123-4089-86 «Предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах». М.: Министерство здравоохранения СССР, 1986. 22 с.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РЕКУЛЬТИВАЦИОННОЙ СУКЦЕССИИ ПРИ ЕЁ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЫМОРОЖЕННЫМИ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩИМИ ОСАДКАМИ И ПОЛУЧЕННЫМИ ИЗ НИХ ПОЧВОГРУНТАМИ

Опытно-промышленные испытания по проведению рекультивационной сукцессии берут своё начало в 2019 г. Тогда были сформированы деляны с почвогрунтом, полученным из вымороженных лигнинсодержащих осадков вблизи карты-накопителя № 2 Солзанской промплощадки ОАО «Байкальский ЦБК». На деляне были высажены растения-сидераты: фацелия (лат. *Phacelia*), овёс посевной (лат. *Avena sativa*) и горчица (лат. *Sinapis*).

С 2019 по 2024 г. проводилась оценка эффективности протекания процессов самозаращения на отвалах вымороженных лигнинсодержащих осадков и почвогрунтах в естественных для Южного Прибайкалья климатических условиях [9]. Проводилась визуальная оценка изменения биоразнообразия высших растений, а также изучался агрохимический и химический состав исследуемых образцов в каждый вегетативный период. В качестве интегрального показателя уровня воздействия

исследуемых образцов на живые организмы определялся их класс опасности посредством проведения биотестирования с применением культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) и дафний *Daphnia magna* Straus. Все исследования проводились в аккредитованной лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» (РОСС RU.0001.518897).

Визуальное обследование экспериментальной площадки показало, что в течение 6 вегетационных периодов (2019–2024 гг.) протекают активные процессы самозаращения с увеличением видового разнообразия высших растений [7; 9]. В полученном почвогрунте по сравнению с исходными отвалами вымороженных лигнинсодержащих осадков самозаращение проходит более интенсивно, что связано с большим количеством питательных биогенных веществ – калия, фосфора и азота (табл. 4), а также с высадкой в почвогрунт сидератов, улучшающих структуру почвы и угнетающих рост сорняков [8; 12].

В таблице 4 представлены основные токсичные компоненты, входящие в состав исследуемых образцов (тяжёлые металлы и мышьяк), а также основные агрохимические показатели в 2019, 2021 и 2024 гг.

Таблица 4 / Table 4

Основные химические и агрохимические показатели отвалов вымороженных лигнинсодержащих осадков и полученного почвогрунта в 2019, 2021 и 2024 гг. / Main chemical and agrochemical indicators of frozen lignin-containing sediment dumps and obtained soil in 2019, 2021 and 2024

Показатели	Отвалы вымороженных лигнинсодержащих осадков			Полученный почвогрунт		
	2019	2021	2024	2019	2021	2024
Никель валовый, мг/кг	15,2	63	65	15,4	68	79
Медь валовая, мг/кг	54	144	152	74	181	172
Цинк валовый, мг/кг	61	154	171	191	263	271
Свинец валовый, мг/кг	5,2	29	28	9,8	49	46
Мышьяк валовый, мг/кг	1,6	16	15	1,2	13	12
Ртуть валовая, мг/кг	1,3	0,8	0,7	1,0	0,6	0,5
K ₂ O подвижный, мг/кг	187	145	184	363	54,2	62,1
P ₂ O ₅ подвижный, мг/кг	80,4	96,3	120	157	488	476
Водородный показатель солевой вытяжки	6,1	5,9	6,4	5,9	5,8	5,6
Водородный показатель водной вытяжки	7,0	6,5	7,2	6,0	6,5	6,9
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	2,25	1,34	1,23	3,96	1,50	1,37
Органическое вещество, %	47,4	44,2	43,8	35,8	31,4	30,9
Азот общий, %	2,4	1,5	1,2	2,5	1,4	1,4
Класс опасности	IV	IV	V	IV	V	V

Источник: данные авторов (результаты лабораторных исследований)

Как видно из таблицы, с 2019 по 2021 гг. в исследуемых образцах происходило увеличение содержания тяжёлых металлов, что может быть связано с изменением соотношения органической и минеральной части образцов — массовая доля органического вещества и азота снизилась из-за их активного потребления растениями в первые 2 года протекания сукцессии. С 2021 по 2024 г. наблюдается стабилизация содержания тяжёлых металлов, т. к. снижения количества органической части не происходит вследствие её привнесения в качестве свежих отмерших растительных остатков. При этом в субстрате, полученном из лигнинсодержащих осадков, происходит более

резкое снижение органического вещества и питательных элементов по сравнению с отвалами лигнинсодержащих осадков. Это может быть связано с более активным поглощением растениями веществ, необходимых для их роста и развития, т. к. изначально исследуемые почвогрунты имели большее видовое разнообразие фитоценоза. Однако в 2021 г. фиксируется увеличение содержания массовой доли подвижного фосфора, что может говорить о его поступлении от перегнивших ранее растений, но низким его потреблении.

На рисунке 6 представлены отвалы вымороженных осадков шлам-лигнина в разные годы.



А. 2019 г.



Б. 2023 г.



В. 2024 г.

Рис. 6 / Fig. 6. Отвалы вымороженных лигнинсодержащих осадков в 2019, 2023 и 2024 гг. / Dumps of frozen lignin-containing sludge in 2019, 2023 and 2024

Источник: фото авторов

В течение 5 лет сукцессии (рис. 6) произошёл переход от безжизненного субстрата до многолетних растений, в т. ч. деревьев первой генерации, которые представлены тополем душистым (лат. *Populus suaveolens*) и берёзой повислой (бородавчатой) (лат. *Bétula péndula*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования (оценка острой и хронической фитотоксичности, влияние на плодово-ягодные культуры, оценка динамики рекультивационной сукцессии) показали, что лигнинсодержащие осадки ОАО «Байкальский ЦБК» и почвогрунты на их основе не обладают острым и хроническим токсическим действием в отношении высших сосудистых растений, а также способствуют увеличению их биомассы вследствие наличия питательных элементов (калия, фосфора, азота). При этом элементный состав ягод малины и клубники свидетельствует о том, что применение почвогрунтов из вымороженных лигнинсодержащих осадков не приводит к аккумуляции тяжёлых металлов в плодах ягодных культур.

Визуальная оценка динамики рекультивационной сукцессии показала, что в почвогрунтах из лигнинсодержащих осадков процессы самозарастания происходит активнее, чем в отвалах вымороженных осадков шлам-лигнина. Однако во всех исследуемых образцах наблюдается интенсификация самозарастания. За 6 вегетационных периодов (2019–2024 гг.) произошла стабилизация агрохимических характеристик отвалов вымороженных лигнинсодержащих осадков и полученного из них почвогрунтов.

Разработанная технология переработки коллоидных лигнинсодержащих осадков, основанная на создании условий интенсификации протекания природных процессов в холодный и тёплый период времени года может быть отнесена к категории природоподобных технологий, ведь она соответствует следующим принципам: малоотходность, ресурсосбережение, взаимосвязанность всех компонентов технологии, направленность на восстановление окружающей среды, использование природных процессов. При этом решается не только проблема ликвидации отходов ОАО «Байкальский ЦБК», но и проблема нехватки сырья для рекультивации нарушенных земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джантимиров Х. А., Валиев И. Ф. Рекультивация промзоны БЦБК и прилегающей территории побережья оз. Байкал с применением геотехнических технологий. Краткая концепция // Вестник НИЦ Строительство. 2019. Т. 22. № 3. С. 69–78.
2. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С. Природоподобные технологии — новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2016. Т. 22. № 3–4. С. 103–108.
3. Корюхина И. Ю., Боярских Е. Г. Клубничное дело в Байкальске: смыслы и противоречия // Крестьяноведение. 2023. Т. 8. № 2. С. 116–139. DOI: 10.22394/2500-1809-2023-8-2-116-139
4. Лапердин В. К. Мероприятия по утилизации и хранению лигнинсодержащих промышленных и жидких бытовых отходов в бассейне оз. Байкал // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2018. № 3. С. 77–85.
5. Смуров С. И., Попова Т. И. Оценка различных видов культур и их сочетаний в качестве парозанимающих сидератов // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 74–77.
6. Способы утилизации и применения содержимого шламовых накопителей Байкальского целлюлозно-бумажного комбината для нужд нефтегазового комплекса Восточной Сибири / А. Г. Вахромеев, С. А. Щербин, О. А. Брагина, Д. С. Евдокименко, С. А. Сверкунов, И. Д. Ташкевич // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. Т. 30. № 4. С. 354–363. DOI: 10.15372/KhUR2022390
7. Технология переработки отходов целлюлозно-бумажной промышленности в почвогрунты с использованием естественных природных процессов / А. С. Шатрова, А. В. Богданов, А. И. Шкрабо, О. В. Алексеева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 8. С. 153–162. DOI: 10.18799/24131830/2022/8/3658
8. Харитонов В. В., Шахов С. С. Оценка влияния сидератов на агрохимические показатели почвы // Агрохимический вестник. 2016. № 3. С. 39–43.
9. Шатрова А. С. Исследование процессов сукцессии на вымороженных лигнинсодержащих осадках ОАО «Байкальский ЦБК» и почвогрунтах на их основе // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 5. С. 40–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-5-40-45
10. Ambika A., Mohnish P., Kumar N. Effect of Heavy Metals on Plants: An Overview // International

- Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. 2016. Vol. 5. № 3. P. 56–66. DOI: 10.13140/RG.2.2.27583.87204
11. Dirksen J., Ring T. Fundamentals of crystallization: kinetic effects on particle size distributions and morphology // *Chemical Engineering Science*. 1991. Vol. 46. № 10. P. 2389–2427. DOI: 10.1016/j.powtec.2006.11.013
 12. Fageria N. K., Baligar V., Bailey B. Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005. Vol. 36. P. 19–20. DOI:10.1080/00103620500303939
 13. Haramoto E., Gallandt E. Brassica cover cropping for weed management: A review // *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2004. Vol. 19. № 04. P. 187–198. DOI: 10.1079/RAFS200490
 14. Muhammad A., Farouk N. The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review // *MOJ Ecology & Environmental Sciences*. 2018. Vol. 3. № 4. P. 265–268. DOI: 10.15406/mojes.2018.03.00098
 15. Ozherelieva Z. E., Lupin M. V., Bogomolova N. I. Study of Raspberry Genotypes by Biologically Valuable Traits under Conditions of Central Russia // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 3. P. 630. DOI: 10.3390/agronomy12030630
 16. Potential application of oat for phytoremediation of salt ions in coastal saline-alkali soil / Lipu Hana, Huitao Liua, Shuhui Yua, Wenhui Wanga, Jintong Liua // *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 61. Part A. P. 274–281. DOI: 10.1016/j.ecoeng.2013.09.034
 17. Sperdouli I. Heavy Metal Toxicity Effects on Plants // *Toxics*. 2022. Vol. 10. № 12. P. 1–4. DOI: 10.3390/toxics10120715
 18. Tanaka K., Kimura Y. Theoretical analysis of crystallization by homogeneous nucleation of water droplets // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2019. Vol. 21. P. 2410–2418. DOI: 10.1039/c8cp06650g
 - uid household waste in the Lake Baikal basin. In: *Geocology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 3, 77–85. (In Russ.)
 5. Smurov S. I., Popova T. I. (2015). Evaluation of various types of crops and their combinations as steam-absorbing green manure. In: *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 29, 11, 74–77. (In Russ.)
 6. Vakhromeev A. G., Shcherbin S. A., Bragina O. A., Evdokimenko D. S., Sverkunov S. A., Tashkevich I. D. (2022). Methods of utilization and use of the contents of sludge storage tanks of the Baikal Pulp and Paper Mill for the needs of the oil and gas complex of Eastern Siberia. In: *Chemistry for Sustainable Development*, 30, 4, 354–363. DOI: 10.15372/KhUR2022390 (In Russ.)
 7. Shatrova A. S., Bogdanov A. V., Shkrabo A. I., Alekseeva O. V. (2022). Technology of processing pulp and paper industry waste into soils using natural processes In: *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources engineering*, 333, 8, 153–162. DOI: 10.18799/24131830/2022/8/3658 (In Russ.)
 8. Kharitonov V. V., Shakhov S. S. (2016). Evaluation of the influence of green manure on agrochemical parameters of the soil. In: *Agrochemical Bulletin*, 3, 39–43. (In Russ.)
 9. Shatrova A. S. (2023). Study of succession processes on frozen lignin-containing sediments of OJSC Baikal Pulp and Paper Mill and soils based on them. In: *Ecology and Industry of Russia*, 27, 5, 40–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-5-40-45 (In Russ.)
 10. Ambika A., Mohnish P., Kumar N. (2016). Effect of Heavy Metals on Plants: An Overview. In: *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5, 3, 56–66. DOI: 10.13140/RG.2.2.27583.87204
 11. Dirksen J., Ring T. (1991). Fundamentals of crystallization: kinetic effects on particle size distributions and morphology. In: *Chemical Engineering Science*, 46, 10, 2389–2427. DOI: 10.1016/j.powtec.2006.11.013
 12. Fageria N. K., Baligar V., Bailey B. (2005). Role of Cover Crops in Improving Soil and Row Crop Productivity. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 19–20. DOI:10.1080/00103620500303939
 13. Haramoto E., Gallandt E. (2004). Brassica cover cropping for weed management: A review. In: *Renewable Agriculture and Food Systems*, 19, 04, 187–198. DOI: 10.1079/RAFS200490
 14. Muhammad A., Farouk N. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review. In: *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 3, 4, 265–268. DOI: 10.15406/mojes.2018.03.00098
 15. Ozherelieva Z. E., Lupin M. V., Bogomolova N. I. (2022). Study of Raspberry Genotypes by Biologically Valuable Traits under Conditions of Central

REFERENCES

1. Dzhamtimirov Kh. A., Valiev I. F. (2019). Reclamation of the BPPM industrial zone and the adjacent territory of the Lake Baikal coast using geotechnical technologies. Brief concept. In: *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*, 22, 3, 69–78. (In Russ.)
2. Kovalchuk M. V., Naraykin O. S. (2016). Nature-like technologies — new opportunities and new threats. In: *Security Index*, 22, 3-4, 103–108. (In Russ.)
3. Koryukhina I. Yu., Boyarskikh E. G. (2023). Strawberry business in Baikalsk: meanings and contradictions. In: *Peasant Studies*, 8, 2, 116–139. DOI: 10.22394/2500-1809-2023-8-2-116-139 (In Russ.)
4. Laperdin V. K. (2018). Measures for the disposal and storage of lignin-containing industrial and liq-

- Russia. In: *Agronomy*, 12, 3, 630. DOI: 10.3390/agronomy12030630
16. Lipu Hana, Huitao Liua, Shuhui Yua, Wenhui Wang, Jintong Liua (2013). Potential application of oat for phytoremediation of salt ions in coastal saline-alkali soil. In: *Ecological Engineering*, 61, Part A, 274–281. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.034
17. Sperdouli I. (2022). Heavy Metal Toxicity Effects on Plants. In: *Toxics*, 10, 12, 1–4. DOI: 10.3390/toxics10120715
18. Tanaka K., Kimura Y. (2019). Theoretical analysis of crystallization by homogeneous nucleation of water droplets. In: *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21, 2410–2418. DOI: 10.1039/c8cp06650g

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шатрова Анастасия Сергеевна — кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред Иркутского национального исследовательского технического университета;
e-mail: shatrova.irk@gmail.com

Богданов Андрей Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и инженерной экологии Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета;
e-mail: bogdanovav@istu.edu

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasia S. Shatrova — PhD (Engineering), Research Associate, Laboratory of Environmental Monitoring of Natural and Man-Made Environments, Irkutsk National Research Technical University;
e-mail: shatrova.irk@gmail.com

Andrei V. Bogdanov — Dr. Sci. (Engineering), Prof., Department of Mineral Processing and Engineering Ecology, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University;
e-mail: bogdanovav@istu.edu

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Шатрова А. С., Богданов А. В. Оценка воздействия почвогрунтов, полученных из осадков шлам-лигнина (отходов Байкальского ЦБК) на высшие растения // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 53–66.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-53-66

FOR CITATION

Shatrova A. S, Bogdanov A. V. Assessment of the impact of soil obtained from lignin sludge deposits (waste from the Baikal Pulp and Paper Mill) on higher plants. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 53–66.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-53-66

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научная статья
УДК 504.4.062.2

ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ ОБЪ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

© СС ВУ Орлова Е. С.¹, Рыбкина И. Д.²

¹ *Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: el.orlova11@yandex.ru; ORCID: 0009-0004-0650-4055*

² *Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: rina.rybkina@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0081-9652*

Поступила в редакцию 24.10.2024

После доработки 17.01.2025

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Провести количественную оценку хозяйственно-питьевых и коммунально-бытовых видов водопотребления в населённых пунктах сельских поселений без учёта крупных промышленных и сельскохозяйственных водопотребителей, поскольку статистическая информация в формах государственной отчётности отсутствует, но при этом необходима в целях управления водными ресурсами регионов.

Процедура и методы. Выделение модельного населённого пункта произведено на основе анализа документов территориального планирования сельских поселений Алтайского края и Новосибирской области. Типичные водопотребители определены по данным муниципальной статистики и систематизации объектов социально-культурного назначения. Удельные величины потребления воды установлены по нормативным документам, санитарным правилам и другим источникам. Расчёт минимальной потребности в воде, по представленной методике, проведён для отдельного населённого пункта и для сельских муниципальных образований региона исследования.

Результаты. В среднестатистическом сельском населённом пункте типичными водопотребителями выступают население, имеющее личное подсобное хозяйство, и организации социально-культурного назначения. Согласно предложенным удельным нормам суточного водопотребления самым водоёмким является полив приусадебного участка, среди социально-культурных объектов — детские сады. Расчёт минимальной потребности в водных ресурсах сельского населения для отдельного населённого пункта и для муниципальных образований в целом показал, что в годовой структуре водопотребления более 80% приходится на личное подсобное хозяйство, 10–15% — на личные нужды населения и менее 5% — на объекты общественно-деловой зоны. Расчётное водопотребление превышает разведанные запасы подземных вод только в 9 районах бессточной области.

Теоретическая и/или практическая значимость. Предложена методика определения минимальной потребности в воде для жизнеобеспечения сельских населённых пунктов.

Ключевые слова: водообеспеченность, личное подсобное хозяйство, сельские территории, удельное водопотребление

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

ASSESSMENT OF THE ACTUAL WATER CONSUMPTION OF THE POPULATION OF RURAL SETTLEMENTS OF THE OB-IRTYSH INTERFLUVE

© CC BY E. Orlova¹, I. Rybkina²

¹*Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: el.orlova11@yandex.ru; ORCID: 0009-0004-0650-4055*

²*Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: rina.rybkina@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0081-9652*

Received 24.10.2024

Revised 17.01.2025

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. To conduct a quantitative assessment of household and communal water consumption in rural settlements, excluding major industrial and agricultural water consumers, as statistical information is absent in state reporting forms but is necessary for the management of regional water resources.

Methodology. The identification of a model settlement was based on an analysis of territorial planning documents from rural areas in the Altai Krai and Novosibirsk Oblast. Typical water users were identified using municipal statistics and the categorization of socio-cultural facilities. Water consumption rates were established according to regulatory documents, sanitary rules, and other sources. The calculation of minimum water requirements, using the proposed methodology, was performed for individual settlements and for rural municipalities within the study region.

Results. In an average rural settlement, typical water users include the population engaged in personal subsidiary farming and organizations of socio-cultural significance. According to the proposed norms for daily water consumption, the most water-intensive activity is the irrigation of garden plots, while among socio-cultural facilities, kindergartens are the largest water consumers. The calculated minimum water needs for rural populations, both for individual settlements and for municipalities as a whole, showed that over 80% of annual water consumption is attributed to personal subsidiary farming, 10-15% to personal household needs, and less than 5% to public-business zone facilities. Calculated water consumption exceeds explored reserves of groundwater only in 9 districts of the endorheic basin.

Research implications. A methodology for determining the minimum water needs of the population of rural settlements has been proposed.

Keywords: water supply, water availability, personal subsidiary farm, Ob-Irtysh interfluve, rural areas, specific water consumption

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы водопотребления приобретают всё большую актуальность в условиях климатических и социально-экономических изменений. Особенно это касается территорий с засушливым климатом и ограниченными водными ресурсами.

В настоящее время в РФ контроль за водопотреблением ведётся на уровне крупных водопользователей и недропользователей, отчитывающихся по формам федерального статистического наблюдения (2 ТП-водхоз). В сельских населённых пунктах такой учёт

практически отсутствует, особенно в малых, где нет систем централизованного водоснабжения. В перечень респондентов входят юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие забор из водных объектов и систем водоснабжения в объёме более 50 м³ и 300 м³ воды в сутки соответственно. Отдельные лимиты для предоставления отчётности у сельскохозяйственных объектов: при объёме забора свыше 150 м³ в сутки¹ [5].

¹ Приказ Росстата от 02.10.2024 № 445 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения № 2-ТП (водхоз) "Сведения об использовании воды" и указаний по ее заполнению» [Электронный ре-

При этом около 60% водопотребления приходится на электроэнергетику и жилищно-коммунальный комплекс (ЖКХ).

Существенные различия наблюдаются и в региональном аспекте. На объёмы потребления воды определённо оказывают влияние численность населения, уровень урбанизации, наличие водоёмких производств, качество инфраструктуры, благоустройство жилого фонда и др. [1]. Так, на городские поселения РФ в 2023 г. приходилось 45% от общего забора воды по стране¹. Сельские территории значительно отстают от городов по уровню благоустройства жилья: только 67% сельского жилищного фонда РФ оборудовано водопроводом против 93% городского². Услугами централизованного водоснабжения обеспечено 33% сельских населённых пунктов [4; 13].

Если рассматривать водопотребление отдельно взятого населённого пункта, то фактически контроль расхода воды в нём осуществляется преимущественно на производственных и сельскохозяйственных предприятиях, а также у населения и организаций, подключённых к централизованному водоснабжению. Но не в каждом сельском населённом пункте имеется система централизованного водоснабжения, чаще жители используют индивидуальные водоисточники.

Ещё одним важным моментом, усложняющим задачу оценки реальной водообеспеченности сельских населённых пунктов является использование нескольких водоисточников в зависимости от целей. Так, в домохозяйстве на питьевые нужды может использоваться бутилированная вода, для хозяйственно-бытовых целей — водопроводная, а для нужд личного подсобного хозяйства (ЛПХ) — индивидуальная скважина или колодец. Учёт водопотребления в ЛПХ населения не происходит. В этой связи реальное водопотребление может значительно отличаться от нормативного.

Целью данной статьи является количественная оценка всех видов водопотребления в сельском населённом пункте без учёта

промышленных и сельскохозяйственных организаций на примере бессточной области Обь-Иртышского междуречья. Результаты исследования помогут определить минимальную потребность в воде населения небольших населённых пунктов, их перспективы развития, а также направления водохозяйственной деятельности муниципального образования в целом.

В научной литературе проблема сельского водопотребления отражена незначительно. В большинстве исследований данной тематики (в т. ч. отечественных, проводившихся активно научными и проектными институтами СССР в 1960–1980-х гг. и ставшими основой для утверждённых норм водопотребления) основной акцент сделан на развитии сельскохозяйственной отрасли и сельскохозяйственного водоснабжения. Помимо этого аспекта рассматривались вопросы формирования норм и тарифов в городских и сельских поселениях [11]. Ряд работ посвящён бытовому водопотреблению сельского населения, включая анализ выбора водоисточника [12; 15; 16 и др.]. Рядом исследователей [8] выполнен расчёт водопотребления по сельским поселениям в разрезе основных отраслей экономики региона. Минимальное суточное водопотребление рассчитывали Р. Н. Gleick [14], G. Howard, C. Bog, G. Goldstein [15], В. И. Данилов-Данильян [3] и др.

Объектом исследования определена бессточная область Обь-Иртышского междуречья, расположенная в пределах Российской Федерации (Омская, Новосибирская области, Алтайский край) и Республики Казахстан (Павлодарская, Восточно-Казахстанская области) (рис. 1). В работе анализируются муниципальные образования Новосибирской области и Алтайского края, в которых бессточная область занимает 40 и 34 % соответственно от общей площади субъектов.

Бессточная область — это плоскоовогнутая аккумулятивная озёрная и озёрно-аллювиальная равнина с высотами от 96 м в центральной части до 160 м по периферии. На севере занимает обширную Барабинскую низменность, на юге — Кулундинскую низменность, с востока — ограничена Приобским плато. Все участки представлены степными и лесостепными ландшафтами [10].

Данная территория характеризуется ограниченным поверхностным стоком и засуш-

сурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_488085/ (дата обращения 15.10.2024).

¹ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Федерального агентства водных ресурсов Минприроды России. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

² Российский статистический ежегодник. 2023. М., 2023. 701 с.

ливостью территории, которые выступают лимитирующими факторами социально-экономического развития [2; 9]. Ресурсы поверхностных вод незначительны и представлены, главным образом, бессточными, мелководными озёрами разного гидрохимического состава, а также малыми и средними водотоками (рр. Карасук, Бурла, Кулунда, Чулым, Каргат и др.), которые впадают в бессточные озёра или пересыхают вниз по течению [2].

В соответствии с водохозяйственным районированием РФ¹ она относится к бассейну Верхней Оби (рис. 1).

Основой водоснабжения населения бессточной области являются подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна. Водоносные горизонты существенно различаются между собой глубинами залегания, степенью минерализации, водообильностью и количественными характеристиками². Централизованное водоснабжение организовано из артезианских вод, глубина которых варьируется от 15 м в южных районах до 1200 м — в северо-западных. Индивидуальными водисточниками могут также служить грунтовые воды. Глубина залегания их небольшая: колодцы и скважины в основном до 6 м [7]. Минерализация хозяйственно-питьевых скважин преимущественно не превышает 1 г/дм³, но в ряде районов используются соленоватые воды 1–3 г/дм³ (Баганский, Завьяловский, Купинский, Татарский, Чановский, Чистоозерный)³. По составу пресные воды преобладают гидрокарбонатные кальциевые, но при изменении минерализации — сульфатные натриевые, сульфатные магниевые, сульфатно-хлоридные натриевые и др. [7].

В настоящее время на исследуемой территории освоено 95 месторождений с оценёнными запасами, в 2018 г. эксплуатировалось 41. Всего эксплуатационные запасы составляют 404,7 тыс. м³/сут., что соответствует 4,3% прогнозных ресурсов⁴.

На данной территории располагаются 8 городских поселений, 6 рабочих посёлков, 1 курортный посёлок и 1006 сельских населённых пунктов. Доля сельского населения составляет 69% (с учётом жителей рабочих посёлков) от общей численности. Более 25% населённых пунктов не имеют водопроводов⁵. При этом жилой фонд частично обеспечен услугами централизованного водоснабжения. Такая ситуация характерна для всех населённых пунктов, в т. ч. и для районных центров. Например, в с. Панкрушиха Алтайского края (центр Панкрушихинского района), согласно схеме водоснабжения и водоотведения⁶, централизованными услугами охвачено 60% населения.

По форме 2 ТП-водхоз в сельских поселениях исследуемой территории отчитывается 154 респондента. Отчётностью охвачено 18 видов экономической деятельности (по ОКВЭД). Из них 60% приходится на сельскохозяйственные и теплоснабжающие предприятия, 15% — на организации по забору, очистке и распределению воды, 25% — на остальные. Основной объём вод используется (более 80%) на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды предприятиями жилищно-коммунального сектора⁷.

Исходя из цели исследования, были поставлены задачи, которые решались в несколько этапов (рис. 2).

Для выявления типичных водопотребителей определён модельный (среднестатистический) сельский населённый пункт, характерный для бессточной области. Проанализированы схемы территориального планирования муниципальных образований, ге-

емых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 101. Подземные воды. Т. 1. Питьевые и технические воды. Кн. 7. Сибирский федеральный округ. М., 2019. 29 л.

⁵ База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 20.12.2023).

⁶ Постановление Администрации Панкрушихинского района Алтайского края № 237 от 25 июля 2022 г. «Об утверждении Схемы водоснабжения и водоотведения муниципального образования Панкрушихинский сельсовет Панкрушихинского района Алтайского края на период с 2019 года до 2029 года (актуализирована на 2023 год)».

⁷ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Федерального агентства водных ресурсов Минприроды России [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

¹ Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.

² Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Алтайского края за 2006 год. Выпуск 9. ОАО «Алтайская гидрогеологическая экспедиция». с. Боровиха, 2007.

³ Электронный каталог учётных карточек буровых на воду скважин // РОСГЕОЛФОНД: [сайт]. URL: <https://rfgf.ru/bur/> (дата обращения: 10.04.2024).

⁴ Государственный баланс запасов полезных ископа-

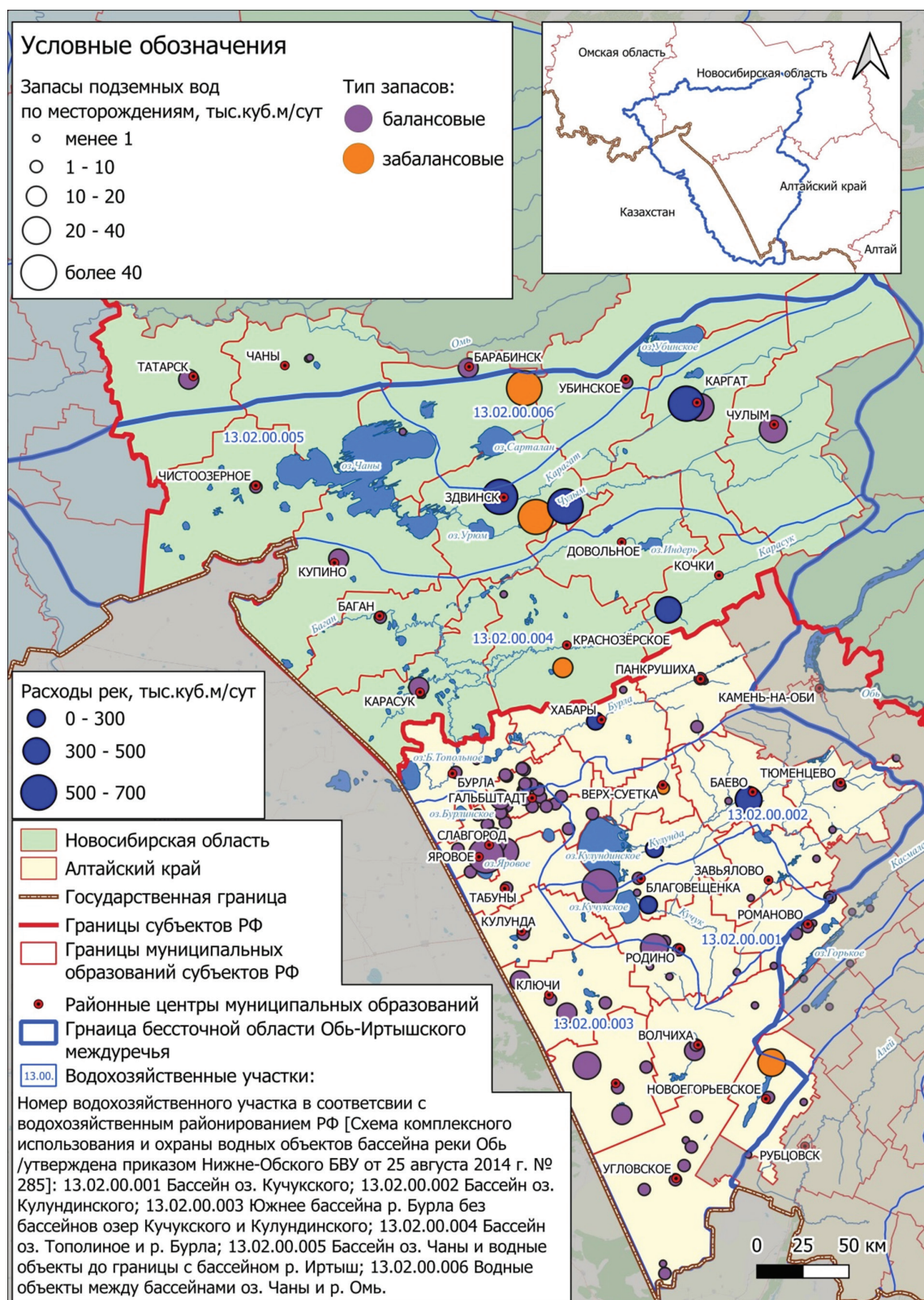


Рис. 1 / Fig. 1. Водоресурсный потенциал бессточной области Обь-Иртышского междуречья / Water resource potential of the drainless region of the Ob-Irtys interfluve

Источник: составлено автором по: Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 101. Подземные воды. Т. 1. Питьевые и технические воды. Кн. 7. Сибирский федеральный округ. М., 2019; Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Федерального агентства водных ресурсов Минприроды России. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2023)

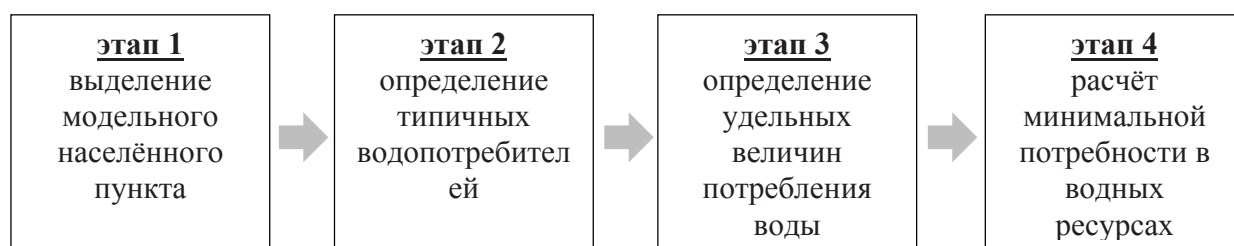


Рис. 2 / Fig. 2. Алгоритм оценки реального водопотребления населения сельских поселений / An algorithm for estimating the real water consumption of the population of rural settlements

Источник: данные авторов

неральные планы и схемы функционального зонирования поселений¹ различных по численности жителей. Учитывая структуру расселения бессточной области и социально-экономические особенности поселений, основой для выделения категорий водопотребителей послужили сёла с численностью населения от 1000 до 3000 чел., не имеющие статуса районного центра.

Определение удельных величин потребления воды основано на «Нормах расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97». Количество населения и параметры ЛПХ приняты по данным муниципальной статистики². По генеральным планам поселений систематизированы объекты социально-культурного назначения сельских населённых пунктов по количеству и мощности, далее выбраны наиболее часто встречающиеся в сёлах. При несоответствии фактурных данных о вместимости или мощности учреждений с ВНТП-Н-97 удельное водопотребление устанавливалось исходя из существующих схем водоснабжения муниципального образования, данных экспедиционных обследований, учёта мнения респондентов, а также личного опыта проживания в сельской местности.

Расчёт минимальной потребности в водных ресурсах по выявленным типичным водопотребителям проводился за 2013 г. (по материалам генерального плана поселения) и сельских муниципальных образований за 2021 г. Из расчёта исключены муниципальные образования, имеющие городские поселения:

¹ Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП) [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru> (дата обращения: 14.02.2024).

² База данных показателей муниципальных образований [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения: 20.12.2023).

муниципальный округ г. Славгород, Барабинский, Татарский, Карасукский, Каргатский, Купинский, Чулымский районы. Стоит отметить, что в настоящее время предложенные статистические показатели для расчёта водопотребления представлены только в разрезе муниципальных районов и округов. Результаты расчётов по муниципальным образованиям были также сопоставлены с данными статистической отчётности по использованию воды по формам 2ТП-водхоз³ и с количеством балансовых запасов подземных вод по разведанным месторождениям⁴. Для измерения суточного водопотребления применяются литры (л/сут), а для годового — кубические метры (м³).

АНАЛИЗ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ БЕССТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ОБЪ-ИРТЫШСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТИПИЧНЫХ ВОДОПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛА

Территория бессточной области характеризуется мелкоселенной структурой расселения (рис. 3). В 92% населённых пунктов от их общего количества численность населения не превышает 1000 чел. В процентном соотношении на малые сёла (менее 1000 жителей) приходится почти 50% от общей численности сельского населения бессточной области.

³ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Федерального агентства водных ресурсов Минприроды России [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

⁴ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 101. Подземные воды. Т. 1. Питательные и технические воды. Кн. 7. Сибирский федеральный округ. М., 2019.

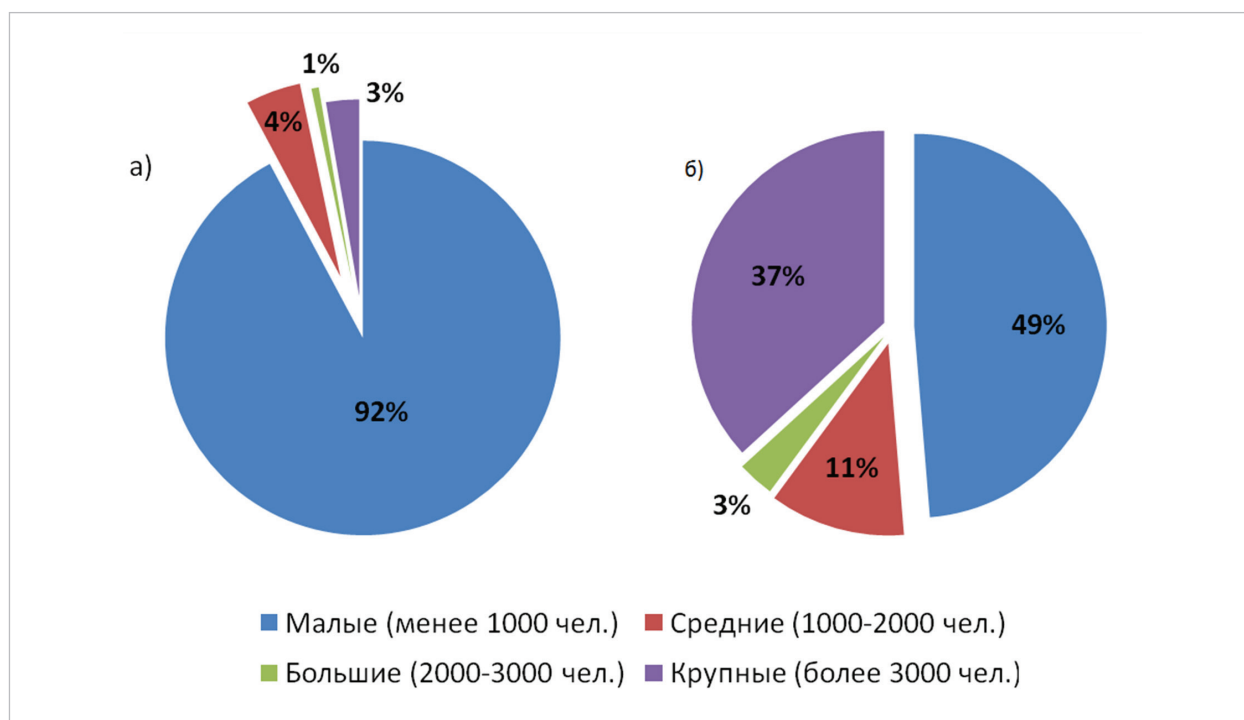


Рис. 3 / Fig. 3. Распределение количества населённых пунктов по категориям (а) и численности населения в них (б) по бессточной области Обь-Иртышского междуречья, % / Distribution of the number of settlements by category (a) and population size in them (b) in the drainless region of the Ob-Irtysh interfluvium

Источник: составлено авторами по: Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Новосибирской области [Электронный ресурс]. URL: <https://mpr.nso.ru/page/3214> (дата обращения: 19.12.2023); Территориальная схема обращения с отходами Алтайского края [Электронный ресурс]. URL: https://minprirody.alregn.ru/directions/prirodnye_resursy/proekty_aktualizirovannoj_tersxemy/ (дата обращения: 19.12.2023)

Средняя величина сельских населённых пунктов составляет 500 жителей. Водоснабжение полностью основано на подземных водоисточниках.

Наибольшим потенциалом развития, бесспорно, обладают крупные и большие населённые пункты. Это, в большинстве своём, районные центры, в которых сосредоточены социально-культурные учреждения и производственные объекты. Как правило, районный центр выступает местом притяжения населения в экономическом и социальном плане. По структуре объектов общественно-деловой зоны он отличается от других сёл района (табл. 1) — здесь сосредоточены головные учреждения структуры управления муниципалитетом, здравоохранения, социального обеспечения, культурного, образовательного, спортивного профиля и др. Уровень благоустройства жилого фонда достаточно высокий, имеются малоэтажные многоквартирные дома. Немаловажным фактором является то, что административные здания и организации

подключены к системе централизованного водоснабжения.

В функциональном зонировании средних и больших поселений выделяется жилая зона и общественно-деловая. Первая включает в себя преимущественно усадьбную застройку с большим земельным участком. Общественно-деловая зона сельского населённого пункта, как правило, представлена образовательными учреждениями (школа и детский сад), медицинской организацией (амбулатория, чаще ФАП), торговыми точками, реже объектами общественного питания и пунктами бытового обслуживания (рис. 4). Кроме этого, имеются административные здания, в которых располагаются органы местного самоуправления, полиция, почта, банк, библиотека, музей и другие организации. Часть данных организаций может находиться в одном здании. Как правило, здания общественно-деловой зоны подключены к системе водоснабжения.

В малых сёлах наличие социально-культурных объектов зависит от количества прожива-

Таблица 1 / Table 1

Среднее количество социально-культурных объектов в сёлах разных категорий / Average number of socio-cultural facilities in villages of different categories

Вид объекта	Районные центры	Средние и большие сёла	Малые сёла
Образовательные учреждения			
Детские сады	2,2	1	1
Школы	1,9	1,1	1
Дополнительные учебные образования	2,2	1	0
Профессиональные учебные заведения	1,2	1	0
Специальные учебные заведения	1	0	0
Объекты здравоохранения и социального обеспечения			
Комплексная больница с поликлиникой и отделением скорой помощи	1	0	0
Амбулатории	0	1	0
Участковая больницы	0	1	0
ФАП	0	1	1
Аптеки	3,1	1	0
Дом-интернат, комплексные центры социальной помощи	1,3	0	0
Объекты культурно-досугового назначения			
МДК, клуб	1,2	1	1
Библиотеки	1,5	1	1
Музеи	1	1	0
Объекты торгового назначения и общественного питания			
Магазины	44,5	7,3	1,5
Рыночный комплекс	1,1	0	0
Объекты общественного питания	3,9	1	0
Административные и прочие организации			
Государственные и административные учреждения	14,7	1,5	1
Банки	2,2	1	0
Гостиницы	1,4	0	0
Общественные бани	1	1	0
Ветеринарные лечебницы, ветпункты	1	1	0
Отделение связи, почта	2	1	1
Объекты бытового обслуживания	2,8	1	1
Предприятия ЖКХ	2,1	1	1
Среднее значение по всем организациям	3,8	1,1	0,4

Источник: составлено авторами по материалам генеральных планов поселений: Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП) [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru> (дата обращения: 14.02.2024)

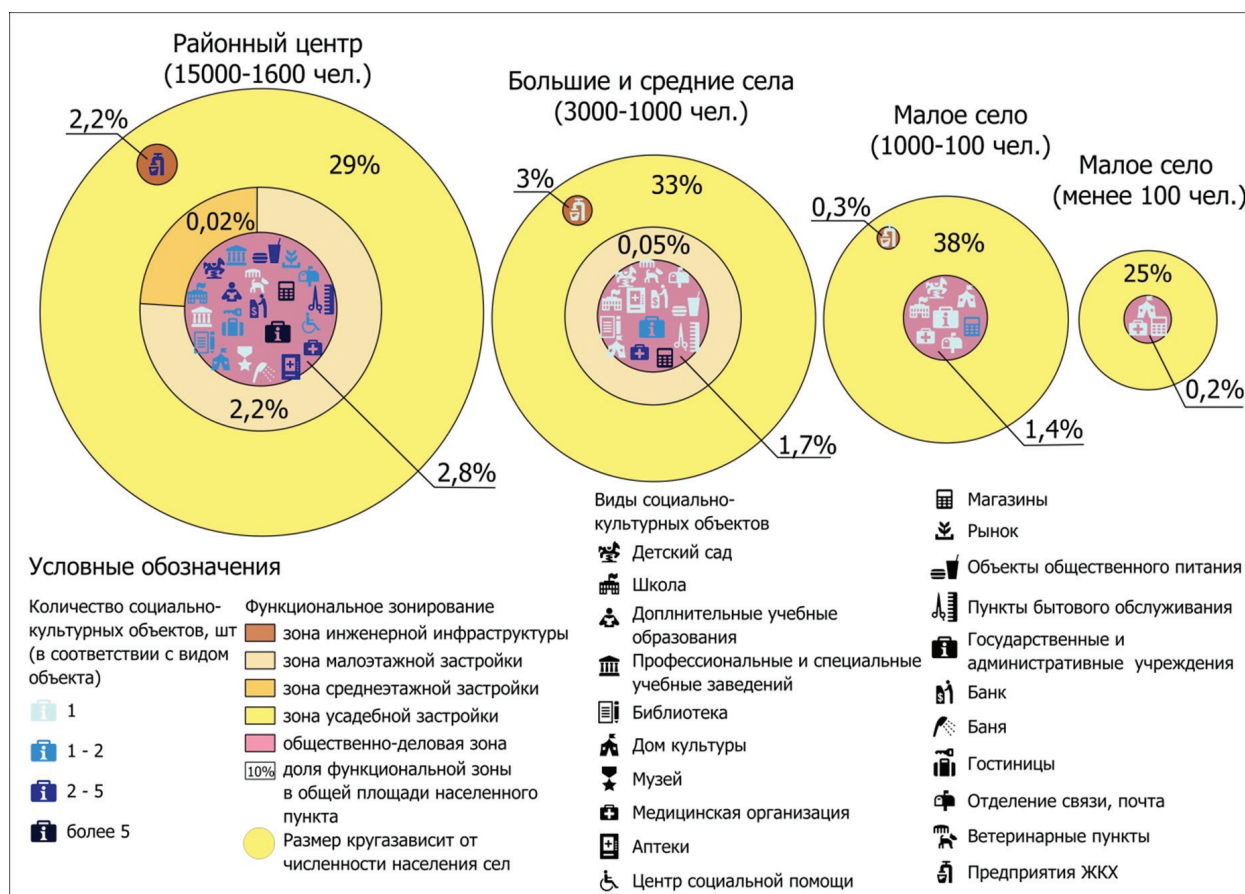


Рис. 4 / Fig. 4. Типы функционального зонирования сёл разных категорий по числу объектов социально-культурного назначения / Types of functional zoning of villages of different categories by the number of socio-cultural facilities

Источник: составлено авторами по материалам генеральных планов поселений: Федеральная государственная информационная система территориального планирования (ФГИС ТП) [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru> (дата обращения: 14.02.2024)

ющего населения, что, в свою очередь, влияет на тип и число образовательных и торговых учреждений. Именно они выступают здесь основой формирования общественно-деловой зоны. В сёлах с численностью населения менее 100 человек социально-культурные объекты могут полностью отсутствовать. Как правило, это связано с транспортной доступностью или экономической структурой поселения. Примером можно назвать Коротоякское сельское поселение Хабарского района Алтайского края, в котором насчитывается 6 сёл с численностью от 1 до 888 чел. В п. Калиновка с численностью населения 28 чел. и удалённого от других сёл поселения общественно-деловая зона отсутствует. А в п. Смирновский, с численностью населения 25 чел. и также находящегося на периферии сельского поселения, имеются дом культуры, магазин и ФАП. Однако здесь располагается свиноферма, вы-

ступающая градообразующим предприятием. Село Усть-Курья имеет 138 жителей, но производственная и общественно-деловая зоны почти повторяют п. Смирновский. Село Коротояк (888 чел.) является центром поселения, к нему примыкают ст. Хабары (1 чел.) и п. Целинный (558 чел.). Фактически границы между данными населёнными пунктами нет. Здесь располагаются школы, детские сады, дом культуры, торговые объекты, столовые и др. Ряд организаций занимают одно здание, например, начальная школа, детский сад, ФАП и банк.

Анализ генеральных планов поселений и схем функционального зонирования, а также доступная статистическая информация позволили выделить следующие категории водопотребителей, наиболее характерных для села:

— население (питьевые, гигиенические и бытовые нужды);

- полив приусадебного участка;
- животноводство;
- общественно-деловая зона, включающая в себя:
 - образовательные организации (детские сады и школы);
 - медицинские организации;
 - торговые организации;
 - объекты общественного питания;
 - объекты бытового обслуживания (парикмахерские);
 - работники сферы услуг и административного аппарата.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ ДЛЯ ТИПИЧНЫХ ВОДОПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛА

Основным водопотребителем выступает население с питьевыми и хозяйственно-бытовыми нуждами. Существующие нормативы различаются в зависимости от благоустроенности жилого фонда¹ — чем выше благоустроенность, тем выше среднесуточное потребление. При этом учитываются следующие нужды: питьевые цели, приготовление пищи, мытьё посуды и овощей, личная гигиена, ванна, душ, стирка белья, смыв унитаза, уборка нежилых помещений. Для жилых домов, оборудованных водопроводом и канализацией, удельное водопотребление колеблется в пределах от 85 (без ванн или душа) до 250 л/сут. А для домов с использованием питьевой воды из водопроводного крана, расположенного на территории участка или из водоразборных колонок, характерных для сельской местности, — сокращается до 30–60 л/сут.

Благоустроенность сельского жилого фонда существенно различается. Например, в Немецком Национальном районе оборудовано водопроводом 98% от общей площади жилого

фонда, а в Суэтском — только 11% (по данным паспортов муниципальных образований). Так, в доме может быть централизованное водоснабжение, но уличный туалет. Или обратная ситуация: личная скважина, от которой проведён водопровод в дом, оборудованный унитазом и ванной.

Среднестатистическому человеку необходимо потреблять примерно 2,5 л/сут. на физиологические нужды [3], для приготовления пищи и личной гигиены (включая стирку и уборку помещений, проводимые по мере необходимости) — около 20–25 л [14; 15; 17]. По ВНТП-Н-97, минимальное водопотребление составляет 30 л (табл. 2). Для расчёта водопотребления принята минимальная среднесуточная величина потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды в размере 25 л/сут.

Личное подсобное хозяйство можно разделить на нужды по содержанию животных и полив приусадебного участка.

Преобладающими видами сельскохозяйственных животных в хозяйствах населения бессточной области являются крупный рогатый скот (КРС) (включая коров), свиньи, овцы, козы, лошади, а также птица. Основной вид использования воды в ЛПХ — это ежедневное поение². Для КРС и лошадей минимальное количество поения — 3 раза в день, расход воды на одно поение составляет 20 л или 60 л/сут. Для коз и овец — до 7 л/сут. Для свиней и птицы нередко выставляют ёмкость, постоянно наполненную водой. Также здесь стоит включить расходы воды на приготовление кормов. Для расчёта водопотребления приняты следующие значения: для свиней — 15 л/сут, для птицы 1 л/сут.

В структуре посевных площадей в хозяйствах населения лидирует картофель и овощебахчевые культуры. На приусадебных участках также выращивают плодово-ягодные культуры. Сезон растениеводства в основном начинается в мае и заканчивается в сентябре. Поливочный сезон длится 4 месяца (123 дня). Полив, как правило, осуществляется ручным методом. Расход воды на полив неравномерен в течение сезона и зависит от погодных условий. Наблюдается уменьшение объёма воды от начала сезона к концу. Для расчёта водопотребления приняты годовые нормы для полива на приусадебном участке в соответ-

¹ Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024); Пособие по проектированию автономных инженерных систем многоквартирных и блокированных жилых домов (водоснабжение, канализация, теплоснабжение и вентиляция, газоснабжение, электроснабжение). МДС 40-2.2000 / Госстрой России, Торговый Дом «Инженерное оборудование». М.: ФГУП ЦПП, 2004. 48 с.

² Там же.

Таблица 2 / Table 2

Минимальное удельное среднесуточное водопотребление, л/сут на человека в соответствии с ВНТП-Н-97 / Minimum specific average daily water consumption, liters per day per person in accordance with VNTP-N-97

	Неблагоустроенное жильё	Жилые дома, оборудованные водопроводом и канализацией
питьевые цели, приготовление пищи	6	6
мытьё посуды и овощей	7	10
личная гигиена, (умывание, мытьё ног)	8	15
стирка белья	6	10
уборка нежилых помещений	3	4
смыв унитаза	0	35
ванна, душ	0	30
всего	30	110

Источник: Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024)

ствии с ВНТП-Н-97: овощи — 4691 л/га, сады — 5131 л/га. Количество дней с поливом принято по максимальному значению — 123 дня.

Для учёта водопотребления административных зданий используется показатель численности сотрудников. Основная статья расходов воды — хозяйственно-бытовые нужды персонала в течение рабочего времени (247 дней в году). Так, на 1 сотрудника необходимо 10 л/сут¹. В расчёте учитываются все сотрудники, занятые в сфере услуг и административном аппарате, в т. ч. образовательных учреждениях, торговых, финансовых организациях и др. Расходы на производственные цели организаций рассчитываются отдельно.

Наиболее крупным водопотребителем общественно-деловой зоны населённого пункта являются образовательные организации. Основными статьями расхода воды выступают питьевые, бытовые нужды обучающихся и персонала, уборка помещений и приготовление пищи. Данные организации посещает практически ежедневно и находится там в течение дня около 30% человек от общей численности населения села. Спортивные объ-

екты чаще всего находятся в ведении школ. Оснащение и благоустройство помещений достаточно высокое: имеются раковины для мытья рук, туалеты, редко — душевые. В детских садах располагаются прачечные. Удельное среднесуточное водопотребление принято в соответствии с ВНТП-Н-97: в школах на 1 учащегося — 10 л., в детских садах с дневным пребыванием детей на 1 ребенка — 75 л. Количество рабочих дней в школах составляет примерно 200 дней в году, в детских садах — 247.

Водоснабжение медицинских учреждений зависит от профиля деятельности. Вода используется на хозяйственно-бытовые, питьевые нужды, обслуживание приборов и инвентаря, влажную уборку помещений, стирку белья. Для сельских территорий характерно наличие поликлиники и больницы только в районном центре. В больших сёлах может располагаться амбулатория. В остальных населённых пунктах чаще всего имеются фельдшерско-акушерские пункты (ФАП), либо вообще отсутствуют медицинские организации² [6]. Водопотребление объектов здраво-

¹ Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024).

² Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 2.3.6.3668-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям деятельности торговых объектов и рынков, реализующих пищевую продукцию» от 20 ноября 2020 г. № 36 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140192> (дата обра-

охранения рассчитывается для больниц по количеству койко-мест, а для поликлиник и амбулаторий — на 1 больного в смену. Нормы для ФАПов не установлены.

В настоящее время муниципальная статистика по медицинским организациям не приводит данные о мощности учреждений, что затрудняет наш расчёт. В связи с чем были приняты усреднённые показатели.

Для сёл с амбулаторией норматив рассчитывался на основе данных В. А. Кундиус [6] о количестве посещений в смену врачебных амбулаторно-поликлинических учреждений. Средняя мощность учреждений составляет 71 посещение в смену, на 1 больного в смену приходится 13 л.

Для ФАПов водопотребление рассчитывалось как для общественных зданий в зависимости от его площади и объёма воды, необходимого на уборку помещений. При этом влажная уборка помещений (обработка полов, мебели, оборудования, подоконников, дверей) должна осуществляться не менее 2 раз в сутки с использованием моющих и дезинфицирующих средств¹. Время работы пункта определяется в зависимости от количества обслуживаемого населения и наличия персонала и, как правило, только в рабочие дни (247 дней в году). Минимальная площадь ФАПа составляет 50 м² для сёл до 800 чел. и 72 м² — с численностью более 800 чел.² На мытье полов в общественных зданиях³ расходуется 2,4 л/м²,

щения: 14.04.2024); Большая медицинская энциклопедия. Т. 26 / гл. ред. Б. В. Петровский. М.: Сов. энциклопедия, 1985. 560 с.

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 2.1.3678-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг» от 24 декабря 2020 г. № 44 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275590> (дата обращения: 14.04.2024).

² Там же.

³ Постановление Правительства Москвы от 28 июля 1998 г. № 566 «О мерах по стимулированию энерго- и водосбережения в г. Москве» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8315513> (дата обращения: 14.04.2024); Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024).

для остальной уборки помещения применён такой же показатель. Таким образом, на одну среднестатистическую врачебную амбулаторию принято удельное среднесуточное водопотребление в размере 923 л/сут., на ФАПы — 240 л и 346 л, соответственно, площади.

Сфера услуг в сельском населённом пункте может быть представлена торговыми объектами, организациями бытового обслуживания и объектами общественного питания. Такие объекты, как правило, работают без выходных дней.

Торговые объекты представлены продуктовыми и хозяйственными магазинами, павильонами, редко супермаркетами. Основной расход воды идёт на уборку помещений, которая должна проводиться ежедневно. При этом работники торговых объектов должны иметь постоянный доступ к системам хозяйственно-питьевого водоснабжения⁴. Для расчёта принят показатель определенный ВНТП-Н-97 для продовольственных магазинов 210 л на 20 м² торгового зала. Для промтоварных магазинов взят показатель для уборки общественных зданий — 2,4 л/м².

Более 85% всех объектов бытового обслуживания приходится на районные центры и городские поселения. В сёлах представлены в основном парикмахерские. Работники и посетители должны иметь доступ к умывальнику и туалету. Влажная уборка помещений (протирка полов, мебели, оборудования, подоконников, дверей) должна осуществляться не менее 2 раз/день⁵. Расчёт водопотребления принят в соответствии с ВНТП-Н-97: на 1 рабочее место в смену 46 л.

Расчёт водопотребления предприятий общественного питания основан на количестве условных блюд, реализуемых в зале¹. Данный показатель в настоящее время недоступен, в связи с чем выбран показатель по числу мест. Предполагается, что 1 место соответствует 2 условным блюдам и требует 26 л/сут.

Таким образом, можно сформировать модель суточного водопотребления среднестатистического сельского населённого пункта (рис. 5).

⁴ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации «Об утверждении санитарно-эпидемиологических правил СП 2.3.6.3668-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям деятельности торговых объектов и рынков, реализующих пищевую продукцию» от 20 ноября 2020 г. № 36. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3MmJUW> (дата обращения: 14.04.2024).

⁵ Там же.



Рис. 5 / Fig. 5. Модель водопотребления среднестатистического сельского населённого пункта / Model of water consumption of an average rural settlement

Источник: составлено авторами по анализируемым по тексту нормативным документам и санитарным правилам РФ

¹ Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024).

РАСЧЁТ МИНИМАЛЬНОЙ ПОТРЕБНОСТИ В ВОДНЫХ РЕСУРСАХ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Для верификации рассчитано водопотребление с. Гонохово Завьяловского района Алтайского края по предложенной методике и сравнено с расчётами генерального плана и данными водохозяйственной статистики. Расчёт выполнен по показателям, представленным в генеральном плане поселения на 2013 г. (табл. 3).

Централизованным водопроводом в с. Гонохово оборудовано около 50% жилья¹. Посевные площади сельскохозяйственных культур рассчитаны примерно, в соответствии со средним размером обрабатываемого (вспаханного) участка. Норма отвода земельного участка под строительство индивидуального жилья в среднем равна 0,28 га. Средняя площадь участка под посадками принята в размере 0,1 га: исходя из нормы отвода и измерений участков по космоснимку. Количество домохозяйств с личным приусадебным участ-

Таблица 3 / Table 3

Водопотребление модельного сельского населённого пункта / Water consumption of a model rural settlement

Водопотребитель	Единица измерения/ кол-во дней в году	Норма воды, л/сут.	Количество в с. Гонохово, 2013 г.	Расчётное водопотребление в с. Гонохово, л/сут
<i>Домохозяйство</i>				
Население	1 чел./365	25	1787	44675
<i>Приусадебный участок</i>				
овощные культуры	л/ га/123	4740	64,35	305001
плодовые деревья	л/ га/123	5132	7,15	36690
<i>Личное подсобное хозяйство</i>				
Птица	1 голова/365	1	5600	5600
Овцы и козы	1 голова/365	7	175	1750
Лошади	1 голова/365	60	-	0
Свиньи	1 голова/365	20	1070	16050
КРС (в том числе коровы)	1 голова/365	60	1700	102000
<i>Общественно-деловая зона</i>				
Школа	1 учащийся/200	10	225	2250
Детский сад	1 воспитанник/ 247	75	80	6000
Амбулатория/ФАП	1 посещение в смену/1м²/247	13/4,8	30	390
Магазины (продовольственные/не продовольственные)	1 м²/365	10,5/2,4	550	3547,5
Столовая	1 место/365	26	70	1820
Парикмахерская	1 рабочее место/365	46	2	92
Административные здания	1 сотрудник/247	10	260	2600
Всего		1 323,5		595 359
Всего без полива				253 667

Источник: составлено авторами в соответствии с рис. 5 и данными генерального плана муниципального образования Гоноховского сельсовета Завьяловского района Алтайского края.

¹ Решение Завьяловского районного Собрания депутатов Алтайского края от 29.06.2016 №483 «Об утверждении генерального плана муниципального образования Гоноховский сельсовет Завьяловского района Алтайского края» [Электронный ресурс]. URL: <https://zavyalovoaltai.ru/gradostroitelstvo-i-zemlepolzovanie/gonohovo/generalnyi-plan> (дата обращения: 14.04.2024).

ком — 715. Основную территорию занимают овощные культуры, в частности картофель (принято 0,09 га на 1 участке). На них, как правило, отводится основная часть огорода. Под плодово-ягодные насаждения отведено в среднем 0,01 га на одном участке. В личном подсобном хозяйстве содержались КРС, овцы, коз, свиньи, птицы.

На территории села функционировали детский сад, среднеобразовательная школа, врачебная амбулатория, магазины продовольственных и непродовольственных товаров, ведомственная столовая сельскохозяйственного предприятия, парикмахерская. Всего в экономике села было задействовано 896 чел., из которых 260 заняты в организациях общественно-деловой зоны¹.

Согласно данным 2ТП-водхоз², забор из подземных водоисточников составлял 87,60 тыс.м³ в год. Отчётность представил 1 респондент — СПК Колхоз «Путь к коммунизму» по виду экономической деятельности «Сельское хозяйство, охота и предоставление услуг в этих областях». Данная организация осуществляет водоснабжение села. Из общего забора 47% (41 тыс.м³/г) было использовано на питьевые и хоз-быт нужды. Суточное водопотребление населения, обеспеченного централизованным водоснабжением, составило 112 329 л/сут.

В генеральном плане расчётный суточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды составил 543 900 л/сут. Он учитывает увеличение населения до 2100 чел., полное

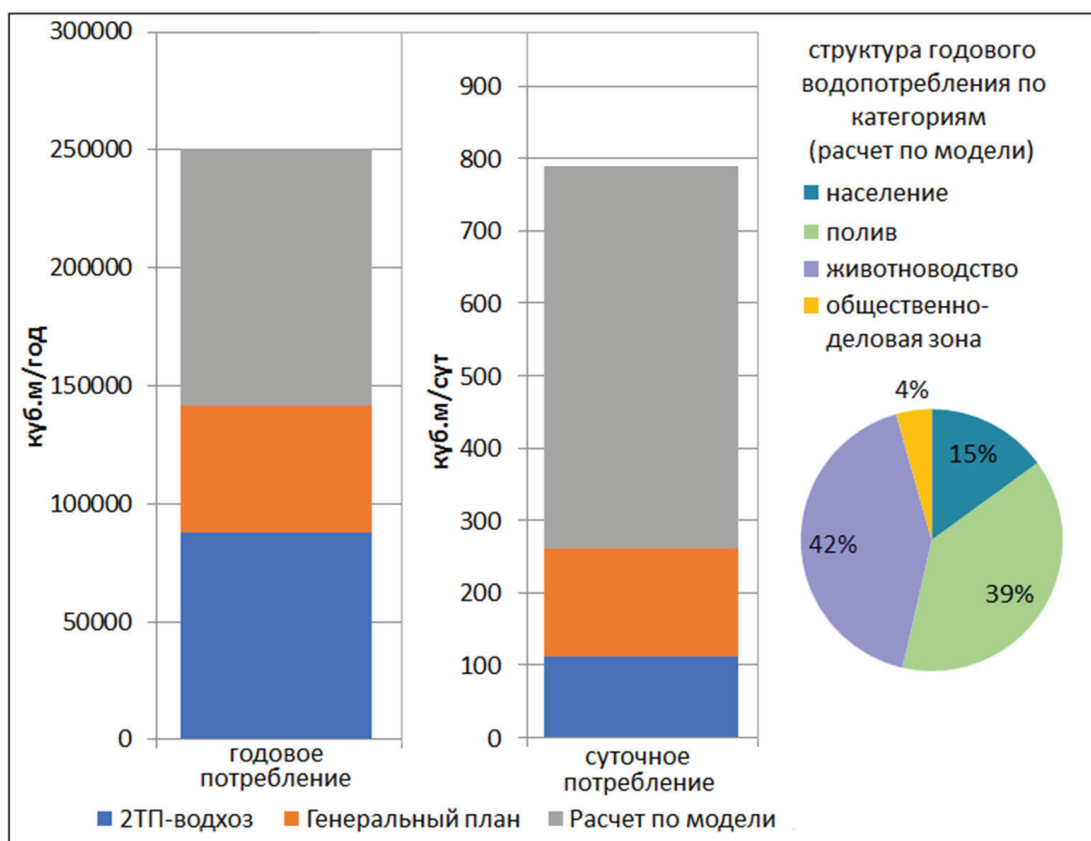


Рис. 6 / Fig. 6. Годовое и суточное водопотребление с. Гонохово / Annual and daily water consumption of s. Gonokhovo

Источник: составлено авторами по таблице 3

¹ Решение Завьяловского районного Собрания депутатов Алтайского края от 29.06.2016 №483 «Об утверждении генерального плана муниципального образования Гоноховский сельсовет Завьяловского района Алтайского края» [Электронный ресурс]. URL: <https://zavyalovoaltai.ru/gradostroitelstvo-i-zemlepolzovanie/gonohovo/generalnyi-plan> (дата обращения: 14.04.2024).

² Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Федерального агентства водных ресурсов Минприроды России. [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

благоустройство жилого фонда с удельной нормой водопотребления 190 л/сут, полив приусадебных участков и неучтённые расходы (в размере 10% от водопотребления населения). При пересчёте на наличное население с нормой суточного водопотребления в 30 л расход составил 148 321 л/сут.

Согласно предложенной модели, суточный расход воды в с. Гонохово составит 253 667 л/сут., а с учётом полива он может возрасти до 595 359 л/сут. (табл. 3). Годовое водопотребление составило 108,9 тыс.м³ в год, что на 21,3 тыс. м³ больше официальной статистики

(рис. 6). Структура водопотребления с учётом количества дней использования воды представлена на рисунке 4.

На основе представленных расчётов среднестатистического сельского населённого пункта бессточной области Обь-Иртышского междуречья представлены результаты и сравнение с официальными статистическими данными по водопользованию в разрезе сельских муниципальных образований (табл. 4). Кроме этого, выполнено сравнение потребляемых ресурсов воды с балансовыми запасами подземных вод.

Таблица 4 / Table 4

Годовое водопотребление сельского населения муниципальных образований бессточной области Обь-Иртышского междуречья, тыс. м³/год / Annual water consumption of the rural population of municipalities of the drainless region of the Ob-Irtysh interfluvium, thousand m³/year

Муниципальные образования	водопотребление по категориям				всего по модели	по данным 2ТП-водхоз	балансовые запасы подземных вод
	население	полив	животноводство	общественно-деловая зона			
Баганский	133,8	189,3	87,4	125,6	536,1	472,9	876
Доволенский	141,5	224	188,8	137,3	691,5	384	0
Здвинский	123,6	185,7	148,9	107,4	565,6	442,5	0
Кочковский	121,3	173,7	241	113,7	649,6	199,4	0
Краснозерский	262,5	357,5	264,8	266,8	1151,5	456,5	135,1
Убинский	125,8	175,4	159,3	103,5	564,1	399,7	1095
Чановский	205,1	197	187,5	213,2	802,8	606,1	235,8
Чистоозерный	151,6	169,8	133,8	144,4	599,7	231,5	803
Баевский	78	148,6	96,3	59,9	382,7	38,2	109,5
Благовещенский	90,4	362,9	160,1	326	939,3	552,5	22419
Бурлинский	87,8	122,5	72,3	53,7	336,3	24,6	1277,5
Волчихинский	152,4	161,6	194,6	160,7	669,3	3	5891,1
Егорьевский	112	173,9	135,1	92,3	513,3	0	767,9
Завьяловский	155,1	215,8	263,9	150,3	785,2	57,2	155,8
Ключевский	142,9	152,2	96,3	152	543,1	172,6	12546,1
Кулундинский	197,8	153,9	130,4	228,4	710,4	452,3	2561,2
Михайловский	146,1	152,1	174,2	134,1	606,5	114,5	19449,3
Немецкий Национальный	142,8	237	110,6	116,2	606,6	290,6	42072,8
Панкрушихинский	102,7	231,1	192,4	87,3	613,5	0,1	2933,1
Родинский	159,5	235	156,5	127,4	678,4	429,2	17895,9
Романовский	104,6	183,7	148,3	81	517,5	412,8	2154,2
Суетский	37,4	95,5	54,8	27,3	215,1	21,6	0
Табунский	81,5	81,9	105,6	61	329,9	199,6	1194,6
Тюменцевский	119,7	191,1	185,4	100,7	596,7	22,2	1259,6
Угловский	104,3	116	128,1	79	427,2	87,9	11704,4
Хабарский	126,2	212,9	126,9	182,7	648,6	136,8	189,8
Всего по бессточной обл.	3406,2	4900,1	3943,2	3436,1	15680,6	6208	147727

Источник: составлено авторами

В структуре годового водопотребления анализируемых регионов лидирует полив приусадебного участка. В сутки средняя доля расходов на полив составляет 56%. Без учёта полива доли использования воды на население, животноводство и обслуживание общественно-деловой зоны практически равнозначны.

Так как статистическую отчётность сдают только крупные потребители, то в ряде муниципальных образований показатели по 2ТП-водхоз либо отсутствуют, либо имеют низкие значения. Примерами служат Волчихинский, Егорьевский, Панкрушихинский районы Алтайского края (табл. 4). В таблице отмечены районы (серым цветом), где потребности населения, по минимальным нормам водопотребления, значительно выше данных статистики. В среднем по муниципальным образованиям размер водопотребления по предложенной модели на 60% выше данных по отчётности.

Высоки объёмы годового водопотребления в Краснозерском, Благовещенском, Чановском, Завьяловском районах. В 17 из 26 районов в годовом потреблении лидируют нужды на полив. Общественно-деловая зона выделяется в районах: Чановский, Благовещенский, Ключевский, Кулундинский. Больше всего воды на содержание домашнего скота и птицы тратится в Кочковском, Волчихинском, Завьяловском, Михайловском, Табунском, Угловском районах.

В соответствии с расчётами по модели водопотребления 9 сельских районов (Доволенский, Здвинский, Кочковский, Краснозерский, Чановский, Баевский, Завьяловский, Суетский, Хабарский) не имеют достаточного количества балансовых запасов подземных вод для удовлетворения нужд населения. Высокая обеспеченность питьевой водой наблюдается в Угловском, Родинском, Немецком Национальном, Михайловском, Благовещенском районах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятой поэтапной методики для расчёта водопотребления населённого пункта в настоящее время не существует. Все расчёты основываются на СП 31.13330.2021¹, а для сельских

территорий ещё ВНТП-Н-97². Статистическая же информация для расчёта текущего водопотребления даже по приведённым нормам недоступна в разрезе населённых пунктов и сельских поселений. Единственной информацией о водопотреблении по муниципальным образованиям является отчётность по форме 2ТП-водхоз, которую представляют в основном крупные водопотребители и коммунальные организации. По факту она показывает использование воды производственными и сельскохозяйственными организациями, а также объёмы централизованного водоснабжения, которое присутствует далеко не во всех сёлах. В ряде районов статистическая отчётность не отражает водопотребление населения даже по минимальным удельным нормам.

В сельских населённых пунктах основным водопотребителем является население, проживающее в домах усадебной застройки и имеющее личное подсобное хозяйство. Самым водоёмким видом деятельности выступает полив приусадебного участка, но он зависит от погодных условий территории и может значительно варьироваться от года к году. Количество скота и птицы в хозяйствах населения ежегодно снижается, и, соответственно, сокращается и водопотребление данного вида деятельности. Предложенная методика не учитывает потери при транспортировке воды и таких водопотребителей, как производственные и сельскохозяйственные предприятия, а также спортивные объекты, транспорт и обслуживание техники.

В целом, бессточная область Обь-Иртышского междуречья надёжно обеспечена запасами подземных вод. Годовые значения водопотребления, рассчитанные по предложенной в статье методике, составляют лишь 11% от общих балансовых запасов. Но проблема усугубляется тем, что данные ресурсы распространены неравномерно по территории исследования и ряд муниципальных образований не имеет источников водоснабжения требуемого качества.

27 декабря 2021 г. № 1016/пр. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/728474306> (дата обращения: 14.04.2024).

¹ СП 31.13330.2021 "СНиП 2.04.02-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от

² Нормы расходов воды потребителей систем сельскохозяйственного водоснабжения ВНТП-Н-97. Утверждены Минсельхозпродом РФ от 14 февраля 1995 г. Протокол НТС №1 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030871> (дата обращения: 14.04.2024).

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюкова В. Р. Промышленное водопотребление как индикатор устойчивого развития: страны, регионы, города // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 8. С. 42–49. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-08-42-49
2. Губарев М. С. Геоинформационно-картографическое моделирование распространения водоносных комплексов для целей водоснабжения // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2016. № 2. С. 48–55.
3. Данилов-Данильян В. И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. М.: Типография ЛЕВКО, 2009. 88 с.
4. Демин А. П. Региональные различия в обеспечении населения России централизованным водоснабжением и безопасной питьевой водой // *Региональные исследования*. 2019. № 2. С. 80–91. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-2-8
5. Демин А. П. Современные изменения водопотребления в бассейне Каспийского моря // *Водные ресурсы*. 2007. Т. 34. № 3. С. 259–275.
6. Кундиус В. А., Апальчук Н. Л. Оптимизация коечного фонда сельских медицинских организаций Алтайского края // *Grand Altai Research & Education*. 2019. № 2. С. 59–73. DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2019.02.007
7. Орлова Е. С., Заносова В. И., Рыбкина И. Д. Уровни залегания, условия питания и гидрохимия водоносных горизонтов бессточной области Обь-Иртышского междуречья (на примере степной части Алтайского края) // *Географический вестник*. 2024. № 1. С. 71–86. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86
8. Проблемы расчёта водообеспеченности и водопотребления муниципальных образований Республики Алтай / А. В. Каранин, О. В. Журавлева, М. Г. Сухова, А. И. Минаев // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 2. С. 47–55. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/47-55
9. Современные водохозяйственные и экологические проблемы бассейна Оби и прогноз состояния до 2030 года / А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных, Н. И. Ермолаева, А. Т. Зиновьев, Е. Д. Кошелева, Б. А. Краснаярова, О. В. Ловцкая и др. // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2022. № 6. С. 45–58. DOI: 10.35567/19994508_2022_6_3
10. Оценка экологического состояния водных объектов бессточной области Обь-Иртышского междуречья / И. Д. Рыбкина, Л. В. Яныгина, М. С. Губарев, О. С. Бурмистрова, А. В. Котовщиков // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. № 1. С. 102–116. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-102-116
11. Соколов Л. И., Соколов К. Л. Потребность населения в воде: принципы нормоформирования // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2024. № 3. С. 38–52. DOI: 10.35567/19994508-2024-3-38-52
12. Фоменко Г. А., Фоменко М. А., Лошадкин К. А. Многолетняя динамика сельского бытового водопотребления домашних хозяйств (на примере Семловского сельского округа, Ярославская область) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2023. Т. 87. № 1. С. 131–146. DOI: 10.31857/S2587556623010065
13. Шнейдерман И. М., Пилипенко И. В. Модернизация системы водоснабжения и водоотведения в сельской местности как фактор повышения качества жизни населения России // *Народонаселение*. 2023. Т. 26. № 1. С. 147–159. DOI: 10.19181/population.2023.26.1.12
14. Gleick P. H. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs // *Water International*. 1996. № 21. P. 83–92. DOI: 10.1080/02508069608686494
15. Healthy villages: A guide for communities and community health workers / G. Howard, C. Bog, G. Goldstein, eds. Geneva: WHO, 2002. 127 p.
16. Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, I. R. Iran / A. R. Keshavarzi, M. Sharifzadeh, A. A. K. Haghighi, S. Amin, S. Keshtkar, A. Bamdad // *Water Research*. 2006. № 40. P. 1173–1178.
17. Water supply challenges in rural areas: A case study from central Kazakhstan / A. Omarova, M. Kalishev, R. Dosmagambetova, K. Tussupova, P. Hjorth // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16. № 5. P. 688. DOI: 10.3390/ijerph16050688

REFERENCES

1. Bityukova V. R. [Industrial water consumption as an indicator of sustainable development: countries, regions, cities]. In: *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, vol. 23, no. 8, pp. 42–49. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-08-42-49
2. Gubarev M. S. [Geoinformation and cartographic modeling of the distribution of aquifers for water supply purposes]. In: *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai branch of the Russian Geographical Society], 2016, no. 2, pp. 48–55.
3. Danilov-Danilyan V. I. *Vodnyye resursy mira i obzory vodokhozyaystvennogo kompleksa Rossii* [Water resources of the world and prospects of the water management complex of Russia]. Moscow: Tipografiya LEVKO Publ., 2009. 88 p.
4. Demin A. P. [Regional differences in providing the population of Russia with centralized water supply and safe drinking water]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional studies], 2019, no. 2, pp. 80–91. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-2-8.

5. Demin A. P. [Modern changes in water consumption in the Caspian Sea basin]. In: *Vodnyye resursy* [Water resources], 2007, vol. 34, no. 3, pp. 259–275.
6. Kundius V. A., Apalchuk N. L. [Optimization of the bed capacity of rural medical organizations of the Altai Territory]. In: *Grand Altai Research & Education*, 2019, no. 2, pp. 59–73. DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2019.02.007
7. Orlova E. S., Zanosova V. I., Rybkina I. D. [Occurrence levels, recharge conditions and hydrochemistry of aquifers in the endorheic region of the Ob-Irtysh interfluvium (using the steppe part of the Altai Territory as an example)]. In: *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2024, no. 1, pp. 71–86. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-1-71-86
8. Karanin A. V., Zhuravleva O. V., Sukhova M. G., Minaev A. I. [Problems of calculating water supply and water consumption of municipalities of the Altai Republic]. In: *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology], 2023, no. 2, pp. 47–55. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/47-55
9. Puzanov A. V., Bezmaternykh D. M., Ermolaeva N. I., Zinoviev A. T., Kosheleva E. D., Krasnoyarova B. A., Lovtskaya O. V., et al. [Current water management and environmental problems of the Ob basin and forecast of the state until 2030]. In: *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* [Water management of Russia: problems, technologies, management], 2022, no. 6, pp. 45–58. DOI: 10.35567/19994508_2022_6_3
10. Rybkina I. D., Yanygina L. V., Gubarev M. S., Burmistrova O. S., Kotovshchikov A. V. [Assessment of the ecological state of water bodies of the endorheic region of the Ob-Irtysh interfluvium]. In: *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development], 2023, vol. 18, no. 1, pp. 102–116. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-102-116
11. Sokolov L. I., Sokolov K. L. [Population need for water: principles of standard formation]. In: *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* [Water management of Russia: problems, technologies, management], 2024, no. 3, pp. 38–52. DOI: 10.35567/19994508-2024-3-38-52
12. Fomenko G. A., Fomenko M. A., Loshadkin K. A. [Long-term dynamics of rural domestic water consumption of households (on the example of Semlovsky rural district, Yaroslavl region)]. In: *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2023, vol. 87, no. 1, pp. 131–146. DOI: 10.31857/S2587556623010065
13. Shneiderman I. M., Pilipenko I. V. [Modernization of water supply and sanitation systems in rural areas as a factor in improving the quality of life of the population of Russia]. In: *Narodonaseleniye* [Population], 2023, vol. 26, no. 1, pp. 147–159. DOI: 10.19181/population.2023.26.1.12
14. Gleick P. H. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. In: *Water International*, 1996, no. 21, pp. 83–92. DOI: 10.1080/02508069608686494.
15. Howard G., Bog C., Goldstein G., eds. *Healthy villages: A guide for communities and community health workers*. Geneva, WHO, 2002. 127 p.
16. Keshavarzi A. R., Sharifzadeh M., Haghighi A. A. K., Amin S., Keshtkar S., Bamdad A. Rural domestic water consumption behavior: A case study in Ramjerd area, Fars province, I. R. Iran. In: *Water Research*, 2006, no. 40, pp. 1173–1178.
17. Omarova A., Kalishev M., Dosmagambetova R., Tussupova K., Hjorth P. Water supply challenges in rural areas: A case study from central Kazakhstan. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, vol. 16, no. 5, p. 688. DOI: 10.3390/ijerph16050688

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Орлова Елена Сергеевна — младший научный сотрудник лаборатории водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: el.orlova11@yandex.ru

Рыбкина Ирина Дмитриевна — доктор географических наук, заведующий лабораторией водных ресурсов и водопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: irina.rybkina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena S. Orlova — Junior Researcher, Laboratory of Water Resources and Water Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: el.orlova11@yandex.ru

Irina D. Rybkina — Dr. Sci. (Geography), Head of Laboratory, Department Laboratory, Laboratory of Water Resources and Water Use, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: irina.rybkina@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Орлова Е. С., Рыбкина И. Д. Оценка фактического водопотребления населения сельских поселений Обь-Иртышского междуречья // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 67–86.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

FOR CITATION

Orlova E. S., Rybkina I. D. Assessment of the actual water consumption of the population of rural settlements of the Ob-Irtysh interfluvium. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 67–86.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-67-86

Научная статья
УДК 502.313

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И УГРОЗЫ ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© СС ВУ Барина Г. М.¹, Гаева Д. В.², Романчук А. Ю.³

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, д. 14, Российская Федерация
e-mail: ecogeography@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-1639-2104

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
123022, г. Москва, Б. Трехсвятительский пер., д. 3, Российская Федерация
e-mail: dvgaeva@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2515-161X

³ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, д. 14, Российская Федерация
e-mail: annaroman@mail.ru; ORCID: 0000-0001-9595-7115

Поступила в редакцию 25.02.2024

После доработки 15.09.2024

Принята к публикации 18.11.2024

Аннотация

Цель. На общем фоне глобального потепления климата изучить региональные особенности этого процесса как фактора риска здоровью населения Калининградской области.

Процедура и методы. Исследование базируется на данных о среднемесячной и годовой температуре воздуха и количества осадков метеорологических станций Калининградской области за различные периоды 1949–2022 гг. Выполнена статистическая обработка временных рядов с выявлением трендов и аномалий на основе стандартных программ.

Результаты. Отмечены положительные эффекты изменения климата, в частности, увеличение длительности периода с температурой воздуха выше 10°C до 160–180 дней в году. Средняя скорость потепления в последние десятилетия в самом западном регионе России достигает 0,49°C/10 лет, в отдельные месяцы (февраль, март) превышает 0,6°C/10 лет. Охарактеризована тенденция увеличения числа дней с аномально высокой температурой воздуха, превышающей 29,5°C за последние 30 лет в 3 раза. Нарастающая экстремальность изменения климата, волны жары отнесены к ведущим факторам риска здоровью. Приведены примеры тепловых волн, влияющих на заболеваемость сердечно-сосудистой системы и смертность населения, распространение природно-очаговых инфекций, в частности, болезнь Лайм-боррелиоза. Установлено, что в Калининградской области вспышки заболеваемости, вызванные иксодовыми клещами, происходили в годы с экстремально высокой температурой воздуха в зимне-весенние периоды.

Теоретическая и/или практическая значимость. Сделаны выводы о необходимости расширения исследований в области влияния погодно-климатических факторов на здоровье человека в целях улучшения качества жизни населения Калининградской области.

Ключевые слова: клещевые инфекции, механизмы адаптация, риски здоровью населения, тренды изменения климата

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-87-96

CLIMATE CHANGE AND THREATS TO PUBLIC HEALTH IN THE KALININGRAD REGION

© CC BY G. Barinova¹, D. Gaeva², A. Romanchuk³

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University

ul. A. Nevskogo 14, Kaliningrad 236041, Russian Federation

e-mail: ecogeography@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-1639-2104

² National Research University Higher School of Economics

B. Trekhsvyatitskiy per. 3, Moscow 123022, Russian Federation

e-mail: dvgaeva@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2515-161X

³ Immanuel Kant Baltic Federal University

ul. A. Nevskogo 14, Kaliningrad 236041, Russian Federation

e-mail: annaroman@mail.ru; ORCID: 0000-0001-9595-7515

Received 25.02.2024

Revised 15.09.2024

Accepted 18.11.2024

Abstract

Aim. Against the general background of global climate warming, to study the regional features of this process as a risk factor for the health of the population of the Kaliningrad region.

Methodology. The study is based on data on average monthly and annual air temperature and precipitation at meteorological stations in the Kaliningrad region for various periods from 1949 to 2022. Statistical processing of time series was performed, identifying trends and anomalies based on standard programs.

Results. Positive effects of climate change are noted, in particular, an increase in the duration of the period with air temperature above 10° to 160–180 days per year. The average warming rate in recent decades in the westernmost region of Russia reaches 0.49°C/10 years, in some months (February, March) exceeds 0.6°C/10 years. A trend of an increase in the number of days with abnormally high air temperature, exceeding 29.5° over the past 30 years by three times is characterized. The increasing extremity of climate change and heat waves are considered to be the leading health risk factors. Examples of heat waves influencing cardiovascular disease and mortality, the spread of natural focal infections, in particular, Lyme disease, are given. It was established that in the Kaliningrad Region outbreaks of diseases caused by ixodid ticks occurred in years with extremely high air temperatures in the winter-spring periods.

Research implications. Conclusions were made about the need to expand research in the field of weather and climate factors on human health in order to improve the quality of life of the population of the Kaliningrad region.

Keywords: tick-borne infections, adaptation mechanisms, public health risks, climate change trends

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-87-96

ВВЕДЕНИЕ

Резкие изменения климатических условий всё больше влияют не только на ритмику природных процессов и функционирование социально-экономических систем, но и на общественное здоровье во многих регионах России.

Многолетняя тенденция глобального потепления климата заметно усилилась в первой четверти XXI в. Средние темпы измене-

ния температуры приземного слоя воздуха в 1976–2020 гг. составили 0,18°C/10 лет [4]. В целом, на территории РФ потепление ещё более значимо — линейный тренд 1976–2020 гг. составил 0,51°C/10 лет. На фоне значительной межгодовой изменчивости температуры воздуха в Евразии выявлены макрорегиональные различия, связанные с увеличением количества осадков, опасных гидрометеорологических явлений, штормов, волн тепла, холода и др. Риски аномальных изменений климата

становятся всё более опасными и сложными для контроля, особенно в отношении влияния на здоровье населения.

Оценкам погодно-климатических рисков на здоровье посвящено большое количество отечественных и зарубежных работ, в которых обсуждаются заболеваемость, смертность различных групп населения в разных регионах [8; 11; 15; 16]. Особое внимание при этом уделяется волнам жары или холода. В пространственной структуре самых сильных тепловых волн в Западной Европе с 1950 г. крупные тепловые волны преобладали в 2003 г., а в Восточная Европа — в 2010 г., в Скандинавии — в 2018 г., в Средиземноморье — в 2021 г. В последние два десятилетия (2002–2021) сильные тепловые волны испытали жители европейских стран на 83% территории, что свидетельствует о быстро меняющемся климате [18]. В то же время в Северной Европе прибрежные районы испытывали серьёзное воздействие тепловых волн [13]. Важными факторами их формирования в России (2010 г.) названы блокирующий антициклон и сильный дефицит влаги в почве, в то время как Атлантический океан не способствовал усилению экстремальности погодных аномалий [17].

С 5 самыми сильными тепловыми волнами 2003, 2006, 2013, 2015, 2020 гг. в странах Европы коррелирует в общей сложности 135 089 смертей [19]. Среди наиболее уязвимых групп к изменениям климата, особенно к тепловому воздействию, преобладают пожилые люди, дети и работающие в помещениях, не оборудованных кондиционерами. У многих граждан из групп риска отсутствуют необходимые знания для оказания в случае необходимости быстрой и эффективной помощи [14]. Опрос медицинских работников ($n=4\,654$), в ходе которого изучалось их отношение к изменениям климата как проблеме здоровья человека, показал, что 66% респондентов считают изменения климата умеренным или значительным фактором вреда лично им, 77% — их пациентам, 81% — жителям муниципалитетов, 57% — населению их страны и 93% — будущим поколениям [22].

Калининградская область — эксклавный прибрежный регион юго-восточной части России. Своеобразие природно-климатических условий, отражающих влияние акватории Балтийского моря и западного переноса воздушных масс, выделяют климат области

из общего ряда регионов РФ, требуя особого внимания при разработке стратегий регионального развития. Цель работы — оценить положительные эффекты и риски, связанные с изменением климата Калининградской области, и их влиянием на здоровье населения.

Для оценки изменчивости температуры воздуха и осадков, повторяемости волн тепла за различные периоды 1949–2022 гг. использованы ежемесячные данные метеорологической сети из архива ВНИИГМИ-МЦД¹, Научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — мирового центра данных (для метеостанций в Калининграде, Балтийске, пос. Железнодорожном, Советске). Анализ данных включал сопоставление средних месячных, максимальных (выше 29,5°C) температур воздуха, среднемесячного количества осадков за различные периоды. Для их расчётов применяли программы Microsoft Excel 2010. При анализе заболеваемости населения использованы доклады Роспотребнадзора по Калининградской области².

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Динамику изменения регионального климата в Калининградской области оценивали на основе трендов изменения приземной среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков (табл. 1).

Темпы повышения температуры воздуха за период 1980–2017 гг. ускорились во все месяцы года, достигнув наибольших значений в феврале, марте и ноябре — 0,62–0,68°C/10 лет. В январе и октябре повышение температуры воздуха замедлилось по сравнению с периодом 1949–2015 гг.

Тренды изменения месячных сумм осадков выявляют увеличение их количества на интервале 1980–2017 гг., особенно в феврале–апреле и июле. В декабре–январе, а также в мае–июне наблюдается тенденция к снижению количества осадков, что указывает на

¹ Научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — мирового центра данных: [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 15.12.2024).

² Роспотребнадзор по Калининградской области: [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3MmPyг> (дата обращения: 13.11.2024).

Таблица 1 / Table 1

Скорость изменения многолетней среднемесячной температуры воздуха и месячных сумм осадков за периоды 1949–2015 гг. и 1980–2017 гг. в г. Калининграде / The rate of change of long-term average monthly air temperature and monthly precipitation amounts for the periods 1949–2015 and 1980–2017 in Kaliningrad

Период, годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха (Т°С/10 лет)												
1980–2017	0,07	0,65	0,62	0,56	0,32	0,38	0,54	0,45	0,39	-0,16	0,68	0,50
1949–2015	0,36	0,43	0,52	0,37	0,29	0,06	0,30	0,28	0,10	0,04	0,10	0,14
Суммы осадков (мм/10 лет)												
1980–2017	-1,12	7,49	4,21	3,67	-0,20	-7,46	15,68	2,79	-3,94	1,00	1,66	-4,07
1949–2015	3,97	1,82	3,67	-1,34	1,42	3,09	3,32	2,25	-2,44	-1,31	1,97	2,52

Источник: составлено авторами

межгодовую и сезонную неустойчивость режима увлажнения в регионе.

Анализ средних темпов потепления климата и изменчивости осадков в периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг. ярко высветил пространственные различия на территории Калининградской области (табл. 2).

Как следует из таблицы, наиболее значительны средние темпы потепления климата на западном побережье (Балтийск) и севере области (Советск): коэффициент тренда в период 1991–2020 гг. составляет 0,45–0,49°С/10 лет, в Калининграде он значительно меньше (0,18°С/10 лет). Пространственная изменчивость годовых сумм осадков ещё более значительна: при общей тенденции роста на юго-западном побережье области происходит снижение годовой суммы осадков со скоростью (-73 мм/10 лет).

Скорость изменения температуры воздуха и осадков на станциях Калининградской области увеличивает риски формирования экстремальных погодных условий. Так, в Калининграде в 1961–1990 гг. средняя годовая температура воздуха только дважды превы-

сила 9°С, достигнув 9,3°С в 1990 г. В 1991–2020 гг. максимально высокая среднегодовая температура воздуха, превышающая 9°С, отмечалась в 2000, 2007, 2008, 2014, 2015, 2019 г. В г. Балтийске в 2019, 2020 г. она превысила 10°С, составив в 2020 гг. 10,5°С. Наиболее холодными в этот период для региона в целом оказались 1996 и 2010 г. со среднегодовой температурой воздуха — не выше 6–7°С.

Межгодовая изменчивость осадков ещё более значительна. В период 1991–2020 гг. в Калининграде трижды — в 2007, 2012, 2017 гг. — их годовая сумма превышала 1000 мм, диапазон колебаний варьировал от 592,2 мм (1996) до 1 239 мм (2007), в Советске — от 557,3 мм (1996) до 1069,5 мм (2007).

ФАКТОРЫ РИСКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Изменения климата — существенный фактор, влияющий на многие стороны хозяйственной деятельности и устойчивость соци-

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты тренда изменения средней годовой температуры воздуха и годовых сумм осадков в Калининградской области за 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. / Trend coefficients of change in average annual air temperature and annual precipitation in the Kaliningrad region for 1961–1990 and 1991–2020

Периоды, годы	Температура воздуха (°С/10 лет)			Количество осадков (мм/10 лет)		
	Калининград	Балтийск	Советск	Калининград	Балтийск	Советск
1961–1990	0,30	0,24	0,17	-8	+16	-
1991–2020	0,18	0,45	0,49	+11	-73	+4

Источник: составлено авторами

ально-экономической ситуации в регионе. Среди факторов риска для здоровья населения выделим следующие:

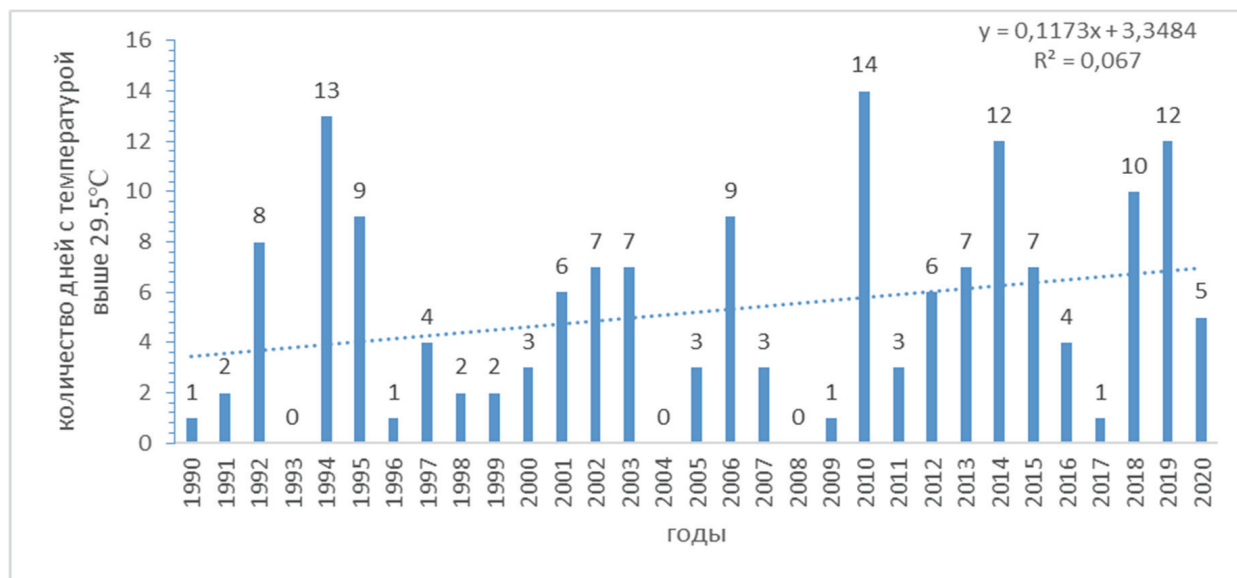
- увеличение повторяемости и интенсивности экстремальных погодных явлений: волн жары, островов тепла в городах, способствующих увеличению заболеваемости и смертности, особенно лиц старшего возраста;
- изменения ареалов природно-очаговых болезней, вызванные трансформацией экосистем, условиями распространения опасных насекомых, патогенных микробов и вирусов;
- увеличение повторяемости штормов, сильных ветров, приводящих к разрушению берегозащитных сооружений в прибрежной рекреационно-курортной зоне.

Вопросам анализа возникновения и динамики тепловых волн, их влияния на рост смертности и заболеваемости населения в последние годы уделяется большое внимание [3; 7]. В странах Европы за последние два десятилетия (2002–2021 гг.) наиболее крупные тепловые волны отмечены в 2004, 2014, 2015, 2018, 2019 г. Беспрецедентным по количеству жарких дней (63) и самому раннему началу крупной тепловой волны (19 июня) оказалось лето 2021 г. [18].

В сопредельных с Калининградской областью регионах Польши в период 1966–2015 гг. тепловые волны возникали с конца апреля до

начала сентября, чаще всего они регистрировались в июле. На большинстве станций тепловые волны с наибольшими максимальными температурами воздуха были определены в 1990-х гг. – в 1992 и 1994 г. Самая тёплая волна наблюдалась 8–10 августа 1992 г. со средней максимальной температурой в Зелёной Гуре [21]. В северо-западной Европе одним из самых жарких и сухих было лето 2018 г. В то же время в южных регионах наблюдались более прохладные и влажные условия [13]. Согласно региональным климатическим прогнозам в ближайшие два десятилетия (2021–2040 гг.) в странах Европы возрастает вероятность появления тепловых волн, сравнимых с российской 2010 г. и превышающих её по величине, масштабам и продолжительности [20].

В начале XXI в. в Калининградской области тепловые волны с наибольшими максимальными температурами воздуха возникали в период с конца апреля до начала сентября в 2001, 2006, 2010, 2014, 2018, 2019 гг. За последние 30 лет (1991–2020 гг.) по сравнению с серединой XX в. в 3 раза увеличилось число дней с температурой воздуха выше 29,5°C (рис. 1), что представляет явную угрозу не только для здоровья человека, но и для вегетации культурных и дикорастущих растений, в т. ч. медоносных.



период, годы	1951–1980	1961–1990	1971–2000	1981–2010	1991–2020
число дней	53	56	66	95	166

Рис. 1 / Fig. 1. Динамика изменений температуры воздуха в Калининграде в 1991–2020 гг. и число дней с аномальной температурой воздуха выше 29,5° в 1951–2020 гг. / Dynamics of air temperature changes in Kaliningrad in 1991–2020 and the number of days with abnormal air temperature above 29.5° in 1951–2020

Источник: составлено авторами

При исследовании влияния тепловых волн на состояние здоровья населения большинство авторов анализирует влияние периодов жары на рост заболеваемости сердечно-сосудистой системы и смертность населения [2; 19]. Смертность от жары по фактическому сценарию составила в среднем 1,56% от всех смертей в тёплый сезон года. Среди уязвимых на изменение климата групп населения в Финляндии доминировали пожилые люди [14].

Интегральная оценка дополнительного ущерба численности населения, обусловленного температурными волнами 1999–2008 гг. выявила прирост смертности от инсультов в возрастной группе 65 лет и старше в Архангельске [2]. В Сибири влияние волн тепла и холода сказалось на здоровье населения Красноярска. Статистически значимо установлено, что наиболее чувствительно к влиянию температурных волн население в возрасте от 30 до 64 лет, при этом показатели относительного риска смертности от болезней органов кровообращения выше, чем от других причин [10].

РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Проблемы, связанные с состоянием здоровья населения и его профилактикой во многих регионах России, весьма актуальны и безотлагательны. По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики¹, за последние 5 лет (2016–2020 гг.) естественная убыль населения Калининградской области выросла в 4 раза, составив в 2020 г. — 4,1 на 1000 чел. (в РФ — 4,8 на 1000 населения). Первичная заболеваемость совокупного населения по болезням, характеризующимся повышенным кровяным давлением, варьирует в пределах от 110,2 на 100 тыс. человек в 2019 г. до 681,9 на 100 тыс. человек в 2020 г. Население самого западного региона России стареет, что увеличивает риск распространения тепловых, стрессовых, психо-эмоциональных ситуаций в периоды значительных колебаний погодных условий.

В связи с тепловыми волнами, мягкими зимами, продолжительными сезонами весны и осени в сочетании с увеличением сроков начала и конца вегетации растений всё более заметны межгодовые колебания распространённости природноочаговых болезней, в первую очередь, клещевых инфекций — болезни Лайма, энцефалита, астмы и аллергенных патологий [12]. Клеши *Ixodes ricinus* за последнее десятилетие расширили географический ареал и сезонную активность, сместившись на север — в Норвегию и Швецию. Прогнозные сценарии указывают на возможность дальнейшего распространения *I. ricinus* в Северной и Восточной Европе. На расширение географического ареала на север, на рост сезонной активности *I. ricinus* за последние десятилетия указывают ряд авторов [6].

Анализ заболеваемости населения Калининградской области в 1995–2022 гг. выявил 5 резких подъёмов болезни Лайма в годы с резкими отклонениями сезонных метеорологических показателей от средних многолетних значений [1]. В период 2005–2022 гг. вспышкам заболеваемости иксодовым клещевым боррелиозом в 2006–2007 гг., 2013–2015 гг. способствовали экстремально-высокая температура воздуха и уменьшение количества осадков в осенне-зимний период. Особенно тёплой была зима 2006–2007 гг. — температура воздуха на 6,5–6,6°C была выше средних многолетних значений (рис. 2).

Ареал заболеваемости клещевыми инфекциями охватывает всю Калининградскую область. Наибольшая опасность распространения иксодовым клещевым боррелиозом существует в тех муниципальных районах, где преобладают лесные и аграрные ландшафты [9]. В то же время происходит снижение интенсивности использования лесных массивов и увеличение продолжительности нахождения городских жителей в парках, на дачных участках, что увеличивает риск присасывания клещей. Так, в 2021 г. из числа заболевших жители городов составили 16,9%, в 2022 г. — 13,5%.

В Белоруссии случаи заболевания клещевым боррелиозом связаны с пребыванием в лесных массивах — 52,8%, на дачных участках — 36,1%, в лесопарковых зонах в черте города — 11,1% [5].

¹ Роспотребнадзор по Калининградской области: [Электронный ресурс]. URL: <https://39.rospotrebnadzor.ru/content/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-6> (дата обращения: 13.11.2024).

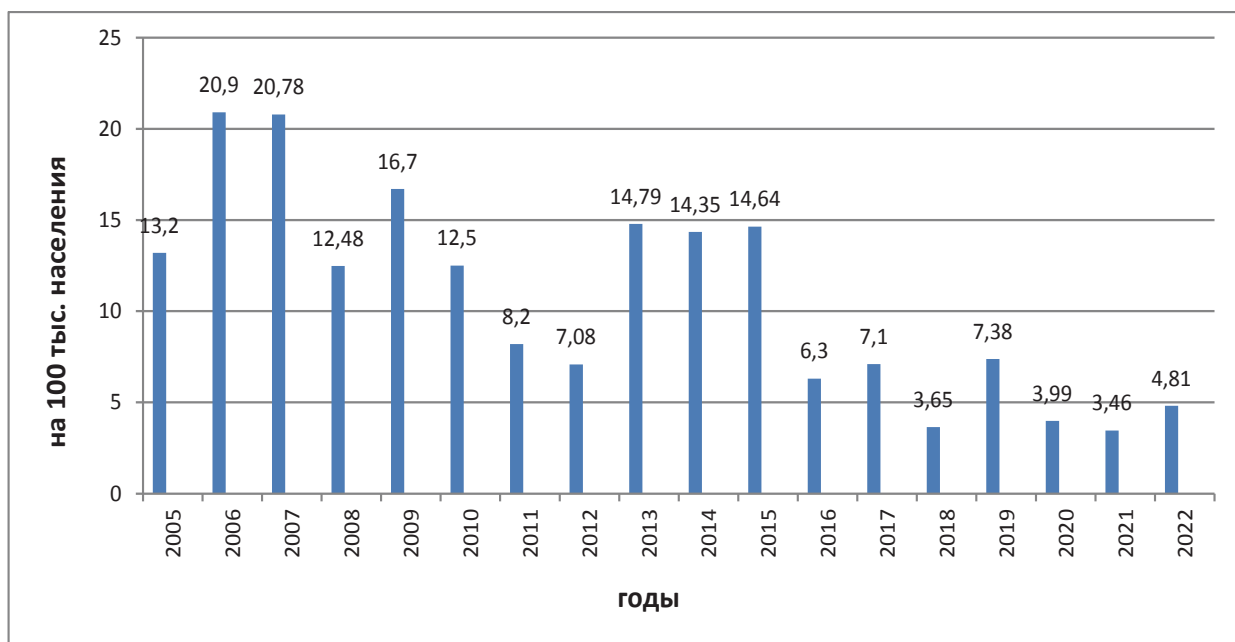


Рис. 2 / Fig. 2. Динамика заболеваемости населения Калининградской области иксодовым клещевым боррелиозом в 2005–2022 гг. / Dynamics of incidence of tick-borne borreliosis in the population of the Kaliningrad region in 2005–2022

Источник: составлено авторами

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА НАСЕЛЕНИЕ

Перечислим некоторые наиболее положительные эффекты изменения климата для сохранения здоровья населения Калининградской области:

- увеличение продолжительности благоприятного периода до 160–180 дней вместо 140–150, в т. ч. для пляжно-купальной рекреации;
- увеличение продолжительности периода со среднесуточной температурой выше 10°C и суммами температуры воздуха, превышающей 2700°, способствующими сдвигу начала летнего отдыха на весенние месяцы – апрель, май;
- благоприятные условия для увеличения сезона посещения парков, расширение возможностей внедрения в культуру озеленения интродуцентов (багряник японский, рододендрон, климатис Жакмана, магнолия и др.)
- в аграрном природопользовании расширение ассортимента продовольственных теплолюбивых сельскохозяйственных культур (гречиха, рапс, виноград, абрикос и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, динамика показателей изменения климата в Калининградской области демонстрирует рост темпов повышения температуры воздуха и увеличение месячных сумм осадков в зимние (февраль) и весенние месяцы (март–апрель), интенсификацию потепления в 1991–2020 гг. на западном побережье со скоростью 0,49 C/10 лет и на севере области – 0,45 C/10 лет, слабую тенденцию роста количества осадков в городах (Калининград, Советск), а также увеличение повторяемости, максимально высокой среднегодовой температуры воздуха, превышающей 9 C в период 1991–2020 гг.

Среди факторов риска для здоровья населения наиболее существенны увеличение повторяемости и интенсивности экстремальных погодных условий, в т. ч. волн тепла, в апреле–сентябре. Рост количества дней с максимально высокой температурой воздуха выше 29,5–30 C, которое за последние 30 лет по сравнению с серединой XX в. увеличилось в 3 раза. Одним из следствий потепления климата является большая продолжительность периода активности клещей с января по октябрь, что обуславливает более ранние случаи нападения их на человека.

Из анализа рассмотренных данных со всей очевидностью следует вывод о необходимости разработки мер адаптации экономики и общества к изменениям климата, безотлагательности научного обоснования региональной стратегии лечебно-оздоровительной деятельности, направленной на профилактику заболеваний, мониторинг возникновения и распространения климатозависимых заболеваний.

Особое внимание в Калининградской области необходимо уделить расширению исследований в области анализа и оценки влияния природно-климатических факторов на здоровье населения, сфокусировав внимание на болезнях сердечно-сосудистой системы, хронических бронхо-лёгочных заболеваниях, а также болезнях, обусловленных переносчиками клещевого энцефалита и иксодовых клещевых боррелиозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барина Г. М., Кохановская М. И. Изменение климата и динамика природноочаговой заболеваемости населения Калининградской области // Вестник Балтийского университета им. И. Канта. 2011. № 7. С. 36–44.
2. Влияние температуры воздуха на смертность населения Архангельска в 1999–2008 годах / Ж. Л. Варакина, Е. Д. Юрасова, Б. А. Ревич, Д. А. Шапошников, А. И. Вязьмин // Экология человека. 2011. № 6. С. 28–36.
3. Виноградова В. В. Волны тепла на территории России как фактор дискомфорта природной среды // Известия РАН. Серия географическая. 2017. № 4. С. 68–77. DOI: 10.7868/S0373244417040065
4. Липка О. Н. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. СПб.: Научные технологии, 2022. 124 с.
5. Мамчиц Л. П., Бортновский В. Н., Чайковская М. А. Лайм-боррелиоз: характеристика эпидемической ситуации в республике Беларусь // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2017. № 21. С. 94–100.
6. Распространение клещевых инфекций в условиях изменений климата и проблема адаптации к ним населения Калининградской области / Г. М. Барина, Е. В. Краснов, Д. В. Гаева, А. Ю. Романчук, Л. О. Ушакова // Проблемы региональной экологии. 2022. № 4. С. 63–67. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-4-63-67
7. Ревич Б. А., Григорьева Е. А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1. Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 12–33. DOI: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
8. Ревич Б. А., Малеев В. В. Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2011. 208 с.
9. Роль климатических факторов в распространении природно-очаговых клещевых инфекций в условиях изменения климата на северо-западе России / Г. М. Барина, Д. В. Гаева, Е. В. Краснов, А. Ю. Романчук, Л. О. Ушакова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 1. С. 23–34. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/1/23-34
10. Черных Д. А., Тасейко О. В. Оценка риска от температурных волн, влияющих на повышение уровня смертности населения города Красноярска // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 2. С. 678–680.
11. Шартова Н. В. Медико-географическая оценка Московской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2015. 24 с.
12. Alkishe A. A., Peterson A. T., Samy A. M. Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus* // PLoS ONE. 2017. № 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0189092
13. Drouard M., Kornhuber K., Woollings T. Disentangling dynamic contributions to summer 2018 anomalous weather over Europe // Geophysical Research Letters. 2019. № 46. P. 12537–12546. DOI: 10.1029/2019GL084601
14. Finnish nurses' perceptions of the health impacts of climate change and their preparation to address those impacts / T. Iira, M. L. Ruth, T. Hannele, J. Jouni, K. Lauri // In Nursing Forum. 2021. Vol. 56. № 2. P. 365–371. DOI: 10.1111/nuf.12540
15. Gaeva D. V., Barinova G. M., Krasnov E. V. Climate Change and Health // Good Health and Well-Being. 2020. P. 78–91. DOI: 10.1007/978-3-319-95681-7_46
16. Gaeva D. V., Barinova G. M., Krasnov E. V. Risks and Opportunities Due to Climate Change // Climate Action. 2020. P. 791–802. DOI: 10.1007/978-3-319-95885-9_76
17. Identifying key driving processes of major recent heat waves / K. Wehrli, B. P. Guillod, M. Hauser, M. Leclair, S. I. Seneviratne // Journal of Geophysical Research Atmospheres. 2019. № 124. P. 11746–11765. DOI: 10.1029/2019JD030635
18. Lhotka O., Kysely J. The 2021 European heat wave in the context of past major heat waves // Earth

- and Space Science. 2022. № 9. P. e2022EA002567. DOI: 10.1029/2022EA002567
 19. Patterns of extreme temperature-related catastrophic events in Europe including the Russian Federation: A cross-sectional analysis of the Emergency Events Database / H. Brennenstuhl, M. Will, E. Ries, K. Mechler, S. Garbade, M. Ries // *BMJ open*. 2021. № 11. P. e046359. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-046359
 20. Russo S., Sillmann J., Fischer E. M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades // *Environmental Research Letters*. 2015. № 10. P. 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003
 21. Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation / A. M. Tomczyk, E. Bednorz, M. Pórolniczak, L. Kolendowicz // *Theoretical and Applied Climatology*. 2019. № 137. P. 1909–1923. DOI: 10.1007/s00704-018-2715-y
 22. Views of health professionals on climate change and health: a multinational survey study / J. Kotcher, E. Maibach, J. Miller, E. Campbell, L. Alqodmani, M. Maiero, A. Wyns // *The Lancet Planetary Health*. 2021. № 5. P. 316–323. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00053-X
- ### REFERENCES
1. Barinova G. M., Kokhanovskaya M. I. [Climate change and the dynamics of natural focal morbidity in the population of the Kaliningrad region]. In: *Vestnik Baltiyskogo universiteta im. I. Kanta* [Bulletin of the Immanuel Kant Baltic University], 2011, no. 7, pp. 36–44.
 2. Varakina Zh. L., Yurasova E. D., Revich B. A., Shaposhnikov D. A., Vyazmin A. I. [The influence of air temperature on mortality in Arkhangelsk in 1999–2008]. In: *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2011, no. 6, pp. 28–36.
 3. Vinogradova V. V. [Heat waves in Russia as a factor in environmental discomfort]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2017, no. 4, pp. 68–77. DOI: 10.7868/S0373244417040065
 4. Lipka O. N. *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Third assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation]. St. Petersburg, Naukoyemkiye tekhnologii Publ., 2022. 124 p.
 5. Mamchits L. P., Bortnovsky V. N., Chaikovskaya M. A. [Lyme borreliosis: characteristics of the epidemic situation in the Republic of Belarus]. In: *Vestnik obrazovaniya i razvitiya nauki Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of Education and Development of Science of the Russian Academy of Natural Sciences], 2017, no. 21, pp. 94–100.
 6. Barinova G. M., Krasnov E. V., Gaeva D. V., Romanchuk A. Yu., Ushakova L. O. [Spread of tick-borne infections in the context of climate change and the problem of adaptation of the population of the Kaliningrad region to them]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of regional ecology], 2022, no. 4, pp. 63–67. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-4-63-67
 7. Revich B. A., Grigorieva E. A. [Health risks to the Russian population from weather extremes at the beginning of the 21st century. Part 1. Heat and cold waves]. In: *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis], 2021, vol. 18, no. 2, pp. 12–33. DOI: 10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33
 8. Revich B. A., Maleev V. V. *Izmeneniya klimata i zdorovya naseleniya Rossii: analiz situatsii i prognozyne otsenki* [Climate change and health of the Russian population: analysis of the situation and forecast assessments]. Moscow, LENAND Publ., 2011. 208 p.
 9. Barinova G. M., Gaeva D. V., Krasnov E. V., Romanchuk A. Yu., Ushakova L. O. The role of climatic factors in the spread of natural focal tick-borne infections in the context of climate change in the north-west of Russia]. In: *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology], 2023, no. 1, pp. 23–34. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/1/23-34
 10. Chernykh D. A., Taseiko O. V. [Risk assessment from temperature waves affecting the increase in mortality in the city of Krasnoyarsk]. In: *Aktualnyye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Actual problems of aviation and cosmonautics], 2017, vol. 2, pp. 678–680.
 11. Shartova N. V. *Mediko-geograficheskaya otsenka Moskovskoy oblasti: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* [Medical and geographical assessment of the Moscow region: Cand. Sci. thesis in Geography sciences. sciences]. Moscow: Mosk. gos. un-t im. M. V. Lomonosova Publ., 2015. 24 p.
 12. Alkishe A. A., Peterson A. T., Samy A. M. Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus*. In: *PLoS ONE*, 2017, no. 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0189092
 13. Drouard M., Kornhuber K., Woollings T. Disentangling dynamic contributions to summer 2018 anomalous weather over Europe. In: *Geophysical Research Letters*, 2019, no. 46, pp. 12537–12546. DOI: 10.1029/2019GL084601
 14. Iira T., Ruth M. L., Hannele T., Jouni J., Lauri K. Finnish nurses' perceptions of the health impacts of climate change and their preparation to address those impacts. In: *In Nursing Forum*, 2021, vol. 56, no. 2, pp. 365–371. DOI: 10.1111/nuf.12540
 15. Gaeva D. V., Barinova G. M., Krasnov E. V. Climate Change and Health. In: *Good Health and Well-Being*, 2020, pp. 78–91. DOI: 10.1007/978-3-319-95681-7_46

16. Gaeva D. V., Barinova G. M., Krasnov E. V. Risks and Opportunities Due to Climate Change. In: *Climate Action*, 2020, pp. 791–802. DOI: 10.1007/978-3-319-95885-9_76
17. Wehrli K., Guillod B. P., Hauser M., Leclair M., Seneviratne S. I. Identifying key driving processes of major recent heat waves. In: *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2019, no. 124, pp. 11746–11765. DOI: 10.1029/2019JD030635
18. Lhotka O., Kysely J. The 2021 European heat wave in the context of past major heat waves. In: *Earth and Space Science*, 2022, no. 9, pp. e2022EA002567. DOI: 10.1029/2022EA002567
19. Brennenstuhl H., Will M., Ries E., Mechler K., Garbade S., Ries M. Patterns of extreme temperature-related catastrophic events in Europe including the Russian Federation: A cross-sectional analysis of the Emergency Events Database. In: *BMJ open*, 2021, no. 11, pp. e046359. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-046359
20. Russo S., Sillmann J., Fischer E. M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. In: *Environmental Research Letters*, 2015, no. 10, pp. 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003
21. Tomczyk A. M., Bednorz E., Pórolniczak M., Kolenowicz L. Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. In: *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, no. 137, pp. 1909–1923. DOI: 10.1007/s00704-018-2715-y
22. Kotcher J., Maibach E., Miller J., Campbell E., Alqodmani L., Maiero M., Wyns A. Views of health professionals on climate change and health: a multinational survey study. In: *The Lancet Planetary Health*, 2021, no. 5, pp. 316–323. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00053-X

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баринова Галина Михайловна — кандидат географических наук, профессор-консультант Высшей школы живых систем Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта;
e-mail: ecogeography@rambler.ru

Гаева Дара Владимировна — кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии факультета географии и геоинформационных технологий Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;
e-mail: dvgaeva@gmail.com

Романчук Анна Юрьевна — кандидат биологических наук, доцент Высшей школы живых систем Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта;
e-mail: annaroman@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galina M. Barinova — PhD (Geography), Prof.-Consultant, Higher School of Living Systems, Baltic Federal University named after Immanuel Kant;
e-mail: ecogeography@rambler.ru

Dara V. Gaeva — PhD (Geography), Researcher, Laboratory of Landscape Ecology of the Faculty of Geography and Geoinformation Technologies, National Research University Higher School of Economics;
e-mail: dvgaeva@gmail.com

Anna Yu. Romanchuk — PhD (Biology), Assoc. Prof., Higher School of Living Systems, Baltic Federal University named after Immanuel Kant;
e-mail: annaroman@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Баринова Г. М., Гаева Д. В., Романчук А. Ю. Изменения климата и угрозы здоровью населения в Калининградской области // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 87–96.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-87-96

FOR CITATION

Barinova G. M., Gaeva D. V., Romanchuk A. Yu. Climate change and threats to public health in the Kaliningrad region. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 87–96.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-87-96

Научная статья
УДК 614.83

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ТОКСИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ВЫБРОСАХ АММИАКА НА ХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ АО «ВОРОНЕЖСИНТЕЗКАУЧУК»)

© СС ВУ Шишкин А. В.¹, Кочетова Ж. Ю.², Кузнецов И. Е.³

¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А, Российская Федерация
e-mail: tehchast55@mail.ru

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А, Российская Федерация
e-mail: zk_yva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8838-9548

³ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»
394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А, Российская Федерация
e-mail: vaiumet@mail.ru; ORCID: 0009-0003-7526-2558

Поступила в редакцию 17.11.2024

После доработки 14.01.2025

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Повышение эффективности прогнозирования распространения аварийно химически опасных веществ (на примере выброса аммиака на предприятии I класса опасности, г. Воронеж) в различных метеорологических условиях и оценки опасности для населения путём интеграции программы расчёта токсических зон ALOHA и базы данных численности населения с учётом его плотности Maps.ie.

Процедура и методы. Алгоритмы ALOHA позволяют с высокой достоверностью прогнозировать распространение в воздухе токсикантов с учётом их физико-химических свойств; типа и масштаба аварии; подстилающей поверхности. Графическая интерпретация результатов моделирования наглядно показывает глубину и площадь распространения облака аварийно химически опасных веществ для 3 уровней токсической опасности. При использовании баз данных Maps.ie возможна точная оценка количества людей, нуждающихся в помощи и экстренной эвакуации при возникновении техногенной аварии.

Результаты. Проведена оценка потенциальных зон токсической опасности при возможной аварии на химически опасном объекте АО «Воронежсинтезкаучук». Рассмотрены различные сценарии аварии: утечка и гильотинный разрыв 10-тонной цистерны с аммиаком в зимний и летний периоды. Расчёты показали, что неблагоприятные условия развития чрезвычайной ситуации характерны при разрушении цистерны в жаркие сухие дни при слабой турбулентной атмосфере. В этих условиях радиус зоны потенциальной токсической опасности составляет 8,9 км, где проживает ~660 тыс. воронежцев, из них смертельной опасности подвергается ~4 тыс. человек на расстоянии 1,9 км от хранилища аммиака. Установлены наиболее неблагоприятные направления ветра, при которых подвергается опасности максимальное число людей. Так как апробация применяемых в работе алгоритмов на реальном объекте невозможна, было смоделировано распространение облака в результате уже свершившейся утечки аммиака. Модельные и известные из открытой печати сведения об аварии показали хорошую сходимость результатов.

Теоретическая и/или практическая значимость. Полученные закономерности распространения аварийно химически опасных веществ в воздухе с учётом особенностей подстилающей поверхности, метеорологических условий, характера, типа и масштаба аварии, а также применение алгоритмов для оценки численности уязвимого населения позволяют расширить теорию геоэкологического мониторинга потенциально химически опасных объектов.

Представленная схема интеграции алгоритмов ALOHA и базы данных численности населения Maps.ie может быть использована в качестве готового электронного руководства для лиц, принимающих решения при профилактике и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: химия органического синтеза, аварийно химически опасные вещества, аммиак, прогнозное моделирование, экологический риск, ALOHA

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-97-113

Original Article

FORECASTING TOXIC HAZARD LEVELS FOR AMMONIA EMISSIONS IN CHEMICAL PRODUCTION UNDER VARIOUS METEOROLOGICAL CONDITIONS (USING THE EXAMPLE OF VORONEZH SYNTEZKAUCHUK JSC)

A. Shishkin¹, Zh. Kochetova², I. Kuznecov³

¹ Military Educational and Scientific Center of the Air Force of N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin Air Force Academy»
ul. Starykh Bolshevikov 54A, Voronezh 394064, Russian Federation
e-mail: tehchast55@mail.ru;

² Military Educational and Scientific Center of the Air Force of N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin Air Force Academy»
ul. Starykh Bolshevikov 54A, Voronezh 394064, Russian Federation
e-mail: zk_yva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8838-9548

³ Military Educational and Scientific Center of the Air Force of N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin Air Force Academy»
ul. Starykh Bolshevikov 54A, Voronezh 394064, Russian Federation
e-mail: vaiumet@mail.ru; ORCID: 0009-0003-7526-2558

Received 17.11.2024

Revised 14.01.2025

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. Improving the efficiency of forecasting the spread of chemically hazardous substances (using the example of ammonia emissions at a chemically hazardous enterprise of hazard class I, Voronezh) in various meteorological conditions and assessing the danger to the population by integrating the ALOHA toxic zone calculation program and the population database, taking into account its density Maps.ie.

Methodology. ALOHA algorithms allow predicting the spread of toxicants in the air with high reliability, taking into account their physico-chemical properties, the type and scale of the accident, and the underlying surface. The graphical interpretation of the simulation results clearly shows the depth and area of the spread of a cloud of chemically hazardous substances for three levels of toxic hazard. When using databases Maps.ie It is possible to accurately estimate the number of people in need of assistance and emergency evacuation in the event of a man-made accident.

Results. An assessment of potential toxic hazard zones in the event of a possible accident at a chemically hazardous facility of JSC Voronezh sintezkauchuk has been carried out. At the same time, various accident scenarios were considered — leakage and guillotine rupture of a 10-ton ammonia tank in winter and summer. Calculations have shown that unfavorable conditions for the development of an emergency situation are typical for the destruction of a tank on hot, dry days with a weak turbulent atmosphere. Under these conditions, the radius of the potential toxic hazard zone is 8,9 km, where ~660 thousand people live. Voronezh residents, of whom about 4 thousand people are in mortal danger at a distance of 1,9 km from the ammonia storage facility. The most unfavorable wind directions have been identified, in which the maximum number of people is at risk. Since it is impossible to test the algorithms used in the work on a real object, we simulated the spread of the cloud as a result of an already accomplished ammonia leak. The model and publicly available information about the accident showed good convergence of the results.

Research implications. The obtained patterns of the spread of chemically hazardous substances in the air, taking into account the characteristics of the underlying surface, meteorological conditions, the nature, type and scale of the accident, as well as the use of algorithms to estimate the number of vulnerable populations, make it possible to expand the theory of geoecological monitoring of potentially chemically hazardous objects. The presented scheme of integration of ALOHA algorithms and the population database Maps.ie It can be used as a ready-made electronic guide for decision makers in the prevention and occurrence of emergency situations.

Keywords: chemistry of organic synthesis, hazardous chemicals, ammonia, predictive modeling, environmental risk, ALOHA

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-97-113

ВВЕДЕНИЕ

Аварии на химически опасных объектах (ХОО) характеризуются большим радиусом поражения и тяжестью последствий. По статистике, такие аварии чаще всего происходят по причинам отказа оборудования, ошибочных действий персонала, внешних воздействий природного и техногенного характера [14]. В последнее время возросла угроза террористических актов. Часто аварии приводят к гибели людей на самих предприятиях и масштабных территориях, прилегающих к ХОО [8]. Следует отметить, что предприятия находятся в населённых пунктах, которые обеспечивают их работниками. Многие объекты были построены несколько десятилетий назад. За это время количество жителей выросло, а устаревшее оборудование предприятий модернизируется не так быстро, как необходимо. Аварии на ХОО являются непредвиденными, поэтому единственным решением снижения их последствий к минимуму является быстрое и надёжное прогнозирование развития чрезвычайных ситуаций с целью выработки рекомендаций для лиц, принимающих решения.

Прогноз осложнен динамичностью и разнообразием факторов, влияющих на распространение аварийно химически опасных веществ (АХОВ). В литературе приводятся множество физико-математических моделей переноса облаков АХОВ от различных источников, базирующихся, в основном, на уравнениях массопереноса и требующих знания большого количества параметров [1; 2]. Эти модели, несомненно, представляют научный интерес, однако они редко применяются специалистами на практике, когда требуется своевременное принятие решений.

Эксперты в области управления рисками рекомендуют развивать существующие ком-

пьютерные инструменты, позволяющие достигать большей точности прогнозирования и скорости предупредительных мероприятий. В Российской Федерации разработаны несколько программных продуктов для оценки рисков при техногенных авариях на различных ХОО (программа «Определение зон заражения АХОВ (по СП 165.1325800)»; приложение «Выброс АХОВ» и др.). Широкими функциональными возможностями характеризуется программа «ТОХИ+6 Риск», разработанная «Научно-техническим центром исследований проблем промышленной безопасности»¹. Эти программы в основном применяются узким кругом специалистов для прогнозирования рисков при проектировании и модернизации предприятий. Для их использования требуется высококвалифицированный персонал и довольно обширный перечень входных данных. При ошибочном вводе некорректных исходных параметров программы работают неправильно. Новым этапом в развитии подобных инструментов являются программные продукты с обратной связью, позволяющие за кратчайшие сроки и с минимальным набором унифицированных исходных данных прогнозировать геометрию зон токсической опасности с учётом изменяющихся метеорологических параметров во время развития чрезвычайной ситуации.

К таким инструментам относится общедоступная программа ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres* – Географическое расположение опасных сред), которая позволяет

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024613026 Российская Федерация. ТОХИ+6 Риск: № 2024611276; заявл. 24.01.2024; опубл. 07.02.2024 / А. С. Печеркин, С. А. Буйновский, А. С. Софьин [и др.]; заявитель ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности».

довольно точно проводить оценку сценариев распространения облака АХОВ при утечках или залповых выбросах, а также оценивать уровни токсической и пожарной опасностей на удалении от источника выброса [16; 21]. Программное обеспечение для оценки пространственных масштабов химической опасности разработано Национальным управлением океанических и атмосферных исследований в сотрудничестве с Агентством по охране окружающей среды (США). Это одна из наиболее распространённых программ, предназначенная для прогнозирования развития техногенных аварий. Информация, предоставляемая интегрированным приложением ALOHA и ГИС, используется для управления чрезвычайными ситуациями в режиме реального времени.

При возникновении химической аварии важно правильно оценить риски для населения на прилегающих к предприятиям территориях, которые рассчитываются как вероятность наступления нежелательного события (вред здоровью, смерть). В большинстве исследований для оценки риска используется модель однородного распределения населения по плотности [9; 10; 12]. Для повышения точности прогнозирования риска необходимо объединение модели распространения аварийно химически опасных веществ с географической информационной системой (ГИС), содержащей базу данных о количестве населения, плотности застройки, типе подстилающей поверхности.

Цель исследования — повышение эффективности прогноза распространения АХОВ (на примере аварийного выброса аммиака на химически опасном предприятии I класса опасности, г. Воронеж) при различных погодных условиях и оценки токсической опасности для населения путём интеграции программы ALOHA и базы данных ГИС.

В качестве примера для оценки токсической опасности для населения выбран аммиак — аварийно химически опасное вещество, широко используемое во многих отраслях химической промышленности и хранящееся на складах, как правило, в больших количествах. Предел воспламеняемости аммиака с воздухом составляет 15–28% объёмных, температура самовоспламенения — 650 °С [18]. Вероятность воспламенения смеси аммиака с воздухом в широком интервале темпера-

тур при нормальном атмосферном давлении очень мала, поэтому установки по производству и хранению аммиака не считаются пожароопасными, и в данной статье риски от пожара не рассматриваются.

Аммиак является высокотоксичным веществом, которое оказывает неблагоприятное воздействие даже на больших расстояниях от источника выброса. В воздухе населённых пунктов предельно допустимые концентрации (ПДК) аммиака составляют 0,04 и 0,2 мг/м³ (среднесуточная и максимально разовая соответственно). Порог восприятия запаха аммиака — 0,5 мг/м³ [7].

Проведём оценку токсической опасности для населения при возможной аварии на крупнейшем в Российской Федерации химически опасном предприятии I класса опасности АО «Воронежсинтезкаучук», расположенного в черте г. Воронеж (рис. 1).

На микроклимат городов и перемещение в них воздушных масс существенное влияние оказывают условия аккумуляции тепла, тепловой баланс и неоднородность подстилающей поверхности. Перечисленные факторы стараются учитывать при прогнозировании распространения токсичных облаков атмосферным воздухом. Однако это сопряжено с рядом трудностей, главная из которых — сложность моделирования баланса тепло-массообмена (включающего потоки тепла от подстилающей поверхности, воздуха, поступления с выброшенной жидкостью, фазовых переходов «пар-жидкость») в условиях неоднородности рельефа и шероховатости местности, застроек различной высоты и геометрии, высокой динамичности атмосферы [4; 19].

Воронеж находится в зоне умеренного климата, здесь ярко выражена сезонность. Летние заморозки при этом исключены, а климатическое лето охватывает первую часть октября. Количество солнечных дней в году — 158; средние годовые температура — +7,4 °С, влажность воздуха — 74%;, скорость ветра — 2,9 м/с. Погоду и климат формируют ветры западного, юго-западного, северо-восточного направлений, частота проникновения которых наибольшая. Роза ветров за многолетний период показывает, что преобладающими являются ветры западного и юго-западного направлений.

Территориальное размещение Воронежа на границе Среднерусской возвышенности

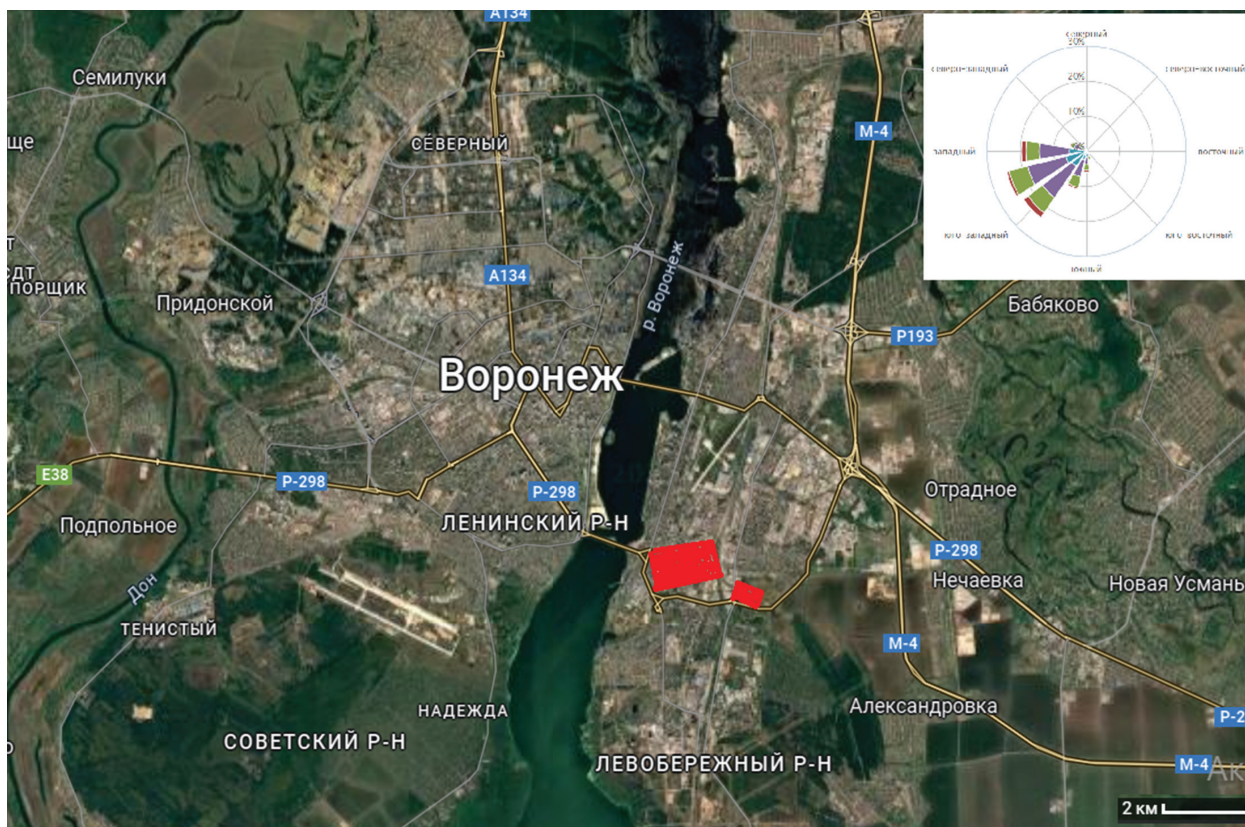


Рис. 1 / Fig. 1. АО «Воронежсинтезкаучук» (■) в структуре г. Воронежа и схематичное изображение преобладающего направления ветров / Voronezhskintezkauchuk (■) in the Voronezh city structure and a schematic representation of the prevailing wind direction.

Источник: Google Maps

и Окско-Донской низменной равнины своеобразно проявляется в термическом режиме города, что особенно заметно в зимний период (зима мягкая, умеренно морозная, с повышенной влажностью воздуха и устойчивым снежным покровом, который образуется только в январе). Летом же погода теплая и сухая, особенно в июле и первой половине августа [5].

Рельеф Воронежа контрастен: правобережная часть находится на поверхности второй и четвертой надпойменной террасы с абсолютными отметками от 100 до 160 м, левобережная (где находится предприятие) — на пониженной плоскоравнинной поверхности, постепенно переходящей в речную террасу [17]. Ветры, беспрепятственно пересекающие с востока равнинную территорию, задерживаются возвышенностью. Воздушные массы застаиваются, выхолаживая земную поверхность.

Солнечная радиация — ведущий фактор, определяющий тепловое состояние подсти-

лающей поверхности и прилежащих слоёв воздуха. Максимальное нагревание земной поверхности отмечается 22 июня при наибольшем угле наклона солнечных лучей и наибольшей продолжительности светового дня, минимальное — при наименьшем угле падения солнечных лучей и коротком световом дне (22 декабря). Годовая сумма солнечной энергии для Воронежа — 3 785 МДж/м², основная доля поступления которой приходится на тёплый весенне-летний период [5].

Тепловой баланс городской поверхности в значительной мере определяется скоростью её охлаждения или аккумуляции тепла. Проведённые ранее исследования позволили зонировать территорию города по характерным микроклиматическим особенностям в зависимости от функционального использования земель и типа подстилающей поверхности (в т. ч. здания и сооружения; много-, средне- и малоэтажные застройки; сады; зелёные насаждения; луговая и кустарниковая растительность; сельскохозяйственные тер-

ритории; промышленная зона; грунтовые, асфальтированные или железные дороги; локальные рельефные неровности; водная поверхность) [15].

С. А. Куролап и И. В. Попова установили микроклиматическую дифференциацию территории города для теплого периода (рис. 2,

табл. 1¹). Дифференциация актуальна для высоких летних температур, когда низкая рассеивающая способность атмосферы и приземная инверсия в ночное время способствуют возникновению дополнительных токсических рисков для населения центральной части города в случае аварии на ХОО.

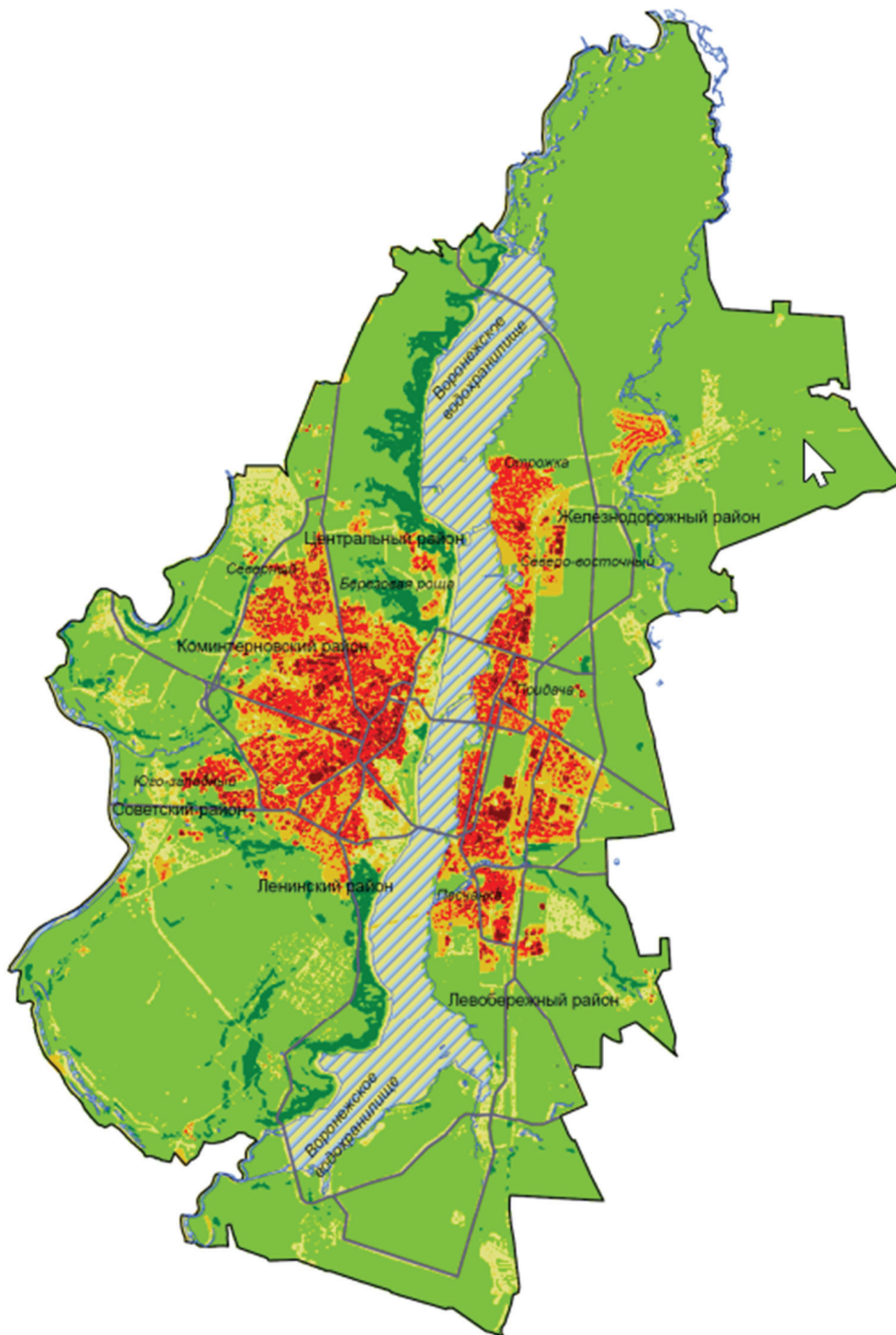


Рис. 2 / Fig. 2. Микроклиматическая дифференциация территории городского округа Воронежа / Micro-climatic differentiation of the territory of the Voronezh city district

Источник: [15, с. 39]

¹ Условные обозначения к рисунку 2 и краткое описание установленных климатопов приведено в таблице 1.

Таблица 1/Table 1

Характеристики микроклиматических зон городской среды / Characteristics of microclimatic zones of the urban environment

Усл. обозначение	Преобладающие условия	Характеристика
	Холодный воздух, аэрационные коридоры	Участки с незначительной шероховатостью поверхности, наиболее активно участвующие в охлаждении и возникновении холодных потоков воздуха. Садово-парковый климатоп; аквальный климатоп в теплый период года; железнодорожный климатоп в ночное время суток
	Смешанный воздух, выраженное влияние аэрационных коридоров	Озеленённые участки, склоны, территория частной застройки, удалённая от источников загрязнения атмосферы. Селитебно-рекреационный климатоп
	Смешанный воздух, частая смена ветровых режимов от слабовыраженных аэрационных коридоров до перегретого слабовентилируемого воздуха	Участки застройки малой и средней этажности со средней степенью озеленения. Селитебный климатоп
	Перегретый слабо вентилируемый воздух	Промышленная зона, территория городской застройки с низкой степенью озеленения в центральной части города, сельскохозяйственные поля. Промышленный климатоп
	Сильно перегретый воздух, застойный воздух	Слабо-озеленённые участки плотной современной многоэтажной застройки, открытые площади и участки улично-дорожной сети в центральной части города. Транспортный железнодорожный климатоп в тёплое время года и при ясном небе

Источник: [15, с. 37]

Облако аммиака в зависимости от направления ветра может распространяться от источника выброса на территории с различными условиями, но большая часть жителей г. Воронежа находится зонах с перегретым, слабо вентилируемым или застойным воздухом. Анализ показывает, что само предприятие находится в зоне промышленного климатоп (промышленная, селитебная зоны), для которого характерен перегретый и слабо вентилируемый воздух, что повышает риски образования концентрированного облака и рассеяния его на большом удалении от источника.

АО «Воронежсинтезкаучук» ежегодно выпускает более 360 т синтетических каучуков и СБС-полимеров (термоэластопластов)¹. Предприятие расположено на 3 производ-

ственных площадках: основное производство, установка первичной переработки бутадиена и производных бензола, установка очистки промышленных сточных вод производства синтетических каучуков. Хранилище аммиака расположено на севере производственной площадки 1. В случае аварийного выброса аммиака токсичное облако может распространиться на близлежащие жилые комплексы различной этажности. Как было показано выше, токсическая опасность для населения зависит от большого числа факторов, которые должны быть учтены при моделировании аварийной ситуации. Алгоритм проведения исследования и источники необходимых баз данных представлены на рисунке 3.

Таким образом, приведённые в статье исследования включают 3 основных этапа:

- 1) сбор данных для моделирования распространения облака АХОВ;
- 2) прогноз зон токсической опасности при распространении облака аммиака;

¹ Нормы технологического проектирования складов жидких средств химизации НТП-АПК 1.10.13.002-03. Утв. Министерством сельского хозяйства РФ 31 декабря 2003 г.; Официальный сайт АО «Воронежсинтезкаучук». Проектная документация. Режим доступа: <https://clck.ru/3MmVFh> (дата обращения: 03.11.2024).



Рис. 3 / Fig. 3. Алгоритм оценки токсической опасности при аварии на химически опасном предприятии / The algorithm for assessing the toxic hazard in case of an accident at a chemically hazardous enterprise

Источник: составлено авторами

3) оценка численности населения в зонах токсической опасности.

СБОР ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБЛАКА АХОВ

Программа АЛОНА выбрана для исследования благодаря возможности надёжного моделирования поведения в приземной атмосфере большого числа лёгких и тяжёлых газов, которые образуют облака АХОВ при утечках и выбросах из цистерн и трубопроводов. В программе предусмотрена возможность дополнять банк данных о свойствах химических соединений, поведение которых в атмосфере необходимо моделировать. Облака токсикантов распространяются в считанные минуты на большие расстояния, рассеиваются под действием ветра и турбулентности атмосферного воздуха, оседают на поверхности под действием гравитационных сил. В АЛОНА используется 2 подхода для прогноза переноса и рассеивания газовых облаков в атмосфере — Гауссово рассеивание в воздухе и рассеивание тяжёлых газов [3; 13]. На основе информации о свойствах химического вещества, метеопараметрах и характере выброса программа выбирает оптимальную методику расчёта.

1. Аммиак легче воздуха. Он хранится в резервуарах под давлением 2–8 кПа при тем-

пературе -33° молекулярная масса — 17,03 г/моль;

2. температура кипения — $(-33,35)^{\circ}$ давление паров при 20° концентрация насыщения в окружающей среде — 1 000 000 частей на миллион (100%).

Наиболее значимыми факторами, влияющими на рассеивание газовых облаков, являются скорость, направление ветра, температурная инверсия и атмосферная турбулентность (табл. 2). Температура и влажность оказывают меньшее влияние. Так как предсказать время и атмосферные условия на момент аварии невозможно, то в данной работе рассматривали 6 значительно различающихся по начальным условиям сценариев возможных аварий на предприятии АО «Воронеж-синтезкаучк».

При распространении химических соединений в воздухе класс вертикальной устойчивости атмосферы играет важнейшую роль, как в формировании облака, так и в его перемещении и осаждении. В приземном слое температура воздуха по мере увеличения высоты повышается. Чаще всего это инверсионный процесс, вызванный тем, что летом в безветренные ночи потоки воздуха от нагретой за день земной поверхности поднимаются вверх, а охлаждённый на высоте 20–40 м воздух опускается вниз. Задерживающий слой затрудняет вертикальное перемешивание воздуха,

Таблица 2 / Table 2

Метеорологические условия для моделирования выброса аммиака / Meteorological conditions for modeling ammonia emissions

Атмосферные параметры	Зима (ср.)		Зима (экстр.)	Лето (ср.)		Лето (экстр.)
Обозначение сценария	3-1	3-2	3-3	Л-1	Л-2	Л-3
Время	9:00	21:00	15:00	9:00	21:00	15:00
Скорость ветра, м/с	2,9	3,2	9,0	2,3	1,4	9,0
Температура, °С	-6,3	-5,5	-20,9	+20,4	+20,1	+35,0
Влажность, % относит.	87	85	35	62	63	15
Класс устойчивости атмосферы	B	D	D	B	A	C

Источник: составлено авторами с использованием архивных данных сайта Воронежской метеостанции (средние и экстремальные значения за январь и июнь 2013–2023 гг.)

поэтому под ним часто скапливаются пыль и водяные пары, формируются слои тумана или дыма. Инверсия не даёт распространиться облаку токсиканта по высоте, и образуются наиболее «подходящие» условия для сохранения и перемещения его высоких концентраций.

Для изотермии более свойственны стабильность температуры воздуха в некотором атмосферном слое и стабильные равновесные состояния воздуха. Изотермия типична для пасмурной погоды и, как правило, возникает в утренние и вечерние часы. Она так же, как и инверсия способствует длительному застою аэрозолей и паров токсичных соединений в промышленных зонах и населённых пунктах.

При неустойчивой атмосфере наблюдается конвекция – процесс вертикального перемещения тёплого воздуха вверх, а холодного (более плотного) – вниз. Обычно это явление наблюдается летом в дневные часы при безветренной и ясной погоде. Поднимающиеся

вверх потоки воздуха рассеивают облако токсичного вещества, разбавляют его и препятствует горизонтальному распространению.

Класс устойчивости в программе АЛОНА автоматически учитывается при вводе скорости ветра, облачности и солнечном излучении в соответствии с классификацией Паскуила (табл. 3). Шесть классов устойчивости (от А до F) характеризуют степень атмосферной турбулентности. Классы А, В, С связаны с инверсионными условиями атмосферы, возникающими, когда солнечная энергия нагревает земную поверхность, в результате чего газовые облака рассеиваются вместе с характерными восходящими и нисходящими потоками. Класс D обозначает нейтральное состояние стабильности (изотермия), при котором турбулентность, обусловленная ветровой динамикой, может привести к рассеиванию облаков на большее расстояние от источника выбросов.

Таблица 3 / Table 3

Класс устойчивости атмосферы по Паскуилу/ The stability class of the atmosphere according to Pasquale

Скорость ветра, м/с	День				Сумерки	Ночь		
	Интенсивность солнечного излучения					Уровень облачности (восьмые доли)		
	сильная	умеренная	слабая	сплошная		0—3	4—7	8
J	A	A-B	B	C	D	F	F	D
(2—3)	A-B	B	C	C	D	F	E	D
[3—5)	B	B-C	C	C	D	E	D	D
[5-6)	C	C-D	D	D	D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D	D	D	D

Источник: РД 52.18.717-2009. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. Обнинск: ГУ НПО «Тайфун», 2009. 123 с.

Как было показано выше, все современные модели, описывающие перенос загрязняющих веществ атмосферным воздухом, учитывают тип подстилающей поверхности, который оказывает значительное влияние на рассеивание загрязнений. АЛОНА предлагает 3 варианта в качестве исходных данных неровностей подстилающей поверхности: «открытая местность»; «город или лес»; «открытая вода». Мы рассматривали второй вариант, т. к. прилегающие к ХОО территории в основном относятся к промышленному и селитебному климатопам (табл. 1, рис. 2).

Для описания источника выброса аммиака в атмосферу использовали проектную документацию, приведённую на официальном сайте АО «Воронежсинтезкаучук»:

- тип резервуара — вертикальный цилиндрический с двойными стенками;
- масса АХОВ в резервуаре — 10 т;
- объём цистерны — 15,88 м³; цистерна заполнена аммиаком на 80%;
- состояние АХОВ — сжиженный газ с температурой (–33,2) °C; высота утечки над землей — 1 м.

Случайный выброс аммиака из резервуара для хранения обычно происходит из-за неисправности оборудования, например, при разрыве ёмкости или неправильного расположения клапанов. Здесь рассматриваются оба варианта для всех 6 сценариев:

1. утечка — неправильное расположение клапана, при этом аммиак попадает в атмосферу через патрубок во время погрузочно-разгрузочных работ. Диаметр патрубка резервуара для хранения составляет 50 мм; предполагается, что через всё сечение патрубка химикат попадает в атмосферу;

2. мгновенный выброс аммиака при значительном разрушении цистерны (например, при падении на неё летательного аппарата).

ПРОГНОЗ ЗОН ТОКСИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ОБЛАКА АММИАКА

Для оценки численности населения, которое может оказаться в зоне токсического воздействия после аварийного выброса аммиака, использовали возможности Google Maps¹.

¹ Maps.ie: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.maps.ie/about-us.htm> (дата обращения: 12.12.2024).

Maps.ie позволяет создать радиус или любую геометрическую фигуру для оценки количества людей, проживающих в выбранной области. Этот инструмент для составления карт можно использовать для довольно точного определения численности населения в любой точке мира на основании изображений со спутников (классификация с помощью искусственного интеллекта жилых и нежилых зон, промышленных и рекреационных территорий, этажности застроек), переписи населения, кадастровых карт, находящихся в открытом доступе.

При попадании аммиака в атмосферу непосредственной опасностью для людей является его вдыхание. Уровень опасности — это концентрация химического вещества в атмосферном воздухе, приводящая к тем или иным неблагоприятным последствиям для здоровья человека при вдыхании АХОВ в течение 1 часа. В АЛОНА используются 3 уровня опасности вдыхания токсичных веществ: I — 30; II — 160; III — 1100 ppm. Для этих уровней опасности клинико-токсикологическая характеристика ингаляционного воздействия аммиака на основе зависимости «концентрация-эффект» в пересчёте на российские нормативы (ПДК_{мр}) может быть представлена следующим образом²:

I. *лёгкая форма отравления* — содержание аммиака в воздухе более 21,5 мг/м³, что соответствует 3,6 ПДК_{мр}. Вследствие сильного раздражения верхних дыхательных путей и глаз наблюдается слезотечение, сухой кашель, потеря обоняния, сухость в носу. Возможен отёк слизистых оболочек гортани и трахеи. Пострадавшие жалуются на снижение работоспособности, головную боль, раздражительность. Симптоматика через 2–3 недели без видимых остаточных явлений исчезает;

II. *отравление средней тяжести* — содержание аммиака более 112 мг/м³, что соответствует 107,5 ПДК_{мр}. Пострадавшие жалуются на затруднённое дыхание, у части людей индуцирующее страх смерти. Через несколько часов может развиваться цианоз. Выявляется острое глоточно-трахеальное воспаление. В течение 48–72 ч. после поражения состояние больного улучшается;

² Организация медицинского обеспечения населения при химических авариях: руководство / Г. П. Простакишин, И. В. Воронцов, Ю. С. Гольдфарб и др. М.: ВЦМК «Защита», 2004. 222 с.

III. *отравление тяжёлой степени* — содержание аммиака в воздухе более 786 мг/м^3 , что соответствует $3934 \text{ ПДК}_{\text{мр}}$. Через несколько минут после воздействия аммиака наступает мышечная слабость, возникают тетанические судороги. Резко снижается слуховой порог. В некоторых случаях пострадавшие сильно возбуждены, находятся в состоянии буйного бреда, не способны стоять. Возможен химический ожог глаз и верхних дыхательных путей. В первые минуты после поражения может наступить смерть от острой сердечной недостаточности или остановки дыхания. Чаще смерть наступает через несколько часов или дней после несчастного случая от отёка гортани или лёгких.

Каждый уровень опасности обозначен в программе АЛОНА в виде очерченной зоны, выделенной цветами. Зона опасности представляет собой область, в пределах которой уровень воздействия превышает уровень, вызывающий перечисленные выше симптомы. Пунктиром обозначается возможное изменение направления движения облака при заданных погодных условиях (рис. 4).

Сравнение результатов моделирования распространения облака аммиака в 12 различных сценариях показывает, что на глубину заражения территории в течение первого часа главным образом влияет характер аварийной ситуации: при мгновенном разрушении цистерны площадь заражённой территории в 2–3 раза больше, чем при утечке.

При изменении метеорологических условий значительные различия наблюдаются как в расстоянии воздействия, так и в ширине шлейфа. При сопоставимых скоростях ветра в летний период времени глубина заражения больше, чем в зимний, но при этом ширина шлейфа аммиачного облака гораздо меньше. Развитие чрезвычайной ситуации в ясную погоду и утренние часы опаснее, чем вечером из-за инверсии атмосферы. Это происходит из-за того, что аммиачное облако рассеивается вдали от источника выброса, что приводит к опасному токсическому воздействию на большее количество людей.

ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНАХ ТОКСИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Для оценки численности населения, жизнь и здоровье которого подвергаются потен-

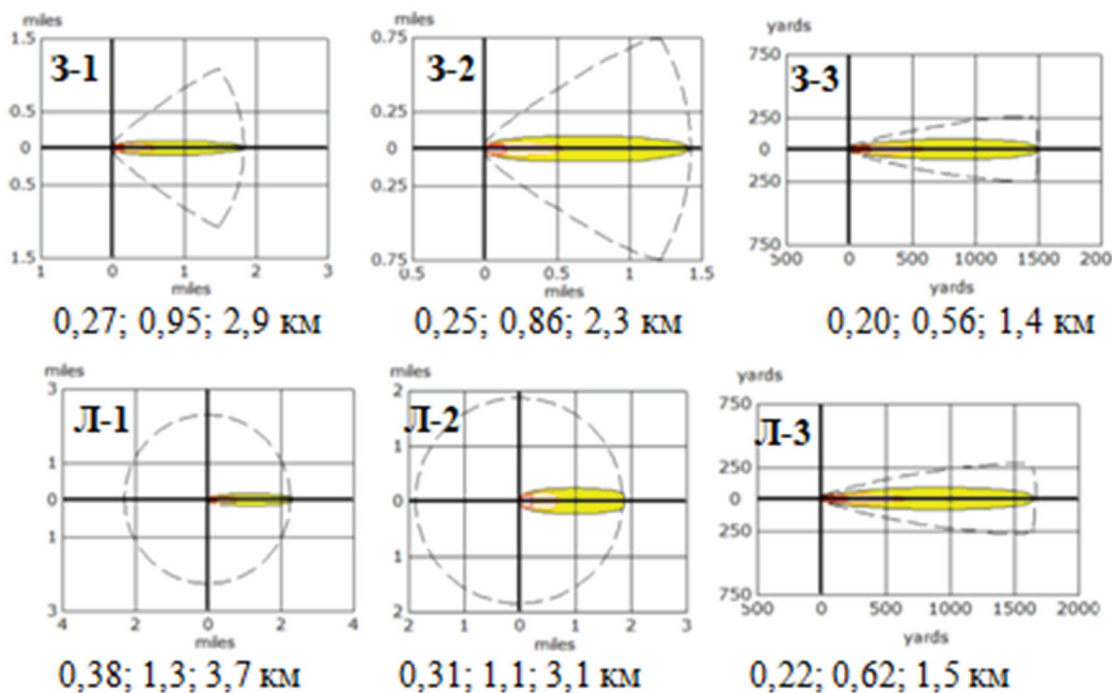
циальному риску, рассмотрим наиболее неблагоприятный сценарий развития чрезвычайной ситуации — разрушение резервуара с аммиаком в летний период (утро).

Средняя численность населения г. Воронежа на 2024 г. по оценкам составляет 1 046 425 чел., а его плотность — $1\,768 \text{ чел./км}^2$. Плотность населения в городе крайне неравномерна, зависит от наличия промышленных зон, зелёных насаждений, водных поверхностей, этажности застроек и многих других факторов. Более точно рассчитать плотность населения на отдельных участках города возможно с применением ГИС Maps.ie.

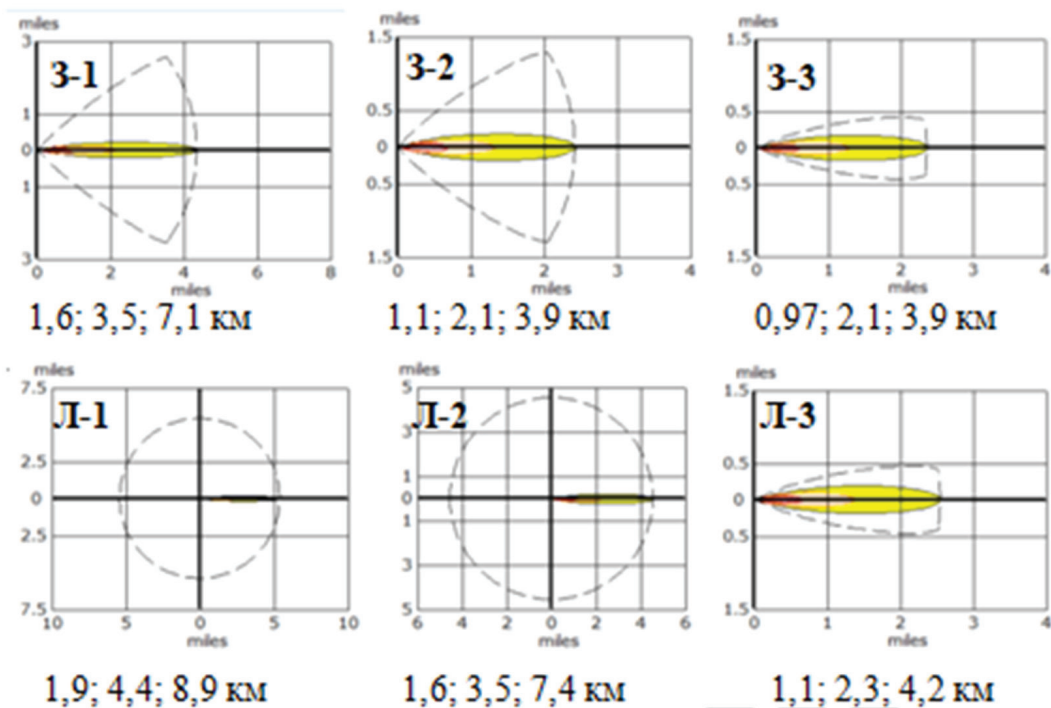
При применении прогностических метеорологических моделей, основанных на методах статистики и численного моделирования можно с некоторой достоверностью, которая зависит главным образом от долгосрочности прогноза и качества статистических данных, предсказать направление и скорость ветра в тот или иной период времени [6]. Но предсказать время самой аварии и изменения направления ветра в процессе развития аварийной ситуации невозможно, поэтому АЛОНА рассчитывает зону возможного заражения в зависимости от устойчивости атмосферы (пунктирная линия, рис. 4). Общая площадь заражённой территории при разрушении 10-тонной цистерны с аммиаком составляет $\sim 240 \text{ км}^2$. На этой территории, как показывает интерактивная карта, проживает 659 тыс. чел. В зоне высокой опасности (III), где содержание аммиака в воздухе может находиться на уровне летальных концентраций, на сегодняшний день проживают более 527 тыс. чел. (рис. 5).

При моделировании распространения облака аммиака с учётом преобладающего юго-западного ветра в зоне высокой токсической опасности (III) могут оказаться работники самого предприятия АО «Воронежсинтезкаучук», работники Воронежского акционерного самолётостроительного общества (ВАСО), а также часть Левобережного района, в котором расположены в основном 4-х и 5-ти этажные здания, где проживает $\sim 1,1 \text{ тыс. чел.}$ Во второй зоне находится большая часть территории ВАСО, часть испытательного аэродрома «Придача», а также частный сектор, в основном с 1- и 2-этажными застройками. На этом участке проживает $\sim 7 \text{ тыс. чел.}$ В первую зону опасности попадают участки микрорайонов

Утечка из клапана с диаметром 50 мм



Гильотинное разрушение цистерны



Зоны опасности/Danger zones

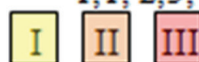


Рис. 4 / Fig. 4. Токсические зоны распространения облака аммиака при различных метеорологических условиях и типах аварии / Toxic zones of ammonia cloud propagation under various meteorological conditions and types of accidents

Источник: составлено авторами в программе ALOHA

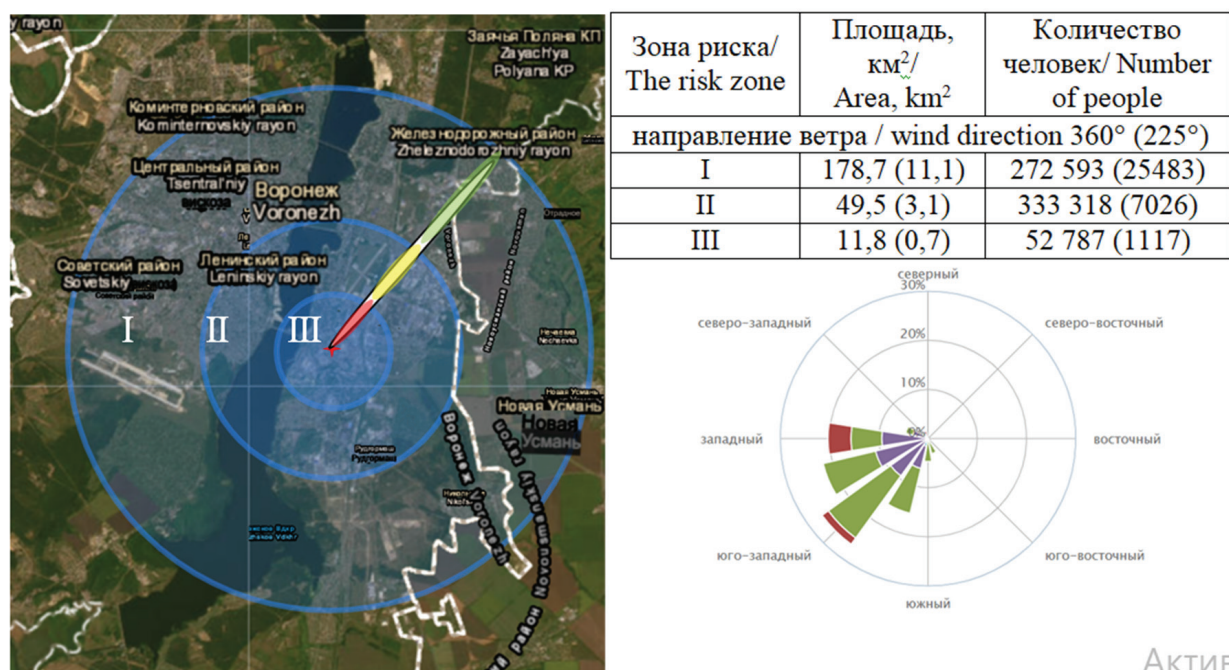


Рис. 5 / Fig. 5. Зоны риска при любом возможном направлении ветра и с учётом розы ветров, нанесённые на карту плотности населения г. Воронежа / Risk zones in any possible wind direction and taking into account the wind rose, plotted on the population density map of Voronezh

Источник: составлено авторами с применением ГИС Maps.ie; архива сайта Meteo7.ru

ВАИ, Черёмушки, пос. Отрадное и с. Бабяково, а также крупная нефтебаза «Воронежнефтепродукт». Численность населения составляет более 25 тыс. чел.

По приведённому выше алгоритму рассчитали численность населения, которое подвергается потенциальному риску в условиях реализации сценария Л-1 при различном направлении ветра. Для этого карту, предоставленную ГИС Maps.ie, делили на 4 сектора, соответствующих юго-западному (ЮЗ), северо-

ро-западному (СЗ), северо-восточному (СВ) и юго-восточному (ЮВ) направлениям ветра. В выделенных секторах определяли количество населения (табл. 4).

Итак, в зоне отравления аммиаком тяжёлой степени пострадает больше людей, если токсичные облака будут двигаться в СВ и ЮВ направлениях. Второму и третьему уровням риска подвержено большинство населения, проживающее в СВ и СЗ направлениях от источника аммиака.

Таблица 4 / Table 4

Количество населения в зонах токсической опасности при реализации сценария выброса аммиака в экстремальных климатических условиях / The number of people in potential risk zones in the implementation of the ammonia emission scenario in extreme climatic conditions

Уровень риска	Концентрация аммиака в воздухе, мг/м ³	Количество населения, подвергающегося риску в секторе направления ветра				Критическое воздействие аммиака
		СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ	
I	J	36645	349015	165213	60293	Обратимое раздражение
II	≥112	25707	107779	81030	39510	В большинстве случаев обратимое раздражение
III	≥786	5829	3002	18507	10756	Возможна мгновенная смерть

Источник: составлено авторами с применением ГИС Maps.ie

Перенести хранилища АХОВ в менее населённые районы — сложное и дорогостоящее мероприятие. Поэтому для снижения потенциального риска возможно только строительство достаточно высоких защитных стен вокруг хранилища, предотвращающих рассеивание АХОВ за счёт подавления воздействия ветра; установление на территориях хранилищ автоматических форсунок для распыления воды.

Апробацию используемого подхода прогнозирования токсической опасности для населения при выбросах АХОВ при разгерметизации 10-тонной цистерны аммиака по понятным причинам провести невозможно. Для подтверждения правильности оценки производили расчёт распространения облака аммиака от утечки на трубопроводе «Тольятти-Одесса», произошедшей в июне 2015 г. на территории Терновского района Воронежской области. Расчётные и известные из открытой печати сведения об аварии показали хорошую сходимость [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из результатов моделирования распространения облака аммиака следует, что вид аварии (утечка или выброс), а также погодные условия играют решающую роль при распространении токсичного облака. В случае наилучшего сценария аварии на предприятии «Воронежсинтезкаучук» (тёплая солнечная погода, скорость ветра ~2 м/с, класс устойчивости атмосферы В), максимальный радиус зоны распространения облака составит 8,9 км, при этом потенциальному риску подвергается здоровье более 660 тысяч жителей города.

При оценке токсических рисков для населения г. Воронежа были показаны возможности программы ALOHA для прогнозирования последствий техногенных катастроф, связанных с утечками и выбросами токсичных соединений. Из преимуществ этой программы надо отметить возможность моделирования многих сценариев выброса (распространения облаков токсичных газов, факельных по-

жаров, взрывов паровых облаков, пожаров в лужах) и оценки разных типов опасности (токсичности, воспламеняемости, теплового излучения и избыточного давления).

Программа способна минимизировать ошибки прогнозирования при вводе данных, т. к. перепроверяет входные значения и предупреждает пользователя, если значение маловероятно или физически невозможно. На сегодняшний день собственная библиотека ALOHA насчитывает более тысячи химических веществ, поэтому пользователям не надо вводить большой блок данных о свойствах исследуемых токсикантов. Программа способна генерировать выходные данные как в текстовом, так и графическом варианте. Она не только создаёт схемы зон угроз, изменения силы источника во времени, но и даёт подробные описания к ним, выносит рекомендации о необходимости учёта пользователем дополнительных сценариев (возможности взрыва и пожара при заданных условиях, конденсации паров токсиканта).

Интеграция программы ALOHA и технологий ГИС позволяет в сжатые сроки получить представление о численности населения, требующего срочной эвакуации в случае техногенной аварии. Поскольку ветер даже в очень короткие интервалы времени меняет своё направление, необходимо заранее оценить угрозу для населения в разных направлениях от хранилища АХОВ с целью обеспечения эффективной готовности и своевременной эвакуации людей.

Развитие этого исследования с использованием большего перечня сценариев по погодным и техническим параметрам хранения различных АХОВ может быть использовано в качестве готового электронного руководства для лиц, принимающих решения о снижении последствий техногенной аварии на химически опасных объектах. Применяемые в программе подходы к оценке метеорологических и технических условий не противоречат российским нормативным документам. Открытый доступ, обучение, удобство интерфейса, исключение ошибок при вводе параметров позволяют рекомендовать программу ALOHA для широкого круга пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапова Е. А., Сумской С. И. Аналитический обзор математических моделей распространения облаков тяжелых газов // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 5. С. 23–31. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-23–31.
2. Аксаков А. В. Моделирование распространения выбросов опасных веществ с облаками горячего газа в условиях промышленной и городской застройки // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2004. № 1. С. 46–52.
3. Бояршинов М. Г., Балабанов Д. С. Перенос и рассеяние воздушным потоком тяжелого газа, эмитированного точечным источником // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2010. № 3. С. 72–84.
4. Галеев А. Д., Кузнецов К. М., Поникаров С. И. Проверка математической модели распространения двухфазного выброса аммиака // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 17 (22). С. 364–366.
5. Дмитриева В. А., Сушков А. И. Температурный режим Воронежской области в условиях меняющегося климата // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 2. С. 56–63. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63.
6. Заболотников Г. В., Веселкин М. Г. Использование международных авиационных метеорологических кодов METAR (SPECI) и TAF. СПб: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2006. 22 с.
7. Идентификация факторов риска при производстве синтетического каучука / Ю. И. Степкин, Н. П. Мамчик, Л. М. Ищенко, О. В. Каменева, Е. П. Гайдукова, В. И. Каменев // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 9. С. 33–35.
8. Иноземцев В. А., Серебренников Б. В. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Вестник Академии военных наук. 2018. № 2 (63). С. 161–170.
9. Исаев В. С. Аварийно химически опасные вещества (АХОВ). Методика прогнозирования и оценки химической обстановки. М.: Военные знания, 2012. 54 с.
10. Кочетова Ж. Ю., Маслова Н. В., Базарский О. В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда: монография. М.: ИНФРА-М, 2022. 266 с.
11. Кочетова Ж. Ю., Шишкин А. В., Внукова С. В., Тронин А. Л. Программное обеспечение для моделирования распространения облака аммиака при разгерметизации трубопровода / Физические основы наукоемких технологий. Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Воронеж: ВГЛУ, 2024. С. 56–62.
12. Малькова И. Л., Петров Д. В. Территориальный анализ канцерогенного риска здоровью населения г. Ижевска // Наука Удмуртии. 2021. № 1. С. 37–42.
13. Методы расчёта полей концентрации токсичных веществ и токсидоз при авариях на опасных химических объектах / А. В. Ильющенок, Н. С. Лешенюк, В. С. Отчик, В. М. Попов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013. Т. 2. № 18. С. 109–117.
14. Панасенко К. Н., Губриенко О. А. Анализ причин аварий на потенциально опасных химических объектах при использовании аммиака на предприятиях // Форум молодых ученых. 2022. № 5. С. 286–289.
15. Попова И. В., Куролап С. А. Анализ микроклимата городской среды: сборник научных статей «Экологическая оценка и картографирование состояния городской среды». Воронеж: Цифровая полиграфия, 2014. 167 с.
16. Применение программного обеспечения ALOHA в оценках пожарного риска / Ж. Н. Саласар, А. К. Чибас, А. В. Краснов, Ю. А. Гарсия, Л. Г. Абреу // Нефтегазовое дело. 2019. № 4. С. 56–70. DOI: 10.17122/ogbus-2019-4-56-70.
17. Середа Л. О., Яблонских Л. А., Куролап С. А. Мониторинг эколого-геохимического состояния почвенного покрова города Воронежа // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 2. С. 66–73. DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.2.8.
18. Чалых М. В., Разиньков Н. Д. О некоторых особенностях обеспечения пожарной безопасности технологической линии ТЭП-50 на ОАО «Воронежсинтезкаучук» и возможностях уменьшения пожарного риска // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1. С. 17–21.
19. Шатров А. В., Шварц К. Г. Численное моделирование атмосферных мезомасштабных процессов переноса примесей в окрестности города Кирова // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. Т. 3, № 3. С. 117–125.
20. Characteristics and prevention of road transport Liquefied Natural Gas (LNG) accidents / Junwei Zeng, Min Wang, Yufei Liu, Qian Yong-sheng // Advanced Forum on Transportation of China. 2011. DOI: 10.1049/cp.2011.1408.
21. Maruta M., Kułynycz V. ALOHA – modern tool for modeling the risks associated with the spread of volatile pollutants in extraction of hydrocarbons // AGH Drilling Oil Gas. 2016. № 33. P. 315–322. DOI: 10.7494/drill.2016.33.2.315.

REFERENCES

1. Agapova E. A., Sumskey S. I. [Analytical review of mathematical models for the propagation of clouds of heavy gases]. In: *Bezopasnost truda v promyshlennosti* [Occupational safety in industry], 2017, no. 5, pp. 23–31. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-23-31.
2. Aksakov A. V. [Modeling of the spread of emissions of hazardous substances with clouds of hot gas in industrial and urban development]. In: *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Reports of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2004, no. 1 (9), pp. 46–52.
3. Boyarshinov M. G., Balabanov D. S. [Transfer and scattering by air flow of heavy gas emitted by a point source]. In: *Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics], 2010, no. 3, pp. 72–84.
4. Galeev A. D., Kuznecov K. M., Ponikarov S. I. [Verification of the mathematical model of the propagation of two-phase ammonia emission]. In: *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, no. 17 (22), pp. 364–366.
5. Dmitrieva V. A., Sushkov A. I. [Temperature regime of the Voronezh region in a changing climate]. In: *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology], 2023, no. 2, pp. 56–63. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/2/56-63.
6. Zabolotnikov G. V., Veselkin M. G. *Ispolzovanie mezhdunarodnykh aviacionnykh meteorologicheskikh kodov METAR (SPECI) i TAF* [The use of international aviation meteorological codes METAR (SPECI) and TAF]. St. Petersburg, Rossijskij gosudarstvennyj gidrometeorologicheskij universitet Publ., 2006, 22 p.
7. Stepkin Yu. I., Mamchik N. P., Ishchenko L. M., Kameneva O. V., Gaidukova E. P., Kamenev V. I. [Identification of risk factors in the production of synthetic rubber]. In: *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2015, vol. 94, no. 9, pp. 33–35.
8. Inozemcev V. A., Serebrennikov B. V. [On the protection of the population and territories from natural and man-made emergencies]. In: *Vestnik Akademii voennykh nauk* [Bulletin of the Academy of Military Sciences], 2018, no. 2 (63), pp. 161–170.
9. Isaev V. S. *Avarijno himicheski opasnye veshchestva (AHOV). Metodika prognozirovaniya i ocenki himicheskoy obstanovki* [Emergency chemical hazardous substances. Methods of forecasting and assessment of the chemical situation]. Moscow, Voennye znaniya Publ., 2012, 54 p.
10. Kochetova Zh. Yu., Maslova N. V., Bazarskij O. V. *Aviacionno-raketnye klasteri i okruzhayushchaya sreda: monografiya* [Aviation and missile clusters and the environment: monograph]. Moscow, IN-FRA-M Publ., 2022, 266 p.
11. Kochetova Zh. Yu., Shishkin A. V., Vnukova S. V., Tronin A. L. [Software for modeling the propagation of an ammonia cloud during pipeline depressurization]. In: *Fizicheskie osnovy naukoemkikh tekhnologij. Materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii* [The physical foundations of high-tech technologies]. Voronezh, VGLU Publ., 2024, pp. 56–62.
12. Malkova I. L., Petrov D. V. [Territorial analysis of carcinogenic risk to the health of the population of Izhevsk]. In: *Nauka Udmurtii* [Nauka Udmurtia], 2021, no. 1 (93), pp. 37–42.
13. Ilyushonok A. V., Leshenyuk N. S., Otchik V. S., Popov V. M. [Methods of calculating fields of concentration of toxic substances and toxidosis in accidents at hazardous chemical facilities]. In: *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus* [Bulletin of the Command Engineering Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus], 2013, vol. 2, no. 18, pp. 109–117.
14. Panasenko K. N., Gubrienko O. A. [Analysis of the causes of accidents at potentially hazardous chemical facilities when using ammonia at enterprises]. In: *Forum molodykh uchenykh* [Forum of Young Scientists], 2022, no. 5, pp. 286–289.
15. Popova I. V., Kurolap S. A. [Analysis of the microclimate of the urban environment]. In: *Sbornik nauchnykh statej «Ekologicheskaya ocenka i kartografirovaniye sostoyaniya gorodskoy sredy»* [Collection of scientific articles "Ecological assessment and mapping of the state of the urban environment"]. Voronezh, Cifrovaya poligrafiya Publ., 2014, 167 p.
16. Salasar Zh. N., Chibas A. K., Krasnov A. V., Garsiya Yu. A., Abreu L. G. [Application of ALOHA software in fire risk assessments]. In: *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo»* [Online publication "Oil and gas business"], 2019, no. 4, pp. 56–70. DOI: 10.17122/ogbus-2019-4-56-70.
17. Sereda L. O., Yablonskih L. A., Kurolap S. A. [Monitoring of the ecological and geochemical state of the Voronezh city soil cover]. In: *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of the Volgograd State University. Series: Natural Sciences], 2015, no. 2, pp. 66–73. DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.2.8.
18. Chalyh M. V., Razinkov N. D. [About some features of ensuring fire safety of the TEP-50 technological line at JSC Voronezhskintezkauchuk and the possibilities of reducing fire risk]. In: *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij* [Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies], 2015, no. 1, pp. 17–21.
19. Shatrov A. V., Shvarc K. G. [Numerical modeling of atmospheric mesoscale processes of impurity

- transfer in the vicinity of the city of Kirov]. In: *Vychislitel'naya mekhanika sploshnyh sred* [Computational mechanics of continuous media], 2010, vol. 3, no 3, pp. 117–125.
20. Junwei Zeng, Min Wang, Yufei Liu, Qian Yongsheng. Characteristics and prevention of road transport Liquefied Natural Gas (LNG) accidents. In: *Advanced Forum on Transportation of China*, 2011. DOI: 10.1049/cp.2011.1408.
21. Maruta M. Kułynycz V. ALOHA – modern tool for modeling the risks associated with the spread of volatile pollutants in extraction of hydrocarbons. In: *AGH Drilling Oil Gas*, 2016, no. 33 (2), pp. 315–322. DOI: 10.7494/drill.2016.33.2.315.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шишкин Алексей Викторович – адъюнкт кафедры радиотехнических систем (и средств обеспечения полётов) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»;
e-mail: tehchast55@mail.ru

Кочетова Жанна Юрьевна – доктор географических наук, доцент кафедры радиотехнических систем (и средств обеспечения полётов) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»;
e-mail: zk_vva@mail.ru

Кузнецов Илья Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, начальник кафедры гидрометеорологического обеспечения Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»;
e-mail: vaiumet@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey V. Shishkin – Adjunct, Department of Radio Engineering Systems (and Flight Support Equipment), Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy»; branch, Chelyabinsk;
e-mail: tehchast55@mail.ru

Zhanna Yu. Kochetova – Dr. Sci. (Geography), Assoc. Prof., Department of Radio Engineering Systems (and Flight Support Equipment), Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy»;
e-mail: zk_vva@mail.ru

Ilya E. Kuznecov – Dr. Sci. (Engineering), Prof., Departmentally Head, Department Hydrometeorological Support, Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy»;
e-mail: vaiumet@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Шишкин А. В., Кочетова Ж. Ю., Кузнецов И. Е. Прогнозирование уровней токсической опасности при выбросах аммиака на химическом производстве в различных метеорологических условиях (на примере АО «Воронежсинтезкаучук») // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 97–113.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-97-113

FOR CITATION

Shishkin A. V., Kochetova Zh. Yu., Kuznecov I. E. Forecasting toxic hazard levels for ammonia emissions in chemical production under various meteorological conditions (using the example of Voronezhskintezkauchuk JSC). In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 97–113.
DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-97-113

Научная статья
УДК 911.3:33

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ АРАБСКИХ СТРАН В ПЕРВЫЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ XXI В.

© СС ВУ Лобжанидзе А. А.¹, Лопатников Д. Л.², Роготень Н. Н.³, Шехадех Ш.⁴

¹ Московский педагогический государственный университет,
119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1, Российская Федерация
e-mail: alobjanidze@yandex.ru, ORCID 0009-0006-9603-066X

² Институт географии Российской академии наук
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, Российская Федерация
e-mail: imartos@mail.ru, ORCID 0000-0001-8873-6140

³ Московский педагогический государственный университет,
119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1, Российская Федерация
e-mail: nn.rogoten@mpgu.su, ORCID 0009-0006-8657-273X

⁴ Московский педагогический государственный университет,
119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1, Российская Федерация
e-mail: shakira.shekhadekh@gmail.com, ORCID 0009-000-66216099

Поступила в редакцию 22.01.2025

После доработки 02.03.2025

Принята к публикации 10.03.2025

Аннотация

Цель. Выявить уровень продовольственной обеспеченности Арабских стран на базе системного экономико-географического анализа, определить основные факторы, порождающие проблемы обеспечения продовольствием населения выбранной группы государств.

Процедура и методы. В ходе исследования были применены различные географические методы: картографический, историко-географический, сравнительно-географический, экономико-статистический, а также элементы системного анализа. Дифференциация Арабских стран по состоянию продовольственной ситуации проводилась методом кластерного анализа. На базе большого массива статистических данных рассчитан индекс доступности продовольствия (Food Availability Index – FAI) для Арабских стран, показавший широкий диапазон продовольственной обеспеченности, а сравнительно-географический и факторный анализ позволили объяснить базовые причины дифференциации стран по уровню продовольственной обеспеченности. Для построения картографических материалов и диаграмм, отражающих основные результаты работы, использованы программы ArcGIS, Adobe Illustrator, QGIS-карты, Microsoft Excel.

Результаты. Показано, что большинство Арабских стран в первые два десятилетия XXI в. имели серьёзные проблемы с продовольственной обеспеченностью. Наиболее острые – в государствах, где не стихают военные конфликты, прежде всего в Йемене, Сирии, Судане. В силу объективных причин (нехватка пресной воды, дефицит плодородных земель, незрелость существующих производительных сил и производственных отношений) ключевым фактором для большинства стран группы является отставание производства продовольствия от потребительского спроса. В Арабском регионе отмечаются разнонаправленные процессы в обеспечении продовольствием: в охваченных конфликтами странах и странах с низким уровнем доходов растёт недоедание (Ирак, Мавритания, Марокко, Судан), в странах с высоким и средним уровнем доходов всё большую озабоченность вызывает проблема ожирения (Кувейт, ОАЭ, Саудовская Аравия). Международная торговля продовольствием, её объёмы, во многих случаях детерминирована политическими мотивами, а не экономическими и коммерческими факторами. В ходе анализа выявлены наиболее эффективные пути по преодолению проблем продовольственной обеспеченности Арабских стран.

Теоретическая и/или практическая значимость. Обобщён новый материал по исследуемой теме и сформулированы предложения по достижению продовольственной обеспеченности

как основы экономической безопасности стран. Показано, что продовольственная безопасность и продовольственная обеспеченность стран региона мозаична в широком диапазоне и детерминирована большим спектром экономических, социальных и геополитических факторов. Помимо традиционных проблем недоедания и в экстремальных случаях — голода, всё большее значение приобретает проблема переизбытка и ожирения, что является относительно новым явлением в арабском мире. Проведённое исследование способствует лучшему пониманию экономического и геополитического взаимодействия России с Арабскими странами.

Ключевые слова: продовольственная проблема, недоедание, развивающиеся страны, Арабский Восток

Благодарность. Исследование выполнено на базе Института географии РАН в рамках госзадания «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы» № 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-114-130

Original Article

FOOD SECURITY OF THE POPULATION OF ARAB COUNTRIES IN THE FIRST DECADES OF THE 21ST CENTURY

© CC BY A. Lobzhanidze¹, D. Lopatnikov², N. Rogoten³, Sh. Shehadeh⁴

¹ Moscow Pedagogical State University

Malaya Pirogovskaya ul. 1-1, Moscow 119435, Russian Federation

e-mail: alobzhanidze@yandex.ru, ORCID 0009-0006-9603-066X

² Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences

Staromonetnyi per. 29, Moscow 119017, Russian Federation

e-mail: imartos@mail.ru, ORCID 0000-0001-8873-6140

³ Moscow Pedagogical State University

Malaya Pirogovskaya ul. 1-1, Moscow 119435, Russian Federation

e-mail: nn.rogoten@mpgu.su, ORCID 0009-0006-8657-273X

⁴ Moscow Pedagogical State University

Malaya Pirogovskaya ul. 1-1, Moscow 119435, Russian Federation

e-mail: shakira.shekhadekh@gmail.com, ORCID 0009-000-66216099

Received 22.01.2025

Revised 02.03.2025

Accepted 10.03.2025

Abstract

Aim. To identify the level of food security of Arab countries on the basis of system economic and geographical analysis, to determine the main factors causing the problems of food security of the population of the selected group of states.

Methodology. Various geographical methods were applied in the course of the study: cartographic, historical-geographical, comparative-geographical, economic-statistical, as well as elements of system analysis. The differentiation of Arab countries in terms of food situation was carried out by cluster analysis. The Food Availability Index (FAI) for Arab countries was calculated on the basis of a large set of statistical data, showing a wide range of food availability, while comparative-geographical and factor analyses helped to explain the basic reasons for the differentiation of countries in terms of food availability. ArcGIS, Adobe Illustrator, QGIS-maps, and Microsoft Excel programmes were used to construct cartographic materials and charts reflecting the main results of the work.

Results. It is shown that the majority of Arab countries in the first two decades of the XXI century had serious problems with food security. The most acute ones are in the states where military conflicts do not subside, first of all in Yemen, Syria and Sudan. Due to objective reasons (lack of fresh water, shortage of fertile land, immaturity of existing productive forces and production relations), the key factor for most countries of the group is the lag between food production and consumer demand. In the Arab region there are multidirectional processes in food supply: malnutrition is increasing in conflict-ridden and low-income countries (Iraq, Mauritania, Morocco, Sudan), while

obesity is a growing concern in high- and middle-income countries (Kuwait, UAE, Saudi Arabia). International food trade and its volumes are in many cases determined by political motives rather than economic and commercial factors. The analysis reveals the most effective ways to overcome the problems of food security in Arab countries.

Research implications. New material on the topic under study is summarized and proposals for achieving food security as the basis of economic security of countries are formulated. It is shown that food security and food security of the countries of the region is mosaic in a wide range and is determined by a large spectrum of economic, social and geopolitical factors. The conducted research has both theoretical and practical significance, in particular for a better understanding of Russia's economic and geopolitical interaction with the Arab countries.

Keywords: food problem, malnutrition, developing countries, Arab East

Acknowledgments. The study was carried out on the basis of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences within the framework of the state task "Socio-economic space of Russia in the context of global transformations: internal and external challenges" No. 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-114-130

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение продовольствием — вопрос первостепенной важности для Арабских стран, имеющих разный уровень экономического развития. Доступные данные ФАО и Всемирного банка, источники на русском, английском и арабском языках, дополнительные индикаторы ситуации (зависимости от импорта пшеницы и индексу логистической поддержки) позволили провести анализ и выявить взаимосвязи между двумя базовыми показателями продовольственной безопасности по методике ФАО (недоедание и ожирение) и уровнем доходов населения в Арабских странах.

«Продовольственная безопасность» и «продовольственная обеспеченность» — не тождественные понятия. Продовольственная обеспеченность — это реальный рынок продуктов, доступный населению на регулярной основе и по приемлемым ценам [7]. В этой связи государство должно располагать запасами продовольствия для обеспечения своей политической и экономической независимости. Обеспечение не равно самообеспечению, поэтому продовольственные запасы при необходимости могут восполняться за счёт импорта. Продовольственная безопасность служит основой национальной безопасности и имеет важное значение для экономической, политической и социальной стабильности.

Продовольственная обеспеченность Арабских стран зависит от большого количества факторов, среди которых: агроклиматические и водные ресурсы, демографические характе-

ристики населения, общий уровень социально-экономического развития страны, позиции на внутриаарабском и мировом рынках продовольствия, геополитическая обстановка в регионе или стране. «Вес» различных факторов в провоцировании проблем голода и недоедания менялся, но главными из них были и остаются военные конфликты. Продовольственная обеспеченность Арабских стран в последние десятилетия в большей степени зависела от геополитического фактора. В условиях глобализации и формирования глобального рынка продовольствия для большей части Арабских стран геополитическая обстановка выступала главным фактором, детерминирующим уровень продовольственной безопасности и обеспеченности.

В качестве статистической и информационной базы исследования послужили материалы и аналитические отчёты Арабской организации сельскохозяйственного развития (АОСР), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Всемирной продовольственной программы (ВПП), Детского фонда ООН, Комитета ООН по всемирной продовольственной безопасности (КВПБ), Международного фонда сельскохозяйственного развития (МФСР), Экономической и социальной комиссии для Западной Азии (ЭСКЗА) и других профильных международных организаций [8].

Дифференциация Арабских стран по состоянию продовольственной ситуации проводилась методом кластерного анализа. На базе большого массива статистических данных

рассчитан индекс доступности продовольствия для Арабских стран, показавший широкий диапазон продовольственной обеспеченности, а сравнительно-географический и факторный анализ позволили объяснить базовые причины дифференциации стран по уровню продовольственной обеспеченности.

УРОВЕНЬ РАСПРОСТРАНЁННОСТИ НЕДОЕДАНИЯ В АРАБСКИХ СТРАНАХ

В Арабском мире существует большой разрыв в уровне продовольственной обеспеченности стран. В последние два десятилетия он определяется, прежде всего, вовлечённостью / невовлечённостью в военные конфликты и уровнем политической стабильности в государствах.

Уровень недоедания в неконфликтных странах с 2000 г. колебался от 5 до 8% и с тех пор имеет тенденцию к снижению. Этот уровень примерно в 2–3 раза выше, чем в большинстве развитых стран, где недоедание обычно составляет менее 2,5% [4; 5]. Голод в конфликтных странах был намного выше, чем в неконфликтных, порядка 24–30%, и имел тенденцию к снижению до 2016 г., после чего начал расти (рис. 1).

Распространённость недоедания в регионе представляет собой средневзвешенное по населению значение двух рядов для конфликтных и неконфликтных стран. Средняя распространённость недоедания в 2017–2019 гг. составляла 12,2%, что немного больше, чем в 2014–2016 гг. Рост этого показателя был вызван почти исключительно увеличением распространённости недоедания в Арабских странах конфликта, также показан прогноз ФАО распространённости недоедания для Арабского региона, для конфликтных и неконфликтных стран, основанный на текущих тенденциях. Прогнозируется, что все 3 показателя будут увеличиваться до 2030 г., при этом распространённость в конфликтных странах возрастет с 25 до 30% [13].

Абсолютное число недоедающих в Арабском регионе неуклонно растёт с 2015–2017 гг., и, по прогнозам, эта тенденция сохранится в будущем с 51 млн в 2017–2019 гг. до 75 млн к 2028–2030 гг., при этом 92% прироста в 2017–2019 гг. наблюдалось в конфликтных странах [4].

Распространённость недоедания имеет тенденцию к снижению в 9 из 13 перечисленных стран. Ирак и Судан являются единственными конфликтующими странами, которые, по мнению ФАО, располагают достаточно на-

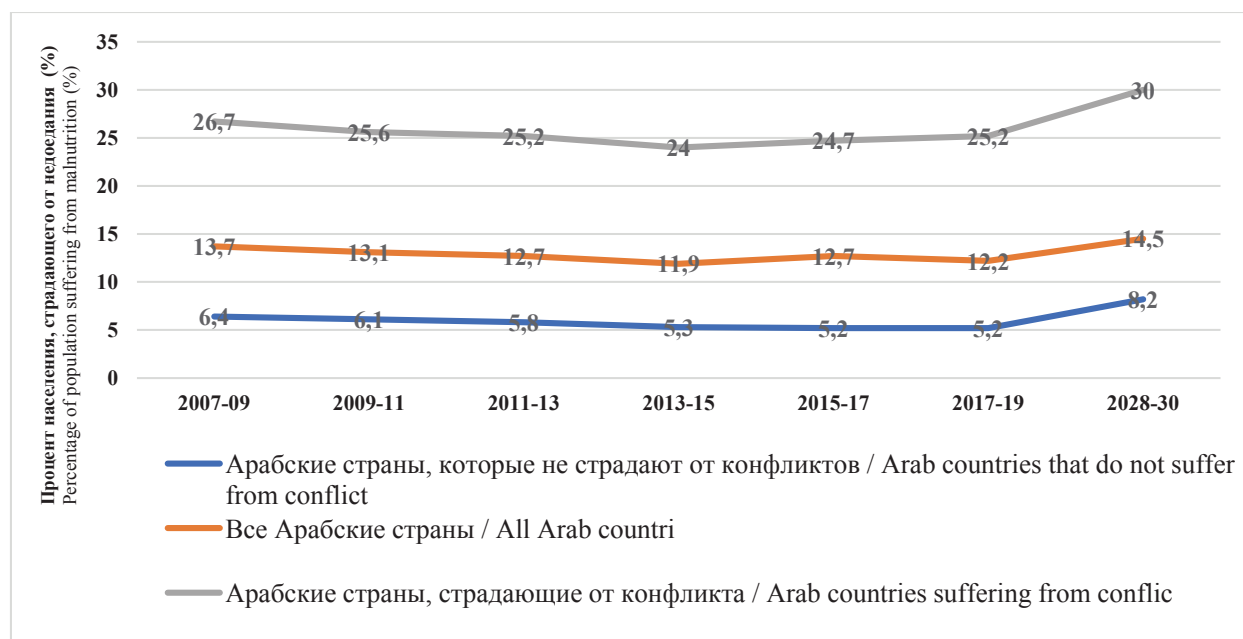


Рис. 1 / Fig. 1. Распространение недоедания в Арабском регионе с 2000 по 2019 гг. и прогноз до 2030 г. / Prevalence of undernutrition in the Arab region, 2000 to 2019 and forecast until 2030

Источник: составлено авторами по: Глобальный индекс продовольственной безопасности 2022: [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3MzcpB> (дата обращения: 18.01.2025)

дѣжными данными для публикации оценок недоедания, причѣм в обеих странах наблюдалось снижение до 2014–2016 и 2015–2017 гг. соответственно, после чего последовал рост. Другие страны, в которых недоедание имеет тенденцию к росту — Мавритания и Марокко. Из неконфликтных стран Египет, самая густонаселенная в регионе, демонстрирует тенденцию к снижению недоедания до 2015–2017 гг., после чего цифры выравниваются. Из-за большой численности населения (36% от общей численности населения неконфликтных стран в 2020 г.) тенденция в Египте оказала большое влияние на общую тенденцию для неконфликтных стран.

В целом, пока Арабский регион не находится на пути к достижению задачи 2.1 ЦУР ООН и искоренению голода.

РАСПРОСТРАНѢННОСТЬ УМЕРЕННОЙ ИЛИ ТЯЖѢЛОЙ СТЕПЕНИ ОТСУТСТВИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ШКАЛЫ ОПЫТА ОТСУТСТВИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Среднее отсутствие продовольственной безопасности в арабском регионе, основанное на шкале опыта отсутствия продовольственной безопасности, демонстрирует модель, аналогичную модели распространѢнности недоедания: рост с 2014–2016 гг., за которым следует небольшое снижение. Начиная с 2014 г. распространѢнность как острой, так и умеренной или тяжелой формы отсутствия продовольственной безопасности в конфликтных странах росла каждый год. В неконфликтных странах уровень отсутствия продовольственной безопасности увеличился после 2014–2016 гг., а затем несколько снизился. Таким образом, тенденции отсутствия продовольственной безопасности, как острой, так и умеренной или тяжелой, в регионе примерно соответствуют тенденциям недоедания.

Региональные традиции и национальные нормы питания имеют существенные различия, но общим моментом является тот факт, что в основе лежат зерновые культуры. В случае стран арабского мира это в первую очередь пшеница. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН для оценки уровня продовольственной безопасности

предложила и использует такой критерий, как переходящие запасы зерна и уровень его производства (выращивания) на душу населения. Для безопасного уровня необходимо располагать запасами зерна не менее 17% от его годового потребления и производство не менее 1 т/чел. в год [6]. Реальная ситуация показывает, что указанных норм для обеспечения продовольственной безопасности крайне недостаточно.

Как показывает опыт Арабских стран, высокий уровень продовольственной обеспеченности и продовольственной безопасности, достигается за сѣт 2 важных факторов: достаточного самообеспечения продуктами питания и наличия средств и возможностей импорта продовольствия в требуемых количествах. Примером могут служить самые богатые Арабские страны — Королевство Саудовская Аравия (КСА). Для 3 других арабских субрегионов, стран Совета сотрудничества арабских государств Персидского залива (ССАГПЗ), Северной Африки (Алжир, Египет, Ливия, Марокко, Тунис) и Судана, характерны различные стратегии аграрной политики в части роста объемов сельскохозяйственного производства и возможностей импорта продовольствия. Например, в первой группе стран отмечается 100% зависимость от импорта зерновых, но доходы от экспорта углеводородов позволяют без проблем покрывать такие расходы на продовольствие. На закупку необходимых объемов продовольствия Бахрейн тратит 10% экспортной выручки, Оман — 9%, Кувейт и Саудовская Аравия — по 8%, ОАЭ и Катар — 5 и 4%, соответственно [2].

Страны *Северной Африки* имеют другую модель включения в мировой рынок аграрной продукции. Как и в целом по арабскому региону, в данной группе стран очень высокая зависимость от импорта зерна, но при этом она ниже, чем в странах ССАГПЗ и обходится дороже. Например, Египет тратит на закупку продовольствия более 40% своих экспортных доходов.

Вполне успешное, благодаря экспорту нефти, развитие экономики единого Судана после распада страны в 2011 г. сменилось экономическим кризисом, резким ухудшением положения населения и ростом зависимости от импорта зерна до 24% [2].

Анализ данных показал, что для Арабских стран характерна схожая структура закупок

сельскохозяйственной продукции. Максимальный удельный вес приходится на поставки зерновых культур и в первую очередь пшеницы. Например, в странах Северной Африки на её долю приходится в среднем 1/5 часть импорта сельскохозяйственных товаров: Алжир — 22,4%, Тунис, Египет и Марокко — 20%, 19% и 17% соответственно [1; 3]. Вторая позиция сельскохозяйственного импорта представлена кукурузой и соевыми бобами. Исключением является Алжир, где второе место занимает молочная продукция, и в целом Алжир занимает третье место в мире по закупкам молока и сливок. Во всех странах региона с начала 2000-х годов зависимость потребления от импорта зерна и объёмы его закупок существенно выросли (в среднем на 20%).

Поскольку регион не очень подходит для разведения крупного рогатого скота, то в странах ССАГПЗ исторически сложились низкие нормы потребления мяса, а объёмы его потребления считаются основным условием улучшения питания населения. В настоящее время общее производство мяса составляет около 6 млн т/год. Страны региона стараются удовлетворять спрос за счёт внутреннего производства. Все страны, за исключением Катар и ОАЭ, за последние 15 лет увеличили самообеспеченность мясом. Наибольших успехов в этом отношении добились: Саудовская Аравия, в которой спрос на мясо крупного и мелкого рогатого скота и птицы на 58% обеспечивается самостоятельно; Кувейт и Бахрейн, где самообеспеченность составляет 39 и 37%, соответственно, Оман — 30%. За этот же период в Катаре самообеспеченность мясом снизилась с 28 до 12%, а в ОАЭ — с 20 до 9%. По оценкам ФАО, в Северной Африке самые высокие показатели потребления мяса в Марокко — 34 кг/чел./год, затем следуют Египет, Тунис и Алжир — 31, 28 и 20 кг соответственно [2].

В качестве обобщающего показателя перечисленных изменений можно использовать калорийность суточного рациона питания. В мире с 1950 г. по настоящее время она повысилась с 2 358 до 2 920 ккал, в развитых — с 3 060 до 3 380 ккал, в развивающихся странах — с 1 840 до 2 460 [1]. К 2050 г. потребление может возрасти до 3 120 ккал/душу/сут. [16; 17]. При этом развивающиеся страны могут наращивать потребление в 5–6 раз быстрее, чем развитые страны, что приведёт к сокращению

разрыва уровня потребления. В Арабском регионе уже к 2030 г. среднесуточное потребление калорий может составить 3 170 ккал (при среднем показателе по развивающимся странам в 3 020 ккал). Согласно прогнозам, рост калорийности питания будет обеспечен увеличением потребления мяса (+60%), молока и молочных продуктов (+23%) [19; 20].

Но эти, казалось бы, позитивные изменения в калорийности и структуре питания населения региона не снимают проблемы недоедания и усугубляют переизбыток. Распространённость недоедания (пищевая депривация) оценивается через долю населения, чьё потребление пищи недостаточно для нормальной, активной и здоровой жизни. Ситуация в странах региона различается. На начало третьего десятилетия XXI в. в Сомали фиксировалась самая высокая доля голодающего населения, в то время как самая низкая — в Алжире. Другой полюс занимают арабские страны с высокой долей населения, страдающего от ожирения (переизбытка). Самая высокая доля населения с проблемами обмена веществ отмечается в Кувейте, а самая низкая, что логично и коррелируется с данными по недоедающим, — в Сомали. Статистика по импорту пшеницы показывает максимальную зависимость для ОАЭ и минимальную для Сирии (причём до событий «арабской весны» это было единственное арабское государство, полностью обеспечивавшее себя пшеницей и имевшее возможность поддерживать соседей по региону). Информация по импорту зерновых недоступна по Катару, Оману и Ливии.

Показатели недоедания и ожирения тесно связаны с уровнем доходов населения. Среди Арабских стран самый высокий уровень доходов имеют государства Персидского залива: ОАЭ, Саудовская Аравия, Катар, Бахрейн, Кувейт и Оман; доходы выше среднего — Ирак, Ливия и Иордания; ниже среднего — Марокко, Египет, Ливан, Мавритания, Тунис, Алжир и Палестинские территории; низкий уровень — Сирия, Йемен, Судан.

Минимальные показатели недоедания в 2021 г. фиксировались для государств Персидского залива, Арабского Магриба и Египта — менее 10% недоедающих при среднем потреблении более 3 500 ккал/чел/сут. Следующая группа стран со средней долей недоедающих в 10–20% при калорийности питания 2500–3000 ккал/чел/сут. — Ирак, Иордания, Судан

и Мавритания. Самые высокие показатели доли недоедающего населения (более 25%) при низкой калорийности рациона (менее 2000) характерны для Сирии и Йемена, (голодающих до 50% населения) [9; 10; 14].

Основными причинами острого недоедания и нехватки продовольствия являются высокие цены на продукты питания при сокращении источников дохода и возможностей трудоустройства, продолжающиеся военные конфликты, усиливающие общую социально-экономическую нестабильность. Средний душевой доход в Сирии, Судане и Йемене составляет менее 1 000 долл./год и считается самым низким доходом среди арабских стран. По мере обострения экономического кризиса многие семьи всё чаще прибегают к получению гуманитарной помощи и становятся зависимыми от неё. К этой ситуации следует добавить высокий уровень задолженности населения, который, в свою очередь, подвергает семью высокому риску, поскольку любые внезапные потрясения приводят к резкому падению уровня продовольственной безопасности и недоедание достигает критического уровня [10]. В свою очередь, с недоеданием связаны различные заболевания (повышенная детская смертность и метаболический импринтинг в детстве), что приводит к долгосрочным проблемам развития. Недоедание, таким образом, отражает доступ к продовольствию и общую продовольственную безопасность.

Ещё одна проблема региона парадоксальным образом связана с революционными положительными изменениями в экономике и образе жизни арабских стран, таких как: серьёзные успехи в развитии промышленности (в т. ч. благодаря облегчению доступа к дешёвой рабочей силе мигрантов) и росте доходов населения, связанной с этими процессами ускоренной урбанизацией, улучшением условий жизни и увеличением мобильности населения. По оценкам Всемирного банка, в 2022 г. страной арабского мира, больше всего страдающей от «болезней цивилизации» (ожирения), был Кувейт. Очевидна корреляция между уровнем доходов населения и распространённостью проблемы ожирения. Катар, Кувейт и КСА — страны с самым высоким уровнем доходов населения, входят в число лидеров по уровню ожирения населения — более 30%, что даже выше, чем в ряде развитых стран (например, в Великобритании — 26%),

столкнувшихся с этой проблемой гораздо раньше. Судан и Йемен, как самые низкодоходные в регионе, имеют уровень ожирения менее 11%.

Вестернизация в Арабских странах привела, прежде всего, к большей доступности продуктов с высоким содержанием жиров и углеводов. В Ливане школьники отказываются от традиционного питания (зерновые, овощи и фрукты) в пользу питания, в основном состоящего из фастфуда [4; 14]. Культурные особенности и традиции могут ещё больше усугубить проблему ожирения. Например, в Саудовской Аравии и Кувейте увеличение потребления пищи является частью процесса социализации, который обычно основан на больших собраниях, где разделяют традиционные блюда, состоящие из риса (с высоким содержанием углеводов) и мяса (с высоким содержанием жира) [14]. Несмотря на то, что люди в Бахрейне едят свежие фрукты 3 раза в неделю, они также едят фастфуд во время просмотра телевизора. Это повышает риски ожирения [16].

Уровень доступного в стране продовольствия оценивается через количество калорий, которое ежедневно получает каждый среднестатистический человек, а запасы продовольствия через простейшую формулу: (производство + импорт) — экспорт. В Арабском регионе показатель потребления продовольствия выше, чем в среднем по миру, но вместе с тем различия между странами существенные. Во втором десятилетии динамика калорийности питания в субрегионах Арабских стран сильно различалась. Например, в наименее развитых государствах прирост калорийности был самым высоким — +7%, в странах Совета сотрудничества арабских государств Персидского залива — +5%, со средним уровнем доходов или имеющих конфликты на своей территории — оставался без изменений или незначительно снижался. Максимальное снижение было зафиксировано в Иордании (-10%), Йемене (-5%), Ливане (-4%) и Египте (-3%) [14].

ФАО при оценке состояния продовольственной обеспеченности в качестве одного из главных показателей рассматривает производство и потребление пшеницы — основного источника питания для большей части населения планеты, включая Арабские страны. Посевные площади региона, отведённые под

пшеницу, составляют примерно 30% от общей пашни, занятой зерновыми. В структуре сборов на долю пшеницы приходится около 48%.

Из общих объёмов сборов (в среднем чуть более 50 млн т/год) около 44% обеспечивают всего 5 стран региона: Египет — 18% (9,2 млн т), Марокко — 11%, Алжир — 6%, Ирак — около 6% и Сирия с 3% [12; 15].

Зависимость от импорта пшеницы, выраженная в процентах, служит индикатором её доступности и показывает степень зависимости от импорта пшеницы для внутреннего снабжения продовольственного сектора стран. Расчёт индикатора осуществляется по формуле:

$$\frac{(\text{Импорт} - \text{Экспорт})}{(\text{Производство} + \text{Импорт} - \text{Экспорт})} \times 100$$

Отрицательные значения указывают, что страна является нетто-экспортёром пшеницы. Чем меньше зависимость от импорта пшеницы, тем более устойчивая продовольственная ситуация в стране. Средняя самообеспеченность пшеницей для стран региона составляет около 42%, при этом наилучшие показатели демонстрируют Сирия и Египет, где фиксируется самый низкий уровень зависимости от импорта пшеницы — менее 35 и 50% соответственно [17]. В то же время в Йемене, Иордании и странах Персидского залива зависимость от импорта пшеницы превышает 90%. Для стран Магриба их зависимость от импорта пшеницы оценивается как умеренная: Алжир — 72%, Тунис — 61% и Марокко 52%. К средnezависимым можно отнести Ирак, где импорт пшеницы немного превышает 50%.

При доле населения арабского мира в 5% от общей численности планеты, оно потребляет более 25% мирового экспорта зерна. Уровень дефицита производства пшеницы (разница между потреблением и производством) в Арабских странах составляет 57% и колеблется от менее 1 млн т в Ираке и Марокко до более 8 млн т в Египте и Алжире. Хлеб служит наиболее важным элементом ежедневного рациона арабского населения. Чем ниже доход, тем выше расходы на продукты питания, т. е. беднейшие страдают больше всего. Расходы на продукты питания составляют значительную долю из бюджета домохозяйств региона. Домохозяйства Туниса тратят на продукты питания около 36% своего бюджета, Египта — 38%,

Марокко, Алжира и Иордании — более 40%. В богатых нефтью странах ССПЗ расходы домохозяйств на продукты питания намного ниже: ОАЭ — 13%, Катар — около 15%, Кувейт — 17%. Эти показатели близки к средним данным для большинства западноевропейских стран, в которых доля расходов колеблется в диапазоне 10–15% и США — около 7% [11; 18].

Показатели потребления пшеницы населением арабских стран позволяют провести классификацию стран и выделить такие группы стран:

- с высоким потреблением (более 200 кг/чел/год) и высокой зависимостью от импорта — Кувейт;
- средним потреблением (150–200 кг/чел/год) и средней зависимостью от импорта — Алжир, Ирак, Марокко, Тунис;
- с низким потреблением (менее 100 кг/чел/год) и высокой зависимостью от импорта пшеницы — Йемен, Иордания, КСА и ОАЭ.

Страны, где природные или социально-экономические условия выступают как ограничивающие факторы собственного производства, имеют самые низкие доходы населения и, как правило, не выращивают пшеницу. В таких экономических условиях дефицит продовольствия нет возможности покрыть за счёт импорта. Как следствие, уровень недоедания может быть довольно высоким.

В качестве интегрированного показателя степени благополучия с продовольственной обеспеченностью может использоваться *индекс доступности продовольствия*, который рассчитывается с учётом доли расходов домохозяйств на продукты питания; доли населения, живущего за глобальной чертой бедности; ВВП на душу населения; тарифов на импорт сельскохозяйственной продукции; наличия государственных программы обеспечения продовольственной безопасности. Среднее значение индекса доступности продовольствия в Арабском регионе несколько превышает мировой показатель (рис. 2). Наилучшие показатели (79–89%) доступности питания отмечаются в Омане, Кувейте, Бахрейне, Катаре и Саудовской Аравии.

К «среднякам» (66–78%) в регионе можно отнести Алжир, Иорданию, Марокко, ОАЭ, Тунис и Египет. Значения индекса ниже средних по миру (32–39%) закономерно имеют

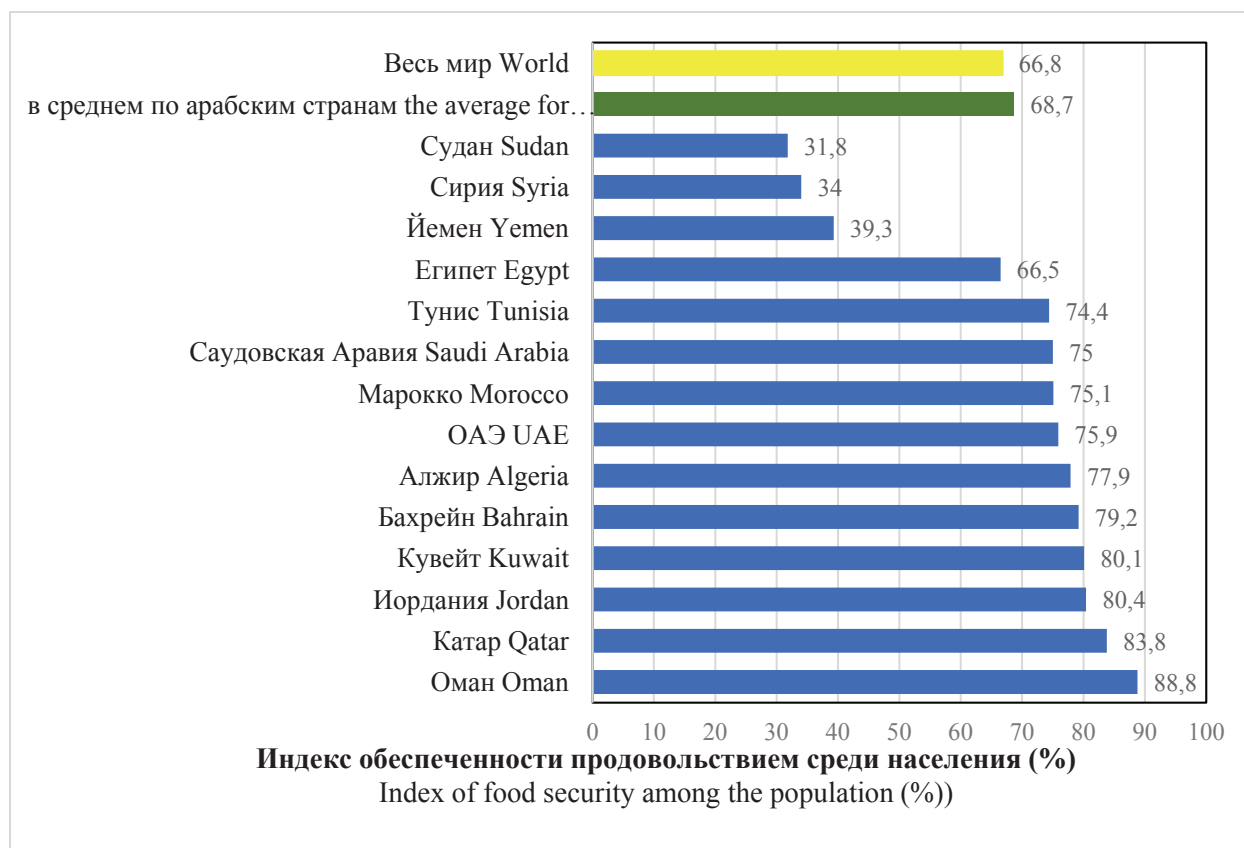


Рис. 2 / Fig. 2. Индекс доступности продовольствия, 2021 г. / Food Availability Index 2021

Источник: составлено авторами по: Global Food Security Index 2022: [сайт]. URL: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/> (дата обращения: 10.02.2025)

страны, на территории которых продолжаются военные конфликты: Сирия, Йемен и Судан.

Поскольку государства Арабского региона в значительной степени решают проблему продовольственной обеспеченности за счёт импорта, то любые колебания мировой торговли продовольствием и сельскохозяйственными товарами могут приводить к ухудшению систем закупок и сбыта продукции, ограничивать возможности получения продовольствия.

В сочетании с удалённостью зон выращивания базовых продовольственных культур от зон потребления, проблемами послеуборочного обслуживания, высоких потерь и слабой переработки пищевых продуктов это приводит к продовольственным кризисам. Арабские страны зависят от многих неарабских стран как основных источников зерновых товаров, растительных масел, сахара, молока и красного мяса. Основные поставщики сельскохозяйственного сырья и продуктов питания в регион: зерновые (главным образом, пшеница) — Украина, Индия, Аргентина, РФ

и Австралия; растительные масла — Турция, Украина, Испания, РФ, Аргентина и США; молоко — Новая Зеландия, Нидерланды, Франция, Дания и Аргентина; мясо — Индия, Бразилия, Австралия, Пакистан, США и Новая Зеландия.

Растущий мировой спрос на пшеницу может спровоцировать ситуацию, когда указанные альтернативные экспортеры не смогут полностью удовлетворить спрос в регионе. В этой связи относительная географическая близость РФ и её позиции как одного из крупнейших экспортёров зерна будут играть роль стабилизирующего фактора и гарантий поставок необходимых объёмов сельскохозяйственного сырья и продовольствия.

Эффективность логистических цепочек поставок в Арабском регионе сильно отличается. Лидерами в регионе являются ОАЭ, Катар и КСА с индексами эффективности равными 3,9, 3,2 и 3,1 соответственно [16]. Указанные страны располагают хорошей транспортной и производственной инфраструктурой, отработанными торгово-таможенными процедурами.

рами. Алжир, Египет, Иордания, Марокко и Тунис имеют индекс эффективности 2,5–3, а поэтому высокую вероятность столкнуться с проблемами обеспечения продовольствием, особенно в периферийных, отдалённых районах.

Ещё 2 страны – Йемен и Сирия – имеют эффективность логических цепочек ниже средних по арабским странам. Причина: долговременные военные конфликты и экономические кризисы на их территориях приводят к сбоям и хроническим проблемам в логистических схемах поставок продовольствия.

Таким образом, можно сделать вывод, что продовольственная обеспеченность арабских стран зависит от большого комплекса факторов, среди которых: агроклиматические ресурсы, демографические характеристики населения, общий уровень социально-экономического развития страны, позиции на внутриарабском и мировом рынках продовольствия, геополитическая обстановка в регионе или стране.

Дифференциация государств Арабского региона по уровню продовольственной обеспеченности позволила выделить несколько групп стран (рис. 3). Интегральный уровень современной продовольственной обеспеченности стран Арабского мира очень контрастен.

Можно выделить группу стран с относительно низкими темпами прироста населения и низкими темпами прироста сельскохозяйственного производства: Марокко, Ливия, Тунис, Алжир, Ирак. В этом случае рост населения не создаёт рисков продовольственной обеспеченности. Несколько иная ситуация в *Йемене* и *Иордании*, имеющих более высокие показатели прироста населения, но при этом по природно-климатическим характеристикам, не имеющие возможности кардинально улучшить собственное сельскохозяйственное производство. В Йемене ситуация осложняется внутренним военным конфликтом. Это страны с низким уровнем продовольственной безопасности и большими рисками в плане обеспечения продовольственной обеспеченности. Ещё одна группа – *Оман*, *Ливан*, *Мавритания* и *Палестинская автономия* – это страны с темпами прироста населения, превышающими темпы сельскохозяйственного производства. Но при этом имеющие чуть более благоприятные условия для земледелия.

Их также можно оценить как имеющие риски продовольственной обеспеченности. Из указанной группы только Оман имеет возможность беспрепятственно приобретать недостающие объёмы продовольствия, благодаря запасам углеводородов – экспортного товара.

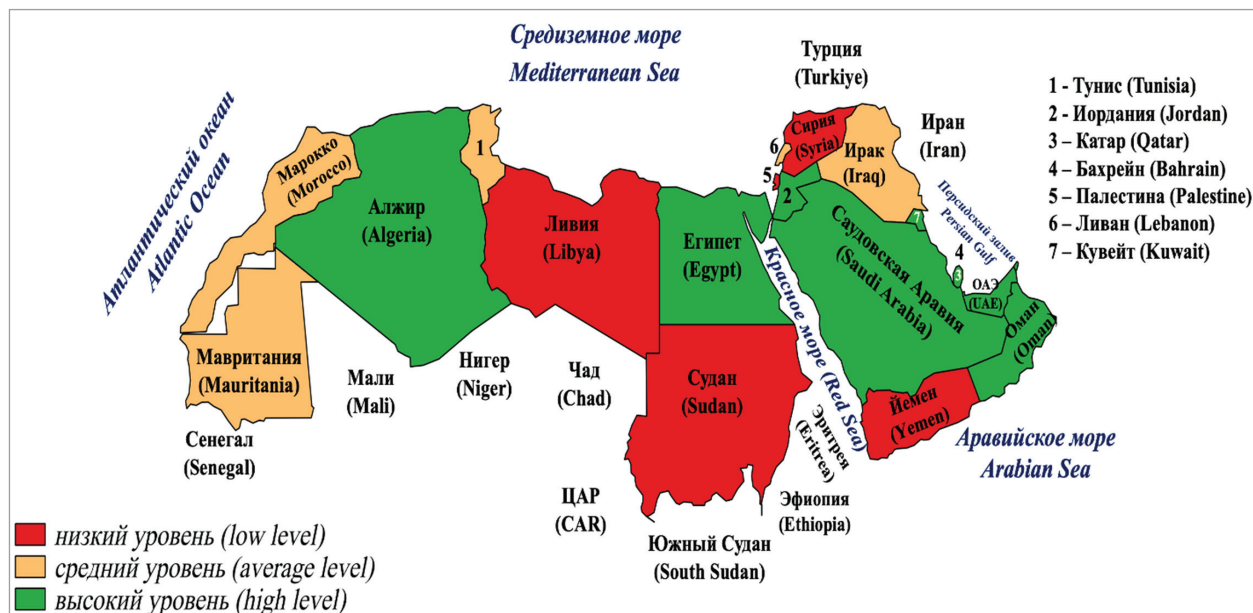


Рис. 3 / Fig. 3. Дифференциация Арабских стран по уровню продовольственной обеспеченности / Differentiation of Arab countries by level of food security

Источник: составлено авторами по: Food insecurity in the Middle East and North Africa: [сайт].
URL: <https://mecouncil.org/publication/food-insecurity-in-the-middle-east-and-north-africa/>
(дата обращения: 20.02.2025)

Самые большие в регионе по численности населения и ещё не завершившие демографический переход – Египет и Судан – тем не менее отличаются довольно высокими показателями индекса, что в значительной мере связано с более благоприятными условиями для развития земледелия.

Вариант дифференциации Арабских стран по уровню продовольственной обеспеченности на основе критериев ФАО показывает примерно такую же картину.

С учётом подходов ФАО и собранных данных по странам региона был применён интегральный индекс оценки уровня продовольственной обеспеченности и определён уровень современной продовольственной обеспеченности стран Арабского мира. Индекс рассчитывался на 2000, 2010, 2019 и 2022 гг. (рис. 4).

Индекс представляет собой среднеарифметическое от значения нормированных показателей следующих индикаторов: обеспеченность пашней (га/чел), урожайность зерновых (ц/га), уровень самообеспеченности по зерну (т/чел), доля импорта зерновых во внутреннем потреблении (%):

$$\text{ИПБ} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \text{Пн}_i,$$

где:

ИПБ – индекс продовольственной безопасности

Пн – нормированные показатели, включаемые в индекс

n – число, входящих в показатель индексов

i – порядковый номер показателя

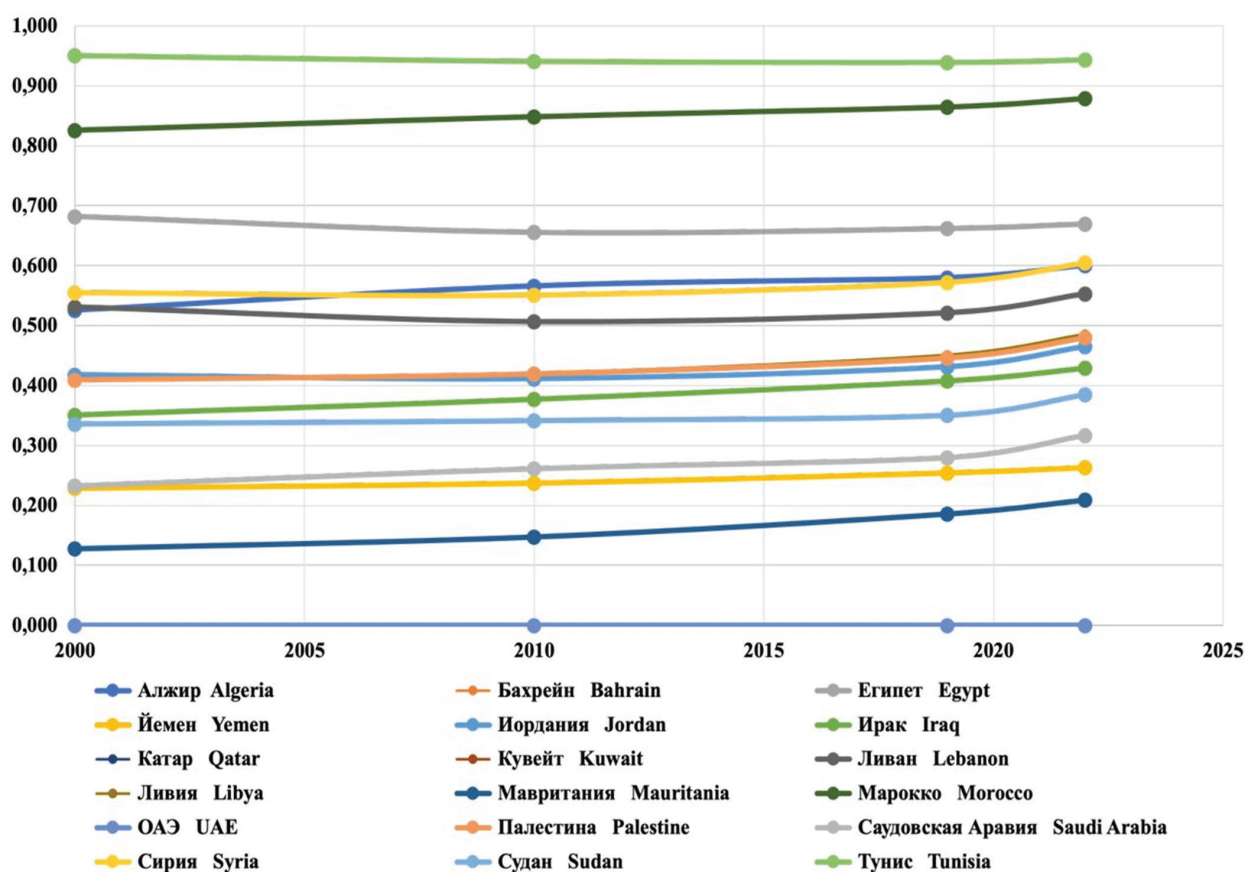


Рис. 4 / Fig. 4. Динамика индекса продовольственной обеспеченности по зерну в странах Арабского региона в 2000, 2010, 2019 и 2022 гг. / Dynamics of the grain food security index in the countries of the Arab region in 2000, 2010, 2019 and 2022

Источник: составлено авторами по: Региональный обзор по вопросам продовольственной безопасности и питания для региона Ближнего Востока и Северной Африки за 2024 год: [Электронный ресурс].

URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/un-report--hunger-in-the-arab-region-reaches-a-new-height-as-challenges-intensify/ru> (дата обращения: 20.02.2025)

Сравнение *индекса оценки уровня продовольственной безопасности по зерну* и его динамика за период 2000–2022 гг. позволяет сделать вывод об общем улучшении ситуации с продовольственной обеспеченностью в регионе. Однако при этом необходимо отметить, что условно можно выделить 3 группы стран:

1. *«устойчиво стабильные» страны*, т. е. за весь рассматриваемый период имеют самые высокие индексы продовольственной обеспеченности в регионе и минимальные риски, связанные с продовольственной безопасностью. К таковым можно отнести Марокко, Тунис, Египет, Алжир. Это группа стран региона с относительно невысокими темпами роста населения и более высокими темпами роста сельскохозяйственного производства. При таких соотношениях рост населения не создаёт рисков продовольственной обеспеченности;

2. *«устойчиво нестабильные» страны* — с самыми низкими индексами продовольственной безопасности и продовольственной обеспеченности, что логично с учётом их географического положения — это малые страны Персидского залива и Мавритания, чуть более высокие показатели имеют КСА и Йемен. Несмотря на низкие индексы, для стран-нефтеэкспортёров даже при почти 100% зависимости от импорта зерна продовольственные риски минимальны или отсутствуют, поскольку страны располагают средствами для закупок необходимого количества сельскохозяйственного сырья и, прежде всего, пшеницы и меслина;

3. *«колеблющиеся» страны*, ситуация в которых может меняться как в сторону улучшения показателей обеспеченности, так и в обратном направлении — Ливия, Судан, Ливан, Иордания, Палестинская Автономия (ПА), Ирак и Сирия.

Для второй и третьей групп характерны довольно высокие темпы роста населения и при этом крайне низкие или отрицательные (т. е. спад) темпы роста сельскохозяйственного производства. В силу природных ограничений многие страны региона просто не имеют возможности кардинально улучшить собственное сельскохозяйственное производство. Для части государств из третьей группы продовольственные риски связаны, прежде всего, с внутренней военно-политической, а, следовательно, социально-экономической нестабильностью.

Самые большие в регионе по численности населения и ещё не завершившие демографический переход — Египет и Судан — тем не менее отличаются довольно высокими показателями индекса, что в значительной мере связано с более благоприятными условиями для развития земледелия.

Современные тенденции и направления развития сельского хозяйства в Арабских странах демонстрируют изменения, произошедшие в этой сфере на рубеже XX–XXI вв. При этом регионе наблюдаются разнонаправленные процессы: в охваченных конфликтами странах и странах с низким уровнем доходов растёт недоедание, в то время как ожирение вызывает всё большую озабоченность в странах с высоким и средним уровнем доходов.

Большинство Арабских стран не имеют проблем с продовольственным обеспечением или давно не сталкивались с острыми продовольственными кризисами, которые приводили бы к голоду среди населения. Но в этом списке благополучных государств имеют место и исключения. Например, в Судане такая угроза перманентна и актуальна для некоторых районов страны или возникает с разной степенью остроты в неурожайные годы. Одновременно обостряется проблема «эпидемии ожирения» в странах Персидского залива. Уже в 2015 г. в неофициальном рейтинге 20 стран с самой высокой долей населения, страдающего от ожирения, 8 мест принадлежало Арабским странам, в которых от 31 до 37% населения имели избыточный вес (среди наиболее проблемных стран — Катар, Саудовская Аравия, ОАЭ). В настоящее время в ОАЭ, например, ожирение и проблемы здоровья, связанные с ним, являются основной причиной смертности.

Рост численности населения требует увеличения производства сельскохозяйственной продукции. И это требование должно исполняться независимо от направления экономического развития или модели потребления в конкретном государстве региона. Согласно прогнозам темпы роста объёмов продовольствия будут опережать таковые по населению, но проблема недоедания сохранит свою актуальность для значительной части населения региона.

Опыт ряда Арабских стран показывает, что увеличение уровня продовольственной безопасности и обеспеченности возможно, как

минимум, двумя основными способами, которые вполне могут сочетаться: во-первых, это достаточное самообеспечение необходимым продовольствием, а во-вторых, это наличие достаточных средств и гарантированных возможностей импорта продовольствия в количествах, необходимых для стабильного положения продовольственного рынка страны. Ситуация с продовольственной обеспеченностью различается в указанных выше арабских субрегионах — ССАГПЗ, Северной Африке и Республике Судан. Различия определяются возможностями закупок продовольствия на внешних рынках, аграрной политикой и стратегиями сельскохозяйственного производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные тенденции и направления развития сельского хозяйства в арабских странах демонстрируют изменения, произошедшие в этой сфере на рубеже XX—XXI вв.: снижение доли аграрного сектора как в мировом ВВП и структуре занятости экономически активного населения, так и макроэкономических показателях регионов и стран. Независимо от направления экономического развития или модели потребления в конкретном государстве Арабского региона, рост численности населения будет сопровождаться увеличением производства сельскохозяйственной продукции. Согласно прогнозам темпы роста объёмов продовольствия будут опережать таковые по населению, но проблемы голода и недоедания сохраняют свою актуальность для значительной части региона.

Объективные причины — дефицит свободных и плодородных земель, состояние депривации, связанное с недостаточностью пресной воды, незрелость и недоразвитость существующего общественного производства и трудовых отношений — определяют такую базовую характеристику развития этого большого и неоднородного сегмента мирового хозяйства, как разрыв между производством продовольствия и потребительским спросом на него. Эту «брешь» арабские страны перекрывают импортными поставками зерна и другими базовыми продовольственными товарами.

Значительные социально-экономические успехи в развитии промышленности (в т. ч.

благодаря облегчению доступа к дешёвой рабочей силе мигрантов) и рост доходов населения, связанные с этими процессами ускоренная урбанизация, улучшение условий жизни и увеличение мобильности населения привели в том числе к реформам аграрных систем Арабских стран, к ломке социальных структур и отношений, сделали остро актуальными многие «спящие» или «законсервированные» проблемы. В регионе имеют место разнонаправленные процессы: в охваченных конфликтами странах и странах с низким уровнем доходов растёт *недоедание*, в то время как *ожирение* вызывает всё большую озабоченность в странах с высоким и средним уровнем доходов. В неофициальном рейтинге 20 стран с самой высокой долей населения, страдающего от ожирения, 8 мест принадлежит Арабским странам, в которых от 31 до 37% населения имеют избыточный вес.

Совпадение по времени множества современных проблем и кризисов разного уровня и локализации, таких как Covid-19 и его длительные последствия, финансовый, экономический и социально-политический кризисы в Ливане, политические кризисы в странах Северной Африки (Тунис, Судан), конфликт в Йемене (и Йемена с КСА), очередное обострение израильско-палестинских отношений, в сочетании с ситуацией, когда международная торговля продовольствием зависит и определяется не экономической и коммерческой целесообразностью, а политической конъюнктурой, в итоге делают страны региона беспомощными в ситуации «*продовольственного шока*». Сильнее всего страдают страны, имеющие дефицит бюджетных средств, истощённые валютные запасы и низкий индекс эффективности логистики. Негатива может добавлять динамика мировых цен на нефть. Например, увеличение цены на энергоносители неизбежно приводит к росту цены на услуги и товары, включая продовольствие или сельскохозяйственное сырьё. Подобное развитие событий в первую очередь отражается на государствах, больше других зависящих от импорта пшеницы, т. е. арабских государств. Развивая эту логическую цепочку, можно констатировать, что такие внешние факторы, как рост цен на пшеницу и продовольствие в сочетании с внутренними уязвимостями, такими как нехватка продуктов первой необходимости и частичная или полная зависимость

закупок зерна и производства муки от частного сектора экономики, значительно ухудшают ситуацию с продовольственной безопасностью и создают крайне высокие риски голода среди малоимущего населения.

При всех перечисленных проблемах, сложностях и рисках большинство стран Арабского региона, по сравнению с другими частями развивающегося мира, избегают острых кризисов продовольствия и, тем более, таких крайних проявлений, как голод. В качестве исключения можно привести Судан, где такая угроза перманентна и актуальна для некоторых районов страны или возникает с разной степенью остроты в неурожайные годы.

В целом, следует отметить, что арабским странам, благодаря аграрным реформам, социальной модернизации деревни, прогрессу в развитии производства, в большей или меньшей степени удаётся сохранять и поддерживать баланс между производством и потреблением продовольствия.

Глобальная продовольственная проблема, проблема продовольственной безопасности и обеспеченности как её составная часть включены в актуальную повестку всего мирового сообщества. Международными организациями разрабатываются и применяются разные варианты решения: от опоры на научно-технические достижения в области агротехники и селекции, производства продуктов питания до справедливого распределения произведённых

продуктов питания. Наибольший эффект дают региональные усилия по достижению продовольственной безопасности и продовольственной обеспеченности. Объяснение вполне очевидное: Арабские страны — это географически близкие территории (страны-соседи), следовательно, они имеют схожие природные и климатические условия и проблемы, которые определяются этими условиями. У стран региона практически совпадают типы сельскохозяйственного производства, модели социально-экономических отношений в сельской местности, традиции и культура потребления продовольствия.

Преимуществом регионального уровня решения проблем продовольственной безопасности и продовольственного обеспечения может стать коллективное управление трансграничными водными ресурсами, объединение усилий в борьбе с трансграничным проникновением вредителей сельскохозяйственных культур и предотвращение или устранение негативных экологических последствий [11; 12; 15]. Среди экономических мер выделяются устранение таможенных барьеров внутри региона, совершенствование региональных цепочек образования добавленной стоимости и логистики, управление рисками сельскохозяйственного производства и продовольственного обеспечения, совместные усилия по предоставлению срочной продовольственной помощи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова И. О., Фитуни Л. Л. Влияние структурных и макроэкономических дисбалансов на фундаментальные тренды социально-экономического развития стран Ближнего Востока и Северной Африки // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. 2017. Т. 10. № 2. С. 13–33. DOI: 10.23932/2542-0240-2017-10-2-13-33
2. Аграрные проблемы и новые модели экономического развития в странах Востока / отв. ред. И. В. Дерюгина. М.: ИВ РАН, 2021. 544 с.
3. Арабский Восток. Аграрное развитие и социально-экономические тренды / отв. ред. А. О. Филоник. М.: ИВ РАН, 2020. 444 с. DOI: 10.31696/9785892829830
4. Арабский Восток в лабиринте социально-экономических проблем / отв. ред. А. О. Филоник. М.: ИВ РАН, 2022. 226 с.
5. Арабский Восток в поиске оптимальных социально-экономических решений / отв. ред. А. О. Филоник. М.: ИВ РАН, 2022. 210 с.
6. Балдов Д. В., Сулов С. А. Методика расчёта уровня продовольственной безопасности // *Вестник НГИЭИ*. 2016. № 1. С. 13–26.
7. Власов В. А. Понятие и соотношение категорий «продовольственное обеспечение» и «продовольственная безопасность»: отечественный опыт // *Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ*. 2018. № 4. С. 3–11.
8. Гумеров Р. Р. Продовольственная безопасность: новые подходы к анализу содержания и оценке // *Проблемы прогнозирования*. 2020. № 5. С. 133–141. DOI: 10.1134/S107570072005007X
9. Гусаков Н. П., Шкваря Л. В. Социально-экономическое развитие стран Северной Африки и Ближнего Востока на современном этапе // *Вестник РУДН. Серия: Экономика*. 2008. № 1. С. 12–21.

10. Долгов Б. В. Сирийский кризис (2011–2021): развитие конфликта // Исламоведение. 2021. Т. 12. № 3. С. 5–21. DOI: 10.21779/2077-8155-2021-12-3-5-21
11. Козинцев А. С. Водная безопасность на Ближнем Востоке и в Северной Африке: новые грани старой проблемы // Экономические и социальные проблемы России. 2021. № 1. С. 88–105. DOI: 10.31249/espr/2021.01.05
12. Крассов О. И. Системы землевладения в странах Магриба // Сравнительное правоведение. 2016. № 6. С. 184–202. DOI: 10.17803/1729-5920.2016.115.6.184-202
13. Продовольственная и ресурсная безопасность в странах Азии и Африки / отв. ред. И. В. Дерюгина. М.: ИВ РАН, 2023. 582 с.
14. Стариков Н. А. Типология стран мира по особенностям продовольственной ситуации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 6. С. 48–56.
15. Ahmed M., Hayat R., Ahmad M. et al. Impact of Climate Change on Dryland Agricultural Systems: A Review of Current Status, Potentials, and Further Work Need // International Journal of Plant Production. 2022. № 16. P. 341–363. DOI: 10.1007/s42106-022-00197-1
16. Al-Kandari Y. The prevalence of obesity in Kuwait and its relation to socio-cultural variables // Obesity Reviews. 2016. № 7. P. 147–154.
17. Developing an analytical framework for estimating food security indicators in the United Arab Emirates / A. A. Khalil, A. M. S. Kheir, B M. Ali, B. Sundarakani, I. Manikas // Environ Dev Sustain. 2023. Feb. 22. P. 1–20. DOI: 10.1007/s10668-023-03032-3
18. Basheer M., Nechifor V., Calzadilla A., et al. Cooperative adaptive management of the Nile River with climate and socio-economic uncertainties // Nature Climate Change. 2023. Vol. 13. P. 48–57. DOI: 10.1038/s41558-022-01556-6
19. Khouri N., Shideed K., Kherallah M. Food security: perspectives from the Arab World // Food Security. 2011. Vol. 3. P. 1–6. DOI: 10.1007/s12571-010-0101-4
20. Saud A. Food Security from an Islamic // Journal of Islamic Studies and Thought for Specialized Researches (JISTSR) 2020. Vol. 6. № 1. P. 40–87.
21. Abramova I. O., Fituni L. L. [The Impact of Structural and Macroeconomic Imbalances on Fundamental Trends of Socioeconomic Development of the Countries of the Middle East and North Africa]. In: *Kontury posleduyushchikh transformatsiy: politika, ekonomika, pravo* [Contours of Global Transformations: Politics, Economics, Law], 2017, vol. 10, no. 2, pp. 13–33. DOI: 10.23932/2542-0240-2017-10-2-13-33
22. Deryugina I. V., ed. *Agrarnyye problemy i novyye modeli ekonomicheskogo razvitiya v stranakh Vostoka* [Agrarian Problems and New Models of Economic Development in the Countries of the East]. Moscow, Institute of Oriental Studies Publ., 2021. 544 p.
23. Filonik A. O., ed. *Arabskiy Vostok. Agrarnoye razvitiye i sotsial'nyye tendentsii* [The Arab East. Agrarian Development and Socioeconomic Trends]. Moscow, Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences Publ., 2020. 444 p. DOI: 10.31696/9785892829830
24. Filonik A. O., ed. *Arabskiy Vostok v labirinte sotsial'no-ekonomicheskikh problem* [The Arab East in the Labyrinth of Socio-Economic Problems]. Moscow, Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences Publ., 2022. 226 p.
25. Filonik A. O., ed. *Arabskiy Vostok v poiske optimal'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh resheniy* [The Arab East in Search of Optimal Socio-Economic Solutions]. Moscow, Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences Publ., 2022. 210 p.
26. Baldov D. V., Suslov S. A. [Methodology for Calculating the Level of Food Security]. In: *Vestnik NGIEI* [Bulletin of NGIEI], 2016, no. 1, pp. 13–26.
27. Vlasov V. A. [The concept and relationship of the categories "food supply" and "food security": domestic experience]. In: *Sotsialno-ekonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal Krasnoyarskogo GAU* [Socio-economic and humanitarian journal of the Krasnoyarsk SAU], 2018, no. 4, pp. 3–11.
28. Gumerov R. R. [Food security: new approaches to content analysis and assessment]. In: *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 2020, no. 5, pp. 133–141. DOI: 10.1134/S107570072005007X
29. Gusakov N. P., Shkvarya L. V. [Socio-economic development of the countries of North Africa and the Middle East at the present stage]. In: *Vestnik RUDN. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of RUDN University. Series: Economy], 2008, no. 1, pp. 12–21.
30. Dolgov B. V. [Syrian Crisis (2011–2021): Development of the Conflict]. In: *Islamovedeniye* [Islam Studies], 2021, vol. 12, no. 3, pp. 5–21. DOI: 10.21779/2077-8155-2021-12-3-5-21
31. Kozintsev A. S. [Water Security in the Middle East and North Africa: New Facets of an Old Problem]. In: *Ekonomicheskiye i sotsialnyye problemy Rossii* [Economic and Social Problems of Russia], 2021, no. 1, pp. 88–105. DOI: 10.31249/espr/2021.01.05
32. Krassov O. I. [Land Tenure Systems in the Maghreb Countries]. In: *Sravnitelnoye pravovedeniye* [Comparative Law], 2016, no. 6, pp. 184–202. DOI: 10.17803/1729-5920.2016.115.6.184-202
33. Deryugina I. V., ed. *Prodovolstvennaya i resursnaya bezopasnost' v stranakh Azii i Afriki* [Food and Resource Security in Asia and Africa]. Moscow, Insti-

REFERENCES

- tute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences Publ., 2023. 582 p.
14. Starikov N. A. [Typology of countries of the world by the peculiarities of the food situation]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2015, no. 6, pp. 48–56.
 15. Ahmed M., Hayat R., Ahmad M. et al. Impact of Climate Change on Dryland Agricultural Systems: A Review of Current Status, Potentials, and Further Work Need. In: *International Journal of Plant Production*, 2022, no. 16, pp. 341–363. DOI: 10.1007/s42106-022-00197-1
 16. Al-Kandari Y. The prevalence of obesity in Kuwait and its relation to socio-cultural variables. In: *Obesity Reviews*, 2016, no. 7. P. 147–154.
 17. Khalil A. A., Kheir A. M. S., Ali B M., Sundarakan B., Manikas I. Developing an analytical framework for estimating food security indicators in the United Arab Emirates. In: *Environ Dev Sustain*, 2023, Feb. 22, pp. 1–20. DOI: 10.1007/s10668-023-03032-3
 18. Basheer M., Nechifor V., Calzadilla A., et al. Co-operative adaptive management of the Nile River with climate and socio-economic uncertainties. In: *Nature Climate Change*, 2023, vol. 13, pp. 48–57. DOI: 10.1038/s41558-022-01556-6
 19. Khouri N., Shideed K., Kherallah M. Food security: perspectives from the Arab World. In: *Food Security*, 2011, vol. 3, pp. 1–6. DOI: 10.1007/s12571-010-0101-4
 20. Saud A. Food Security from an Islamic. In: *Journal of Islamic Studies and Thought for Specialized Researches (JISTSR)*, 2020, vol. 6, no 1, pp. 40–87.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лобжанидзе Александр Александрович — доктор педагогических наук, заведующий кафедрой экономической и социальной географии имени академика РАО В. П. Максаковского географического факультета Московского педагогического государственного университета;
e-mail: alobjanidze@yandex.ru

Лопатников Димитрий Леонидович — доктор географических наук, старший научный сотрудник Лаборатории географии мирового хозяйства Института географии РАН;
e-mail: imartos@mail.ru

Роготень Наталья Николаевна — кандидат географических наук, доцент кафедры экономической и социальной географии имени академика РАО В. П. Максаковского географического факультета Московского педагогического государственного университета;
e-mail: nn.rogoten@mpgu.su

Шакира Шехадех — аспирантка кафедры экономической и социальной географии имени академика РАО В. П. Максаковского географического факультета Московского педагогического государственного университета;
e-mail: shakira.shekhadekh@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander A. Lobzhanidze — Dr. Sci (Pedagogy), Head of the Department, Department of Economic and Social Geography named after Academician V. P. Maksakovsky, Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University;
e-mail: alobjanidze@yandex.ru

Dimitri L. Lopatnikov — Dr. Sci. (Geography), Senior Researcher, Laboratory of Geography of the World Economy, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: imartos@mail.ru

Natalia N. Rogoten — PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Economic and Social Geography named after Academician V. P. Maksakovsky, Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University;
e-mail: nn.rogoten@mpgu.su

Shakira Shehadeh — Postgraduate student, Department of Economic and Social Geography named after Academician V. P. Maksakovsky, Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University;
e-mail: shakira.shekhadekh@gmail.com

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Продовольственная обеспеченность населения арабских стран в первые десятилетия XXI в. / А. А. Лобжанидзе, Д. Л. Лопатников, Н. Н. Роготень, Ш. Шехадех // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 114–130.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-114-130

FOR CITATION

Lobzhanidze A. A., Lopatnikov D. L., Rogoten N. N., Shekhadekh Sh. Food security for the population of Arab countries in the first decades of the 21st century. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 114–130.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-114-130

ПРИГЛАШЕНИЕ К ДИСКУССИИ

Научная статья
УДК 628.477.2

**РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ:
КУРБАТОВА А. И., АБУ-КДЭЙС Х. БИОЭКОНОМИКА 4.0:
ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ВАЛОРИЗАЦИИ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ. М.: ИНФРА-М, 2026. 202 с.**

© СС ВУ Бейсенова Р. Р.

*Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации
080000, г. Тараз, ул. К. Сатпаева, д. 28, Казахстан
e-mail: r.beisenova@kaznuvhi.edu.kz, ORCID 0000-0003-0913-9503*

Поступила в редакцию 01.03.2025

После доработки 12.03.2025

Принята к публикации 17.03.2025

Аннотация

А. И. Курбатовой и Х. Абу-Кдэйсом для эколого-экономического сообщества подготовлена новая монография «Биоэкономика 4.0: Инновационные подходы к валоризации органических отходов». В данной рецензии проанализированы основные идеи авторов и оценена их значимость.

Авторы предлагают определение термина «биоэкономика» в контексте промышленной революции 4.0, связывая её с цифровизацией, автоматизацией и использованием больших данных для оптимизации процессов валоризации органических отходов; интегрируют концепции циркулярной экономики, устойчивого развития и промышленной экологии в рамках новой парадигмы. В монографии рассмотрены передовые технологии переработки органических отходов: анаэробное сбраживание, компостирование, пиролиз, газификация и производство биопластиков. Представлен обзор международного опыта в области валоризации органических отходов, включая примеры успешных проектов и стратегий, реализованных в различных странах. Сравнительный анализ позволил всесторонне оценить существующие подходы к валоризации органических отходов и выявить как общие тенденции, так и важнейшие особенности, характерные для различных экономических регионов. Авторами раскрыты ключевые аспекты биотехнологической переработки пищевых отходов (ферментация молочной кислоты, ацетоно-бутиловая ферментация, гетеротрофное производство водорослей, ферментация синтез-газа). Рассмотрена биотехнология с использованием мухи Чёрная львинка (*Hermetia illucens*, или Чёрный солдатик) из Центральной и Южной Америки: её личинки потребляют и разлагают ряд органических материалов, деградация которых достигает до 70%. Охарактеризованы современные технологические подходы (гидротермальное сжижение (HTL технология), гидротермальная газификация) и проанализированы их эколого-экономическое значение (отсутствие необходимости предварительной сушки сырья; возможность перерабатывать различные виды пищевых и других органических отходов с большой эффективностью выхода продукта (до 90%) в форме биогаза, следовательно, его можно легко сжать, удобно транспортировать и хранить, что снижает экономические издержки).

Рассматриваемая работа вносит вклад в развитие междисциплинарного научного дискурса, объединяя знания из разных областей знания — экологии, экономики, биотехнологии и устойчивого управления. Синтез знаний из этих тематических направлений создаёт основу для моделирования биоэкономических процессов.

Ключевые слова: цепочка добавленной стоимости, биотехнологии, цифровая печать, компостирование отходов, упаковочные материалы

Бейсенова Р. Р.

**REVIEW OF THE MONOGRAPH:
KURBATOVA A. I., ABU-QDAIS H. BIOECONOMICS 4.0: INNOVATIVE APPROACHES
TO VALORIZATION OF ORGANIC WASTE. MOSCOW, INFRA-M, 2026. 202 P.**

© CC BY R. Beisenova

*Kazakh National University of Water Management and Irrigation
ul. K. Satpayev 28, Taraz 080000, Kazakhstan
e-mail: r.beisenova@kaznuvhi.edu.kz, ORCID 0000-0003-0913-9503*

Received 01.03.2025

Revised 12.03.2025

Accepted 17.03.2025

Abstract

A. I. Kurbatova and H. Abu-Qdais prepared a new monograph "Bioeconomics 4.0: Innovative Approaches to Valorization of Organic Waste" for the ecological and economic community. This review analyzes the main ideas of the authors and assesses their significance.

The authors propose a definition of the term "bioeconomy" in the context of the industrial revolution 4.0, linking it with digitalization, automation and the use of big data to optimize the processes of valorization of organic waste; integrate the concepts of circular economy, sustainable development and industrial ecology within the framework of a new paradigm. The monograph discusses advanced technologies for processing organic waste: anaerobic digestion, composting, pyrolysis, gasification and the production of bioplastics. An overview of international experience in valorization of organic waste is provided, including examples of successful projects and strategies implemented in various countries. The comparative analysis made it possible to comprehensively assess the existing approaches to the valorization of organic waste and to identify both general trends and the most important features characteristic of different economic regions.

The authors disclose key aspects of biotechnological processing of food waste (lactic acid fermentation, acetone-butyl fermentation, heterotrophic algae production, synthesis gas fermentation). Biotechnology using the Black Lion fly (*Hermetia illucens*, or Black Soldier) from Central and South America is considered: its larvae consume and decompose a number of organic materials, the degradation of which reaches 70%. Modern technological approaches (hydrothermal liquefaction (HTL technology), hydrothermal gasification) were characterized and their environmental and economic significance was analyzed (no need for preliminary drying of raw materials; possibility of processing various types of food and other organic wastes with high efficiency of product output (up to 90%) in form of biogas, therefore, it can be easily compressed, conveniently transported and stored, which reduces economic costs).

The work in question contributes to the development of interdisciplinary scientific discourse by combining knowledge from different fields of knowledge — ecology, economics, biotechnology and sustainable management. The synthesis of knowledge from these thematic areas creates the basis for modeling bioeconomic processes.

Keywords: value chain, biotechnologies, digital printing, waste composting, packaging materials

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня биоэкономика становится трансформирующей силой устойчивого развития. Это обусловлено тем, что, объединив достижения в биотехнологиях и цифровых инструментах с принципами экономики замкнутого цикла, биоэкономика предлагает решения, которые не только уменьшают негативное воздействие на окружающую среду, но и спо-

собствуют экономическому развитию и благосостоянию общества. По сути, биоэкономика использует для производства продуктов питания, энергии и промышленных товаров возобновляемые биологические ресурсы. Такой подход минимизирует зависимость от ископаемых источников энергии и снижает выбросы парниковых газов.

Многочисленные исследования в академической литературе определяют биоэконо-

мику как важный элемент глобальных усилий по поиску новых и более устойчивых путей достижения экономического и культурного процветания [1; 3; 10; 19]. Биоэкономика рассматривается как новый сектор экономики, который способствует разработке и внедрению процессов, гармонирующих с принципами устойчивого развития. На протяжении последних двух столетий концепция биоэкономики претерпела значительное развитие в научных дискуссиях, установив тесную связь между двумя мощными дисциплинами — биологией и экономикой [5; 7; 10]. Связь между ними осуществляется по двум основным направлениям:

1. через применение экономических концепций и моделей для анализа биологических явлений (например, использование моделей оптимизации ресурсов для изучения популяционной динамики или поведения видов в экосистемах);

2. посредством использования биологической перспективы для изучения экономического поведения (например, анализ стратегий выживания и конкуренции у животных как аналогов рыночных стратегий или исследование эволюционных механизмов для понимания формирования ценовых моделей).

В русскоязычной литературе основные работы в области биоэкономических исследований сосредоточены на определении понятия «биоэкономика». В этих трудах подробно рассматриваются основные принципы и механизмы функционирования этой науки, а также её теоретические основы. Кроме того, в них уделяется внимание вопросам становления и развития биоэкономики как самостоятельной научной дисциплины, анализируются этапы её формирования, ключевые направления исследований и перспективы дальнейшего развития. Таким образом, эти работы дают комплексное представление о том, что такое биоэкономика, как она развивается и какие задачи перед ней стоят [2; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 22]. Вопросам валоризации биомассы в контексте биоэкономики уделено значительное число публикаций: валоризация агропромышленных отходов [13; 14; 15; 16; 17], переработка органических отходов в биотопливо, переработка биомассы микроводорослей в биотопливо [12], переработка пищевых отходов в биодобавки [18].

Для анализа контента монографии перейдем к общей характеристике научного труда.

ОБЗОР АВТОРСКОЙ ПОЗИЦИИ

Авторы монографии А. И. Курбатова и Х. Абу-Кдэйс являются известными специалистами в области устойчивого развития, экотехнологий и биоинженерии, обладающими значительным научным и практическим опытом в сфере обращения с органическими отходами и развития биоэкономики.

Курбатова Анна Ивановна — химик, эколог, кандидат биологических наук, доцент Института экологии РУДН, ведущий российский эксперт в области управления отходами и анализу проблем устойчивого развития. В своей научной деятельности она активно занимается вопросами формирования «зелёной» экономики, внедрения циркулярных моделей производства и потребления, а также разработкой стратегий по эффективному использованию биоресурсов.

Хани Абу-Кдэйс — доктор наук, профессор иорданского университета науки и технологий (*Jordan University of Science and Technology*), международный эксперт в области экологической инженерии, устойчивого управления отходами и возобновляемых источников энергии. Он представляет научное сообщество Ближнего Востока и имеет обширный опыт сотрудничества с международными организациями, включая ООН, ЮНЕП и др. Его научные интересы охватывают такие направления, как переработка органических отходов, производство биогаза, внедрение инновационных технологий в агроэкологическом секторе.

Авторы являются представителями России и Иордании в международной ассоциации «От отходов к энергии» (*Global WiERT Council*). Совместная работа А. И. Курбатовой и Х. Абу-Кдэйса в данной монографии представляет синтез экономического и инженерного подходов к решению актуальных задач биоэкономики. Их междисциплинарный взгляд позволяет более широко посмотреть на инновационные механизмы валоризации органических отходов в контексте перехода к Бионике 4.0 — новой парадигме, базирующейся на цифровизации, устойчивости и биоориентированном развитии.

В совместной работе двух учёных затронута чрезвычайно важная проблема, связанная с увеличением добавленной стоимости при ва-

лоризации биомассы, особенно органических отходов (с. 27–42). Авторы описывают концепцию биооснованных производственно-сбытовых цепочек, что предполагает создание эффективных связей между этапами производства, переработки и сбыта продукции из биомассы. Например, пищевая промышленность по всему миру производит миллионы тонн растительных отходов, которые могут быть преобразованы в ценные компоненты с высокой добавленной стоимостью, — белки, волокна, полисахариды, ароматизирующие соединения и различные фитохимические вещества. Эти биоактивные соединения могут быть использованы в качестве функциональных ингредиентов в пищевых, фармацевтических, медицинских, косметических и других продуктах (с. 42).

Весьма интересна идея о том, что каскадное использование считается центральной концепцией биоэкономики: «...как правило, каскадирование — это оптимизация функционального и последовательного использования биомассы в соответствии с текущими условиями и будущих альтернативных применений. С точки зрения эффективности каскадирование направлено на максимизацию социально-экономической ценности в условиях ограниченности ресурсов. Каскадирование может рассматриваться как приоритетное использование биомассы с высокой (социально-экономической) ценностью. Это означает, что растительная биомасса впервые используется в пищевом секторе для обеспечения продовольственной безопасности или для производства фармацевтических препаратов в сфере здравоохранения. Затем остаточные вещества используются в качестве сырья и/или материалов, прежде чем побочные продукты будут окончательно использованы для производства энергии» (с. 30).

И действительно, применение этой концепции к производственно-сбытовым цепочкам на биологической основе позволяет не только эффективно использовать сырьё, но и минимизировать образование отходов, снижая нагрузку на окружающую среду. Каскадный подход способствует последовательному извлечению высокой добавленной стоимости на каждом этапе переработки, начиная с производства пищевых продуктов и заканчивая получением биоэнергии или биоматериалов.

В каждой главе теоретический материал дополнен результатами исследований авторов. Так, в главе «Биоэкономика и управление пищевыми отходами: синергия для устойчивого будущего» рецензируемой монографии приводится международный кейс в области технологий переработки пищевых отходов. Данная работа характеризуется новизной эмпирического материала, особое внимание в смягчении последствий изменения климата уделяется компостированию органических отходов. Воздействие пищевых отходов на окружающую среду и климат является серьёзной проблемой, требующей внимания на глобальном уровне [21]. Пищевые отходы, образующиеся на всех этапах производственно-сбытовой цепочки — от сельского хозяйства до потребления, — представляют собой значительный источник негативного воздействия на окружающую среду. Эффективное управление пищевыми отходами и их переработка являются важными шагами к снижению негативного воздействия на окружающую среду и климат. Оно включает внедрение технологий, направленных на переработку и повторное использование пищевых отходов, а также повышение осведомлённости населения о важности сокращения пищевых потерь. Утилизацией твёрдых бытовых отходов в Иордании в основном занимаются муниципальные власти. На сегодняшний день Иордания не придерживается принципа «безотходного» обращения с твёрдыми отходами, т. к. более 90% образующихся отходов направляется на свалки. В структуре ТКО на пищевые отходы (органические) приходится от 50% до 65% (по массе). Сектор обращения с отходами в Иордании за последние 5 лет стал вторым по величине источником выбросов парниковых газов и «отвечает» за 10,6% объёма выбросов парниковых газов в стране (2024 г.), причем 98,6% этих выбросов обусловлены захоронением твердых коммунальных отходов. Данный пример иллюстрирует важность проблемы валоризации пищевых отходов для снижения «парниковой» нагрузки на климатическую систему.

Нельзя не отметить важный аспект, обозначенный авторами, касающийся цифровой трансформации индустрии в сфере обеспечения качества пищевых продуктов. Так, в последние годы технологии, обеспечивающие развитие индустрии 4.0, произвели ре-

волюцию в агропродовольственной системе, повысив эффективность производства продуктов питания при минимальном использовании ресурсов. В монографии приведены данные Американского общества качества (*The American Society for Quality*) по внедрению 7 новых инструментов, которые поддерживаются цифровыми решениями: искусственный интеллект, большие данные, технология блокчейн, глубокое обучение, машинное обучение, наука о данных и стимулирующие технологии. Наглядный пример цифровой трансформации индустрии 4.0: качество пищевых продуктов: «Искусственный интеллект и аналитика больших данных служат основой цифровой трансформации, позволяя пищевой промышленности использовать свой потенциал на каждом этапе цепочки поставок продуктов питания («от фермы до вилки»), что позволяет создавать устойчивую добавленную стоимость» [23]. Искусственный интеллект, например, может оценивать качество овощей и фруктов на разных этапах процесса сбора, чтобы выявлять такие изменения, как порча и рост плесени. Аналитика больших данных охватывает огромные объёмы сложных данных, которые позволяют компаниям извлекать важную информацию: рыночные тенденции, оптимизацию цепочки поставок, сокращение отходов, повышение эффективности производства и предпочтения клиентов. Робототехника автоматизирует такие задачи, как подготовка почвы, посадка, сбор урожая и прополка, с помощью таких инноваций, как робот *Berry 5* от *Harvest Croo Robotics* для сбора клубники и робот для сбора баклажанов с использованием передовых алгоритмов. Сочетание технологий искусственного интеллекта и пищевой печати привело к созданию стартапов и исследовательских инициатив, например: *Impossible Food*, *NotCo*, *Danone*, *Just Egg*, *Fazenda Futuro* и *Fir menich* для разработки различных альтернатив растительному белку. Эти фирмы используют нейронные сети для определения идеальных сочетаний растений, которые имитируют текстуру, питательный состав и вкус блюд животного происхождения.

Качество пищевых продуктов (*Food Quality*) и биоэкономика тесно связаны между собой, т. к. биоэкономика предполагает использование биологических ресурсов для создания устойчивых продуктов и услуг, что напрямую

влияет на качество пищи, которую мы потребляем.

Следует отметить, что монография представляет собой одно из первых на русском языке комплексных исследований на стыке биоэкономики и Индустрии 4.0, с акцентом на качество пищевой продукции. Это существенно расширяет доступ российской научной аудитории к современным международным подходам и технологическим решениям в данной сфере.

Высокий научный уровень работы подтверждается анализом обширной базы источников — 180 публикаций, включая статьи, опубликованные в высокорейтинговых журналах (*International Journal of Food Microbiology*, *Algal Research*, *Food Hydrocolloids*, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *Trends in Food Science & Technology*, *Journal of Food Engineering*, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* и т.д.). Авторы демонстрируют преемственность научного подхода, сочетая в работе положения фундаментальных и прикладных исследований в области агроэкологии, химии, технологий пищевой промышленности, биоэкономики и цифровых производственных систем. Монография опирается на фундаментальные знания в области почвоведения, микробиологии, агрохимии и экологии для понимания процессов разложения органических отходов и их влияния на окружающую среду.

Таким образом, монография не только описывает отдельные технологии валоризации, а интегрирует знания из различных областей науки и техники, от фундаментальных принципов до практических приложений. Включение в анализ как зарубежных, так и российских нормативных документов позволяет связать теоретические положения с практическими механизмами регулирования пищевой отрасли. Такой подход усиливает прикладную значимость работы и её потенциал в сфере экспертно-аналитической деятельности и законотворчества. Подход авторов к системному обзору литературы формирует основу для дальнейших научных исследований в рамках биоэкономики, включая разработку новых методик оценки качества пищевых отходов, их валоризации и интеграции в производственные цепочки.

Новизна авторских идей состоит в следующих положениях:

1. обосновывается необходимость создания адекватной цифровой инфраструктуры и сервисов, особенно в развивающихся странах (Судане, Анголе, Узбекистане, Пакистане, Ираке, в странах Ближнего Востока и Северной Африки);

2. показана необходимость применения междисциплинарного подхода, в соответствии с основными принципами индустрии 4.0: объединение различных научных областей и экспертных знаний, имеющих решающее значение для ускорения цифровой трансформации в области биоэкономики.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МОНОГРАФИИ

Первая глава является вводной, авторы анализируют дефиниции термина «биоэкономика», показывают, что данный термин из сугубо научного обихода перешёл в область принятия государственных решений (с. 11).

Вторая глава посвящена биологической цепочке создания стоимости и цифровой трансформации качества пищевой продукции (с. 28). Описаны современные подходы к созданию цепочек добавленной стоимости при переработке биомассы. Например, авторы обращают внимание на производство биотоплива из сырья *первого* (сахарный тростник, сахарное сорго, сахарная свекла, кукуруза, пшеница, ячмень, картофель), *второго* (ятрофа, рыжик, каучуконос, жожоба, мискантус, подорожник и канареечный тростник; а также отходы агропромышленного и лесного хозяйства), *третьего* (цианобактерии и микроводоросли) и *четвёртого* (генномодифицированные водоросли) поколений, последнее считается наиболее перспективным способом удовлетворения мирового спроса на энергию (с. 33). Получение биотоплива из микроводорослей является «зелёной» технологией [12].

Авторы подчёркивают, что биоэкономические подходы могут приносить положительные экстерналии: увеличение использования несельскохозяйственных земель для посадки энергетических культур, например, на заброшенных или деградировавших землях, а также на землях, не используемых для сельского хозяйства. При этом в работе не обсуждаются проблемы, например, порождённые вырубкой продуктивных лесов и обуславливающие

ущерб биоразнообразию и охране глобального климата [11].

Третья глава посвящена устойчивому управлению органическими отходами в рамках биоэкономики (с. 65). Устойчивое управление проявляется не только в улучшении качества окружающей среды, сохранение природных ресурсов, но и в смягчении последствий изменения климата, являясь основой «зелёного» развития, что особенно заметно на примере отдельных регионов [20]. Действительно, продлевая «срок использования» органической продукции или вовлекая уже образовавшиеся органические отходы обратно в цикл, мы значительно минимизируем воздействие на окружающую среду и сохраняем наши ресурсы.

Так, в монографии авторы проводят исследования современного законодательства различных стран мира в области управления органическими отходами, способствующего развитию практик устойчивого управления (с. 129). Во Франции в 2020 г. вступил в силу всеобъемлющий закон о борьбе с отходами, направленный на преобразование всей системы производства, распределения и потребления из линейной в циклическую экономическую модель. Амбициозные цели включают сокращение количества пищевых отходов на 50% к 2030 г. по сравнению с 2015 г. С момента внедрения этих мер Франция добилась значительных успехов, сократив количество пищевых отходов на 10% в период с 2016 по 2020 г., согласно данным Евростата (с. 139).

У Швеции 2 основные цели по сокращению пищевых отходов: во-первых, снизить в период 2020–2025 гг. общий объём пищевых отходов на душу населения, как минимум, на 20% по весу; во-вторых, к 2025 г. обеспечить поступление в магазины и к потребителям большей части произведённых продуктов питания, чтобы уменьшить их потери (с. 140).

В Германии Национальная стратегия Федерального министерства продовольствия и сельского хозяйства по сокращению пищевых отходов (*National Strategy for Food Waste Reduction*), которая была представлена в феврале 2019 г., направлена на введение обязательных мер по сокращению количества пищевых отходов на всех этапах от фермы до продуктового магазина (с. 138).

В главе 4 «Валоризация пищевых отходов: от переработки к созданию добавленной сто-

имости» авторы интегрируют результаты научных исследований как российских, так и зарубежных учёных, что придаёт работе особую ценность. Акцентируется внимание на важности процесса превращения отходов в более полезные продукты, включая химические вещества, материалы и топливо. Например, широкое использование бананов в пищевой промышленности приводит к образованию значительного количества отходов в виде банановой кожуры, листьев, черешков (с. 150). Только банановая кожура составляет 30–40% (по массе) свежего бананового плода, что создаёт серьёзную проблему для безопасной утилизации твердых отходов. Повторное использование банановой кожуры имеет решающее значение с экологической точки зрения, поскольку её изучают как возможное сырьё для создания разнообразных продуктов с дополнительной добавленной стоимостью. Банановая кожура используется в различных отраслях промышленности, включая производство биотоплива, биосорбентов, целлюлозы и бумаги, косметику, энергетику, органические удобрения, очистку окружающей среды и биотехнологические процессы. Банановая кожура богаче фитохимическими соединениями (полифенолами и каротиноидами, витаминами А, В6, В12, а также магнием, калием, клетчаткой и белком), чем её мякоть. Это подчёркивает необходимость перехода к устойчивым методам управления отходами, что является крайне актуальным в условиях современных экологических вызовов (с. 148).

Авторы приводят примеры использования биоотходов из фруктов и овощей, которые являются буквально «сокровищами для нашего здоровья», ведь в них содержится многие необходимые питательные вещества и фитохимические вещества. Так, кожура апельсинов, винограда, лимонов и семена манго и авокадо являются одними из примеров, когда концентрация фенолов более чем на 15% превышает концентрацию в мякоти фруктов. Кожура граната представляет собой ресурс, сравнимый с плодами, если не лучший, который может быть использован в качестве источника биосоединений с высокой добавленной стоимостью в области нутрицевтики для разработки новых пищевых добавок, благотворно влияющих на здоровье человека (с. 148). Банановая кожура обладает высокой антиоксидантной активностью и антимикробными свойствами,

потенциалом в нутрицевтической и медицинской промышленности, широко используется в качестве корма для скота.

Последняя, пятая, глава монографии сосредоточена на проблеме использования биологических соединений в упаковке пищевых продуктов, что также является важным аспектом устойчивого развития в рамках биоэкономических исследований (с. 158). Например, в настоящее время использование биомассы микроводорослей в производстве упаковочных материалов на биологической основе заинтересовало учёных. Водоросли представляют собой прекрасную альтернативу для натурального производства биоупаковки и потенциально способствующей развитию биоэкономики (с. 166). Существующие исследования показали, что биополимер на основе водорослей обладает улучшенными механическими свойствами по сравнению с полимером на основе нефти [10].

Авторы обосновывают актуальность применения материалов на биологической основе, а также внедрения энергоэффективных практик и технологий. Например, зеин (белок кукурузного зерна из группы проламинов) сохраняет эффективность для упаковки пищевых продуктов из-за его превосходной биоразлагаемости, биосовместимости и газобарьерных свойств. Он также является термопластичным материалом из-за своего блестящего внешнего вида, нерастворимости в воде и адгезионных пленкообразующих свойств (с. 163). Эти подходы могут создать максимальную синергию между ресурсами, способствуя устойчивому развитию различных секторов экономики и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду. Как указывают авторы, использование упаковочных материалов на биологической основе минимизирует выбросы парниковых газов, а также продлевает срок годности различных пищевых продуктов из-за содержания в ней противомикробных соединений.

Интересен пример биоупаковки из крахмала (с. 160). Из-за своей щедрой распространённости в природе его можно найти повсюду – в клубнях картофеля, зёрнах кукурузы, стеблях риса, а иногда и в экзотических уголках, как, например, в кокосах бабассу. Учёные привлекают этот ценный компонент и превращают его в экологичную альтернативу полистиролу. Так крахмал становится героем новой эпохи –

эпохи зелёной науки, устойчивого будущего и мудрой переработки. Он считается идеальной альтернативой полистиролу и обычно применяется в одноразовой посуде, мисках, тарелках, бутылках, столовых приборах, бутылках и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, монография является заметным вкладом в теорию и практику управления отходами и может послужить основой для внедрения инновационных технологий в эту проблемную для многих стран сферу хозяйственной деятельности.

При переиздании монографии рекомендуется обратить внимание на экономические и институциональные механизмы стимулирования валоризации. Так, эффективные механизмы стимулирования могут создать и расширить рынок биопродуктов (продукции без искусственных пестицидов, регуляторов, искусственных пищевых добавок) и услуг, делая валоризацию органических от-

ходов более привлекательной для бизнеса. Среди экономических механизмов следует выделить субсидии и гранты, налоговые льготы (например, анализ налоговых льгот для компаний, занимающихся переработкой отходов, производством биопродуктов и возобновляемой энергии), зелёные облигации, тарифы и квоты (обсуждение возможности установления тарифов на захоронение отходов и квот на использование биопродуктов). В экономическом контексте заслуживает рассмотрения анализ того, как расширенная ответственность производителя может стимулировать переработку органических отходов и производство биопродуктов с обсуждением возможностей включения проектов по валоризации органических отходов в систему торговли выбросами. Среди институциональных механизмов актуален анализ существующих нормативных актов с целью выработки рекомендаций по их совершенствованию, а также разработка стандартов качества для биопродуктов и внедрение систем сертификации для подтверждения их экологичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Т. В. Оценка эффективности цепочки создания стоимости продукта в пищевой промышленности: дис. ... канд. экон. наук. Оренбург, 2012. 211 с.
2. Биоэкономика в России: перспективы развития / О. В. Кудрявцева, Т. И. Андреев, А. В. Бартош, С. Н. Бобылев, М. С. Головин, А. А. Горячева, Е. Ю. Яковлева. М.: Проспект, 2017. 176 с.
3. Бобылёв С. Н., Михайлова С. Ю., Кирюшин П. А. Биоэкономика: проблемы становления // Экономика. Налоги. Право. 2014. № 6. С. 20–25.
4. Бобылев С. Н., Порфирьев Б. Н. В поисках новой экономики // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2019. № 4. С. 3–7. DOI: 10.38050/01300105201941
5. Бобылев С., Соловьева С., Кирюшин П. Крах глобальной модели потребления: в поисках устойчивости // Мировая экономика и международные отношения. 2022. Т. 66. № 11. С. 92–100. DOI: 10.20542/0131-2227-2022-66-11-92-100
6. Герцик Ю. Г., Омельченко И. Н. Биотехнологии как основа развития биоэкономики // XLVI Академические чтения по космонавтике. 2022. Т. 2. С. 22–26.
7. Игнатенко А. С., Идрисова В. В., Литвинова Ю. О. Анализ глобальных цепочек в моделях международной торговли. М.: ИД Дело РАН-ХиГС, 2017. 126 с.
8. Карцхия А. А. Биоэкономика и биобезопасность: правовой аспект // Правовая информатика. 2024. № 3. С. 216–224. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-3-216-224
9. Катанаева Ю. А. Пищевые отходы как ценный источник компонентов с высокой добавленной стоимостью // Материалы пула научно-практических конференций / под ред. Е. П. Масюткина. Керчь, 2022. С. 121–124. DOI: 10.56634/16948335.2023.2.1102-1116
10. Комплексное использование отходов плодовоовощного производства при сушке органоминерального удобрения / А. И. Ажгиревич, Д. И. Монастырский, М. А. Куликова, Е. А. Грибут, Т. А. Колесникова, А. Н. Андреева, Д. А. Новикова // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 107–113. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-107-113
11. Медведков А. А. Геоэкологические проблемы в контексте климатических изменений: теоретический анализ и региональные проявления // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2025. Т. 88. № 3. С. 263–280. DOI: 10.31857/S2587556624030011
12. Мутиц О. С. Биоэкономика в России и мире: современное состояние и проблемы // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Т. 11. № 12-1. С. 416–424. DOI: 10.34670/AR.2021.80.37.034
13. Нестеренко М. А., Комлацкий Г. В. Биоэкономика как новая парадигма развития // Russian

- Journal of Management. 2022. № 4. С. 96–100. DOI: 10.29039/2409-6024-2021-9-4-96-100
14. Рассохина И. И., Коткова Д. Н., Платонов А. В. Анализ мировой публикационной активности по направлению «биоэкономика» // Проблемы развития территории. 2019. № 3. С. 152–165. DOI: 10.15838/ptd.2019.3.101.10
 15. Теория и практика развития биоэкономики: инновации, цифровизация, трансформация... / И. А. Максимцев., А. Э. Сулейманкадиева, Н. М. Фомичева, И. И. Добросердова, Н. С. Лавецкая, Л. В. Хорева, Н. А. Димитриади и др. СПб.: СПбГЭУ, 2019. 154 с.
 16. Титова Е. С., Шишкин С. С., Штыхно Д. А. Биоэкономика — один из путей к устойчивому развитию регионов России // Федерализм. 2023. Т. 28. № 1. С. 56–79. DOI: 10.21686/2073-1051-2023-1-56-79
 17. Тяглов С. Г., Атамась Е. В. Экономика замкнутого цикла в сельскохозяйственном производстве: потенциал реализации в новых институциональных условиях // Регионоведение. 2024. Т. 32. № 4. С. 635–652. DOI: 10.15507/2413-1407.129.032.202404.635-652
 18. Abu Qdais H., Al-Widyan M. Evaluating composting and co-composting kinetics of various agro-industrial wastes // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2024. № 5. DOI: 10.1007/s40093-016-0137-3
 19. Advanced Technologies for Bioeconomy: The Case of Microalgae Production / I. Adarchenko, A. Kurbatova, N. Porotnikova, E. Savenkova, V. Kumar, Y. Skorokhodova // Foresight and STI Governance. 2024. № 18. P. 69–83. DOI: 10.17323/2500-2597.2024.2.69.83
 20. Evseev A. V., Krasovskaya T. M., Medvedkov A. A. “Green” development of the Ugra territory: options and obstacles // Geography, Environment, Sustainability. 2017. Т. 10. № 2. P. 94–102. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-2-94-102
 21. Industry 4.0 digital transformation: Shaping the future of food quality / B. Bisht, K. Rawat, A. Vohat, N. Jangid, N. Singh, K. Nishinari, M. S. Vlskin et al. // Food Control. 2025. Vol. 170. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.111030
 22. Kuznetsova A., Al-Shekhadat R. I. Food waste as a raw material for production of polyhydroxyalkanoates: State and prospects // Food systems. 2024. № 7. P. 31–43. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-31-43
 23. Terleeva A. V. Organic waste recycling in the context of resource scarcity problem: historical aspect // Russian journal of resources, conservation and recycling. 2021. № 8. DOI: 10.15862/02ECOR321
 - of the efficiency of the product value chain in the food industry: Cand. Sci. thesis in Economics sciences]. Orenburg, 2012. 211 p.
 2. Kudryavtseva O. V., Andreenko T. I., Bartosh A. V., Bobylev S. N., Golovin M. S., Goryacheva A. A., Yakovleva E. Yu. *Bioekonomika v Rossii: perspektivy razvitiya* [Bioeconomics in Russia: development prospects]. Moscow, Prospect Publ., 2017. 176 p.
 3. Bobylev S. N., Mikhailova S. Yu., Kiryushin P. A. [Bioeconomics: problems of formation]. In: *Ekonomika. Nalogi. Pravo* [Economy. Taxes. Law], 2014, no. 6, pp. 20–25.
 4. Bobylev S. N., Porfiryev B. N. [In search of a new economy]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika* [Bulletin of Moscow University. Series 6. Economy], 2019, no. 4, pp. 3–7. DOI: 10.38050/01300105201941
 5. Bobylev S., Solovieva S., Kiryushin P. [The Collapse of the Global Consumption Model: In Search of Sustainability]. In: *Mirovaya ekonomika i razvivayushchiyesya otnosheniya* [World Economy and International Relations], 2022, vol. 66, no. 11, pp. 92–100. DOI: 10.20542/0131-2227-2022-66-11-92-100
 6. Gertsik Yu. G., Omelchenko I. N. [Biotechnology as the Basis for the Development of the Bioeconomy]. In: *XLVI Akademicheskije chteniya po kosmonavtike* [46th Academic Readings on Cosmonautics], 2022, vol. 2, pp. 22–26.
 7. Ignatenko A. S., Idrisova V. V., Litvinova Yu. O. *Proanaliziruyte voz'mite tsepochek v modelyakh mezhdunarodnoy trgovli* [Analysis of global chains in international trade models]. Moscow, ID Delo RANEPa Publ., 2017. 126 p.
 8. Kartkhiya A. A. [Bioeconomics and biosafety: legal aspect]. In: *Pravovaya informatika* [Legal informatics], 2024, no. 3, pp. 216–224. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-3-216-224
 9. Katanaeva Yu. A. [Food waste as a valuable source of components with high added value]. In: Masyutkin E. P., ed. *Materialy pula nauchno-prakticheskikh konferentsiy* [Proceedings of the pool of scientific and practical conferences]. Kerch, 2022, pp. 121–124. DOI: 10.56634/16948335.2023.2.1102-1116
 10. Azhgirevich A. I., Monastyrsky D. I., Kulikova M. A., Gribut E. A., Kolesnikova T. A., Andreeva A. N., Novikova D. A. [Complex use of fruit and vegetable production waste in drying organomineral fertilizer]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of regional ecology], 2022, no. 2, pp. 107–113. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-107-113
 11. Medvedkov A. A. [Geoecological problems in the context of climate change: theoretical analysis and regional manifestations]. In: *Izvestiya akademii rossiyskikh nauk. Seriya geograficheskaya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geography-

REFERENCES

- cal series], 2025, vol. 88, no. 3, pp. 263–280. DOI: 10.31857/S2587556624030011
12. Mutits O. S. [Bioeconomics in Russia and the world: current state and problems]. In: *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economy: yesterday, today, tomorrow], 2021, vol. 11, no. 12-1, pp. 416–424. DOI: 10.34670/AR.2021.80.37.034
 13. Nesterenko M. A., Komlatsky G. V. [Bioeconomics as a new development paradigm]. In: *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta* [Russian Journal of Management], 2022, no. 4, pp. 96–100. DOI: 10.29039/2409-6024-2021-9-4-96-100
 14. Rassokhina I. I., Kotkova D. N., Platonov A. V. [Analysis of global publication activity in the field of "bioeconomics"]. In: *Problemy razvitiya territorii* [Problems of Territory Development], 2019, no. 3, pp. 152–165. DOI: 10.15838/ptd.2019.3.101.10
 15. Maksimtsev I. A., Suleymankadiyeva A. E., Fomicheva N. M., Dobroserdova I. I., Lavetskaya N. S., Khoreva L. V., Dimitriadi N. A., et al. *Teoriya i praktika razvitiya bioekonomiki: innovatsii, tsifrovizatsiya, transformatsiya...* [Theory and practice of bioeconomy development: innovation, digitalization, transformation...] St. Petersburg, SPbGEU Publ., 2019. 154 p.
 16. Titova E. S., Shishkin S. S., Shtykhno D. A. [Bioeconomy is one of the ways to sustainable development of Russian regions]. In: [Federalism], 2023, vol. 28, no. 1, pp. 56–79. DOI: 10.21686/2073-1051-2023-1-56-79
 17. Tyaglov S. G., Atamas E. V. [Circular Economy in Agricultural Production: Potential for Implementation in New Institutional Conditions]. In: *Regionologiya* [Regionology], 2024, vol. 32, no. 4, pp. 635–652. DOI: 10.15507/2413-1407.129.032.202404.635-652
 18. Abu Qdais H., Al-Widyan M. Evaluating composting and co-composting kinetics of various agro-industrial wastes. In: *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2024, no. 5. DOI: 10.1007/s40093-016-0137-3
 19. Adarchenko I., Kurbatova A., Porotnikova N., Savenkova E., Kumar V., Skorokhodova Y. Advanced Technologies for Bioeconomy: The Case of Microalgae Production. In: *Foresight and STI Governance*, 2024, no. 18, pp. 69–83. DOI: 10.17323/2500-2597.2024.2.69.83
 20. Evseev A. V., Krasovskaya T. M., Medvedkov A. A. "Green" development of the Ugra territory: options and obstacles. In: *Geography, Environment, Sustainability*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 94–102. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-2-94-102
 21. Bisht B., Rawat K., Vohat A., Jangid N., Singh N., Nishinari K., Vlaskin M. S., et al. Industry 4.0 digital transformation: Shaping the future of food quality. In: *Food Control*, 2025, vol. 170. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.111030
 22. Kuznetsova A., Al-Shekhadat R. I. Food waste as a raw material for production of polyhydroxyalkanoates: State and prospects. In: *Food systems*, 2024, no. 7, pp. 31–43. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-31-43
 23. Terleeva A. V. Organic waste recycling in the context of resource scarcity problem: historical aspect. In: *Russian journal of resources, conservation and recycling*, 2021, no. 8. DOI: 10.15862/02ECOR321

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бейсенова Райхан Рымбаевна — доктор биологических наук, профессор, проректор по науке и международному сотрудничеству Казахского национального университета водного хозяйства и ирригации; e-mail: r.beisenova@kaznuvhi.edu.kz

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Raikhan R. Beisenova — Dr. Sci. (Biology), Prof., Vice-Rector for Science and International Cooperation, Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Kazakhstan; e-mail: r.beisenova@kaznuvhi.edu.kz

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Бейсенова Р. Р. Рецензия на монографию: Курбатова А. И., Абу-Кдэйс Х. Биоэкономика 4.0: инновационные подходы к валоризации органических отходов. М.: ИНФРА-М, 2026. 202 с. // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 131–140.

FOR CITATION

Beisenova R. R. Review of the monograph: Kurbatova A. I., Abu-Qdais H. Bioeconomics 4.0: innovative approaches to the valorization of organic waste. Moscow: INFRA-M, 2026. 202 p. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 131–140.

[illegible]

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ / GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT AND LIVING SYSTEMS

Научный журнал издаётся Государственным университетом просвещения с 1998 г.

Цель Журнала:

- обсуждение на страницах издания актуальных проблем географической экологии и геосистемного прогнозирования, биологического разнообразия ландшафтов и индикации окружающей среды, диагностики социально-экологических проблем, пространственного планирования и «зелёного» развития территорий, формирования и эволюции туристских дестинаций, территориальной и ресурсной охраны природы.

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 методические аспекты мониторинга природной среды и геосферно-биосферных процессов, анализ конкретных индикаторов экологических (в т.ч. медико-экологических) и эколого-экономических проблем, а также тенденций эколого-технологического развития самых разных объектов (от предприятий и отраслей до стран и крупных регионов);
- 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;
- содействовать интеграции российских учёных в международное научное сообщество.

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 сайтах журнала (www.geoecosreda.ru).

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ / GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT AND LIVING SYSTEMS

2025. № 1

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.geoecosreda.ru

Формат 70x108/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Minion Pro».

Тираж 500 экз. Усл. п.л. 17,75, уч.-изд. л. 13.

Подписано в печать: 30.06.2025. Выход в свет: 04.07.2025. Заказ № 2025/07-06.

Отпечатано в Государственном университете просвещения
105005, г. Москва, ул. Радио, 10А