

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).

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. Candidate or Doctorate Degree” (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 – Geoeology (Geographic Sciences).

ISSN 2712-7613 (print)

ISSN 2712-7621 (online)

2024 № 1

Учредитель журнала
«Географическая среда и живые системы / Geographical Environment and Living Systems»

Государственный университет просвещения

Выходит 4 раза в год

Редакционная коллегия

Главный редактор:

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

Зам. главного редактора:

ЕВДОКИМОВ М. Ю. – канд. геогр. наук, Государственный университет просвещения

Ответственный секретарь:

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

Заборцева Т. И. – д-р геогр. наук, Институт географии имени 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 «Геолэкспертиза»

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 «зеленого» 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.geocosreda.ru).

При цитировании ссылка на журнал «Географическая среда и живые системы / Geographical Environment and Living Systems» 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. 2024. № 1. 182 с.

© Государственный университет просвещения, 2024.

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.geocosreda.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

Deputy editor-in-chief:

M. Yu. EVDOKIMOV – PhD (Geography), State University of Education

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

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. 2024. no. 1. 182 p.

© State University of Education, 2024.

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

- Дроздов В. В.* Региональные особенности влияния изменений климата на компоненты экосистем внутренних морей Европы и их побережья 6
- Куракова А. А., Медведков А. А.* Влияние ландшафтно-экологических изменений на трансформацию речного стока двух водосборов-аналогов в юго-западной части Обь-Иртышского бассейна 30
- Орбан Е. С., Шарафутдинов Р. А.* Химические элементы в системе «почва – растения» пойменных ландшафтов г. Красноярск 55
- Куулар Х. Б.* Горимость растительности на землях лесного фонда Республики Тыва в условиях изменяющегося климата 70

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Булохов А. В., Романова Э. П.* Энергетика Великобритании: экономические и политические решения на пути к нормализации экологической обстановки 86
- Тихий В. И., Филатов А. Н.* Реформа системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Российской Федерации: общие проблемы реализации и экономико-географический анализ на примере Орловской области 106

ГЕОГРАФИЯ НАСЕЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Балабейкина О. А., Афанасьев Д. А.* Доминанта конфессионального пространства Финляндии: комплексная характеристика 120

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ

- Григорьев Ал. А.* Священные места как памятники наследия и объекты туризма: географические аспекты 137

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Щелканов Е. М., Тишина Е. А., Мануков Ю. И., Сапрыкин В. П.* Биотрансформация ксенобиотиков моллюсками (*Mollusca L., 1758*) – индикаторами состояния водных экосистем 154

CONTENTS

NATURAL-ANTHROPOGENIC PROCESSES AND LANDSCAPE PROTECTION

- V. Drozdov.* Regional Features of the Impact of Climate Change on Components of Ecosystems of the Inland Seas of Europe and Their Coasts. 7
- A. Kurakova, A. Medvedkov.* Influence of Landscape-Ecological Changes on River Flow Transformation of Two Analogous Drains in the Southwestern Part of the Ob-Irtysh Basin. . 31
- E. Orban, R. Sharafutdinov.* Chemical Elements in the «Soil – Plants» System of Floodplain Landscapes in the City of Krasnoyarsk 56
- Kh. Kuular.* Fire Danger of the Vegetation on the Lands of the Forest Fund of the Tyva Republic in a Changing Climate 71

ENVIRONMENTAL POLICY AND RATIONALIZATION OF NATURE MANAGEMENT

- A. Bulokhov, E. Romanova.* Uk Energy: Political and Economic Solutions on the Way to Normalization the Ecological Conditions 87
- V. Tikhii, A. Filatov.* Reform of the Municipal Solid Waste Management System in the Russian Federation: General Problems of Implementation and Economic and Geographical Analysis on the Example of the Oryol Region 107

POPULATION GEOGRAPHY AND SOCIAL ECOLOGY

- O. Balabeykina, D. Afanasyev.* The Dominant Confessional Space in Finland: A Comprehensive Characteristic 121

RECREATIONAL GEOGRAPHY AND TOURISM

- Al. Grigoriev.* Sacred Places as Heritage Monuments and Objects of Tourism: Geographical Aspects 138

BIOINDICATION OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS

- E. Shchelkanov, E. Tishina, Yu. Manukov, V. Saprykin.* Biotransformation of Xenobiotics by Molluscs (Mollusca L., 1758) – Indicators of Aquatic Ecosystem Pollution. 155

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

Научная статья

УДК 551.582:574.5

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА КОМПОНЕНТЫ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ ЕВРОПЫ И ИХ ПОБЕРЕЖЬЯ

Дроздов В. В.

Российский государственный гидрометеорологический университет,
192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Российская Федерация;
E-mail: vladidrozдов@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2412-7682

Поступила в редакцию 28.11.2023

После доработки 12.01.2024

Принята к публикации 22.01.2024

Аннотация

Цель. Установление степени и характера влияния климатических изменений на абиотические и биотические компоненты экосистем внутренних морей Европы и их побережий для совершенствования мероприятий по рациональному природопользованию.

Процедура и методы. Использовались корреляционный, кластерный, спектральный и регрессионный методы анализа многолетних климатических, океанологических и промыслового-гидробиологических данных.

Результаты. Обосновано, что рост интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой приводит к потеплению над акваториями Балтийского и Белого морей, росту объёма стока рек в бассейнах данных морей. Одновременно с этим над акваториями Чёрного и Азовского морей возможны похолодание и уменьшение объёмов речного стока в их бассейнах. В соответствии с этим наблюдается изменение значений экологических факторов, оказывающих влияние на биологическую продуктивность морских организмов, в частности, на промысловых рыб и на их ареалы: солёности и температуры воды, интенсивности водообмена со смежными морскими акваториями и концентрации растворённого кислорода на различных глубинах. Оценена роль антропогенного влияния на показатели урожайности популяций донных и пелагических промысловых рыб на основе анализа величин промысловой смертности.

Теоретическая и/или практическая значимость. Установлены и обоснованы сложные причинно-следственные связи между динамикой климатических, океанологических, гидрологических и биотических компонентов морских экосистем.

Ключевые слова: колебания климата, океанологические условия и речной сток, экосистемы Балтийского, Белого, Чёрного и Азовского морей и их побережья

© СС ВУ Дроздов В. В., 2024.

Благодарности. Исследование выполнено при частичной поддержке гранта Российского научного Фонда № 22-27-20145, а также Санкт-Петербургского научного фонда, финансировавшего данный проект. Исследования за счёт данного гранта были выполнены в 2022–2023 гг. и касались изучения изменчивости климата и его экологических последствий в регионе восточной части Балтийского моря, включая акватории и прибрежные территории Ленинградской области.

Original Research Article

REGIONAL FEATURES OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON COMPONENTS OF ECOSYSTEMS OF THE INLAND SEAS OF EUROPE AND THEIR COASTS

V. Drozdov

*Russian State Hydrometeorological University,
ul. Voronezhskaya 79, St. Petersburg 192007, Russian Federation;
E-mail: vladidrozdov@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2412-7682*

Received 28.11.2023

Revised 12.01.2024

Accepted 22.01.2024

Abstract

Aim. Establishing the degree and nature of the impact of climate change on the abiotic and biotic components of the ecosystems of the inland seas of Europe and their coasts to improve measures for rational environmental management.

Procedure and methods. Correlation, cluster, spectral and regression methods were used to analyze long-term climatic, oceanological and commercial hydrobiological data.

Results. It has been substantiated that an increase in the intensity of atmospheric circulation over the North Atlantic leads to warming over the waters of the Baltic and White Seas and an increase in the volume of river runoff in the basins of these seas. At the same time, cooling and a decrease in river flow volumes in their basins can be expected over the waters of the Black and Azov Seas. In accordance with this, there is a change in the values of environmental factors that influence the biological productivity of marine organisms, in particular, commercial fish and their habitats: salinity and water temperature, the intensity of water exchange with adjacent sea areas and the concentration of dissolved oxygen at different depths. The role of anthropogenic influence on the productivity of demersal and pelagic commercial fish populations was assessed based on an analysis of fishing mortality values.

Research implications. of the study lies in the establishment and substantiation of complex cause-and-effect relationships between the dynamics of climatic, oceanological, hydrological and biotic components of marine ecosystems.

Keywords: climate fluctuations, oceanological conditions and river flow, ecosystems of the Baltic, White, Black and Azov seas and their coasts

Acknowledgments. The research was carried out with partial support from a grant from the Russian Science Foundation no. 22-27-20145, as well as the St. Petersburg Science Foundation, which co-financed the project. Research supported by this grant was carried out in 2022–2023 and concerned the study of climate variability and its environmental consequences in the region of the eastern Baltic Sea, including the waters and coastal areas of the Leningrad region.

Введение

Одним из приоритетов Всемирной климатической программы является реализация проекта CLIVAR (*Climate Variability and Predictability*) с целью анализа причин изменчивости климата и оценки различных возникающих последствий, в т. ч. экологических¹. Климатические изменения могут оказывать влияние на функционирование морских экосистем, в т. ч. на биологическое разнообразие и биологическую продуктивность. Для экосистем внутренних морей Европы свойственны достаточно сложные исторические пути формирования состава фауны и флоры, которые в настоящее время представлены различными зоогеографическими комплексами [4; 8; 10; 12; 14; 18].

Характеризуясь, в целом, значительной биологической продуктивностью и рыбными запасами, внутренние моря по причине замедленного водообмена с океаном являются уязвимыми к влиянию меняющегося климата и деятельности человека. Высокая численность промысловых рыб достаточно часто сменяется упадком их численности, вплоть до сокращения доступных запасов в несколько раз и введения запрета на промысел [8; 11; 19]. Необходимо повысить эффективность управления морской хозяйственной деятельностью, связанной с промышленным рыболовством во внутренних морях на фоне климатических колебаний, для предотвращения истощения морских биологических ресурсов.

Данная статья частично основана на обобщении полученных автором

результатов применительно к исследованию динамики экосистем внутренних морей Европы, в т. ч. Балтийского моря, в связи с изменениями климата [7; 8; 9; 10].

Для достижения цели исследования проанализированы многочисленные опубликованные материалы по исследуемой проблеме, а также сведения и данные, представленные на сайтах профильных российских и иностранных организаций в сети Интернет: Единой системы информации о Мировом океане (ЕСИМО)²; Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации³; Всемирной продовольственной организации (FAO)⁴; Международного совета по исследованию моря (ICES)⁵; Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA)⁶; Постоянной службы определения среднего уровня моря (PSMSL)⁷; Уни-

¹ Program CLIVAR (Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.clivar.org> (дата обращения: 10.09.2023).

² Единая система информации о Мировом океане. Проект ЕСИМО: [сайт]. URL: <http://www.esimo.ru> (дата обращения: 10.09.2023).

³ Федеральное агентство по рыболовству Российской Федерации: [сайт]. URL: <https://fish.gov.ru/> (дата обращения: 10.08.2023).

⁴ FAO. Состояние морского рыболовства и аквакультуры 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/3/ca9229ru/online/ca9229ru.html> (дата обращения: 18.09.2023).

⁵ ICES. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS)/ [Электронный ресурс]. URL: https://ices-library.figshare.com/articles/report/Baltic_Fisheries_Assessment_Working_Group_WGBFAS_/19793014 (дата обращения: 15.08.2023).

⁶ National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies. GISS Surface Temperature Analysis [Электронный ресурс]. URL: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data_v4_globe/ (дата обращения: 30.08.2023).

⁷ Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.psmsl.org>. (дата обращения: 12.11.2022).

верситета восточной Англии¹. Для решения аналитических расчётных задач применительно к массивам многолетних данных использован пакет вычислительных программ Statistica 10.0.

Научно-теоретическую основу исследований составили труды сотрудников российских организаций: Московского государственного университета [2], Зоологического института РАН [4], Мурманского морского биологического института РАН и Южного научного центра РАН [3; 14; 18], Института морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН [3], Атлантического филиала Всероссийского института рыбного хозяйства и океанографии [11; 12], Санкт-Петербургского государственного университета [13], Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации [15], Российского государственного гидрометеорологического университета [16] и др.

Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой и Европой

Климат и погода Северной Атлантики и прилегающих к ней районов Европы во многом зависят от интенсивности и направленности атмосферной циркуляции, которая представлена системами низкого и высокого давления. Центр циклонической системы пониженного давления расположен к юго-западу от о. Исландия и носит название Исландского минимума давления (ИМД). К югу, в районе Азорских островов, находится центр антициклонической системы повышенного давления, именуемый Азорским мак-

симумом давления (АзМД). Благодаря взаимодействию между этими системами в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных масс, тепла и влаги с запада на восток. При этом интенсивность данного переноса демонстрирует значительные колебания во времени в силу того, что положение в пространстве и степень выраженности ИМД и АзМД варьируются [17]. За показатель интенсивности западного переноса воздушных масс принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных вблизи центров действия атмосферы – ИМД и АзМД. Эту разность давления, определяемую обычно в среднем за зимние месяцы, называют Североатлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation – NAO) [8; 15; 16].

Используются различные варианты индекса NAO. Наиболее часто в исследованиях применяется разность давления между Азорскими островами (Понта-Делгада) и Исландией (Акурейри), осреднённая за 3 зимних месяца (декабрь–февраль) – индекс NAO 1. Представляют его непосредственно в единицах давления (гПа) или в виде отклонения от среднего в долях дисперсии. В климатических исследованиях применяют также разности атмосферного давления между пунктами Лиссабон (Португалия) и Стиккисхоульмюр (Исландия), осреднённые за 4 зимних месяца (декабрь–март) – NAO 2. Для характеристики Североатлантического колебания может быть также использована разность давлений непосредственно между центрами действия атмосферы – NAO 3, а также разности давления на меридиане, между точками с координатами 45° с.ш., 30° з.д. и 60° с.ш.,

¹ University of East Anglia [Электронный ресурс]. URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/> (дата обращения: 03.04.2023).

30° з.д., осреднённые за 3 зимних месяца (декабрь–февраль) – НАО 4 [16].

Главной особенностью многолетней динамики интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемой в виде индексов НАО, является её ослабление в 1960-е гг. и рост в конце 1980-х – начале 1990-х гг. В 1960-е гг. существенно снизился западный перенос в умеренных широтах. Во второй половине 1980-х гг. наблюдалось возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которое ранее, за последнее столетие, аналогично не проявлялось. Выше средней многолетней нормы значения данных индексов атмосферной циркуляции были также в 1995, в 1999–2000 гг., а также в 2003 г. Выполненный спектральный анализ изменчивости индекса НАО 1 показал, что наиболее значимыми периодами колебаний являются (в порядке снижения значимости) – 22, 10, 7,7, 36 и 4,5 года.

Формы типизации атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса [5] (Вангенгейм, 1952) и Б. Л. Дзердзеевского [6] также демонстрируют эффективность во многих климатических исследованиях. Типизация крупномасштабных атмосферных процессов предложена Г. Я. Вангенгеймом для северной части Восточного полушария и в последующем была усовершенствована им совместно с А. А. Гирсом для Западного полушария. Данная типизация основана на понятии элементарного синоптического процесса, в течение которого в данном районе сохраняются основные направления воздушных течений и знак барического поля. Атмосферные процессы для Восточного полушария были подраз-

делены на 3 формы атмосферной циркуляции: западная (*W*), восточная (*E*) и меридиональная (*C*).

Типизация атмосферных процессов Б. Л. Дзердзеевского была разработана в отделе климатологии Института географии РАН. В отличие от других рассмотренных выше типизаций форм циркуляционных атмосферных процессов в данном случае комплексно учитываются крупномасштабные процессы в пределах всего Северного полушария. Это позволяет оценить ход развития крупномасштабных климатообразующих процессов обобщённо, в т. ч. динамику и взаимодействие между собой различных центров действия атмосферы. Следует заметить, что применительно к объектам настоящего исследования, которыми являются экосистемы Белого, Балтийского, Чёрного и Азовского морей, использование типизации Б. Л. Дзердзеевского представляется весьма целесообразным, т. к. формирование и изменчивость климата над их бассейнами является результатом совместного воздействия арктических, умеренных и южных воздушных масс.

Многолетние изменения температуры воздуха, воды и объёмов речного стока в связи с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции

Выполнен анализ многолетней изменчивости температуры воздуха в 32 пунктах наблюдений на побережьях Чёрного, Азовского, Белого и Балтийского морей, а также температуры воды в поверхностном, промежуточном и глубинном слоях в ряде районов расположения крупнейших популяций промысловых рыб. На рисунке 1 пред-

ставлена многолетняя изменчивость температуры воздуха на станциях на побережьях Белого и Балтийского морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции NAO 1 по данным University of East Anglia... На рисунке 2 представлена многолетняя динамика температуры воздуха по данным National Aeronautics and Space... на станциях на побережьях Азовского и Чёрного морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции NAO 1.

Для большинства используемых станций наблюдений на побережье Чёрного и Азовского морей установлена статистически достоверная корреляционная связь между динамикой значений индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму, а также в среднем за год, однако данная связь существенно менее тесная, чем для побережий Балтийского и Белого морей. Для района Сочи было характерно похолодание в середине 1980-х гг., здесь, а также на станциях наблюдений в Турции на Черноморском побережье корреляционная связь меняет свой характер с прямой на обратную. Как видно из рисунка 1, с начала 1990-х гг. на станциях побережий Белого и Балтийского морей возникла тенденция к потеплению, что подтверждается значимыми полиномиальными трендами.

Установлена статистически достоверная корреляционная связь между изменчивостью индекса интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантики NAO 1 и значениями температуры воздуха за зиму ($r =$ от 0,53 до 0,58 при $P = 99\%$) и в среднем за год ($r =$ от 0,51 до 0,55 при $P = 99\%$).

Как видно из рисунка 2, динамика средней годовой температуры воздуха на побережьях Азовского и Чёрного морей также демонстрирует значимые положительные тренды за рассматриваемый период времени. Однако здесь потепление началось несколько раньше – с конца 1980-х гг.

Таким образом, по-видимому, на фоне активизации циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой основной поток тепла и атмосферной влаги с океана направляется на северо-восток Европы, тогда как юго-восточные области начинают испытывать соответствующий дефицит.

Выполнен кластерный анализ данных с 1950 по 2022 гг. для уточнения специфики региональной динамики температуры воздуха, результаты которого представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3а), применительно к побережьям Балтийского моря выделяется 3 основных региональных кластера. Первый, наиболее выраженный, кластер соответствует районам Хапаранда и Соданкюля около северного побережья Ботнического залива. Второй кластер свойственен району Копенгагена. Третий кластер объединяет районы Стокгольма, Калининграда и Риги. Результаты кластерного анализа, представленные на рисунке 3б), позволяют говорить о наличии 3 основных кластеров в серии анализируемых данных для побережий Чёрного моря. Первый, наиболее выраженный, кластер соответствует району Одессы. Второй кластер соответствует районам Констанцы и Феодосии. Третий, менее выраженный, кластер включает станции турецкого черноморского побережья и Сочи.

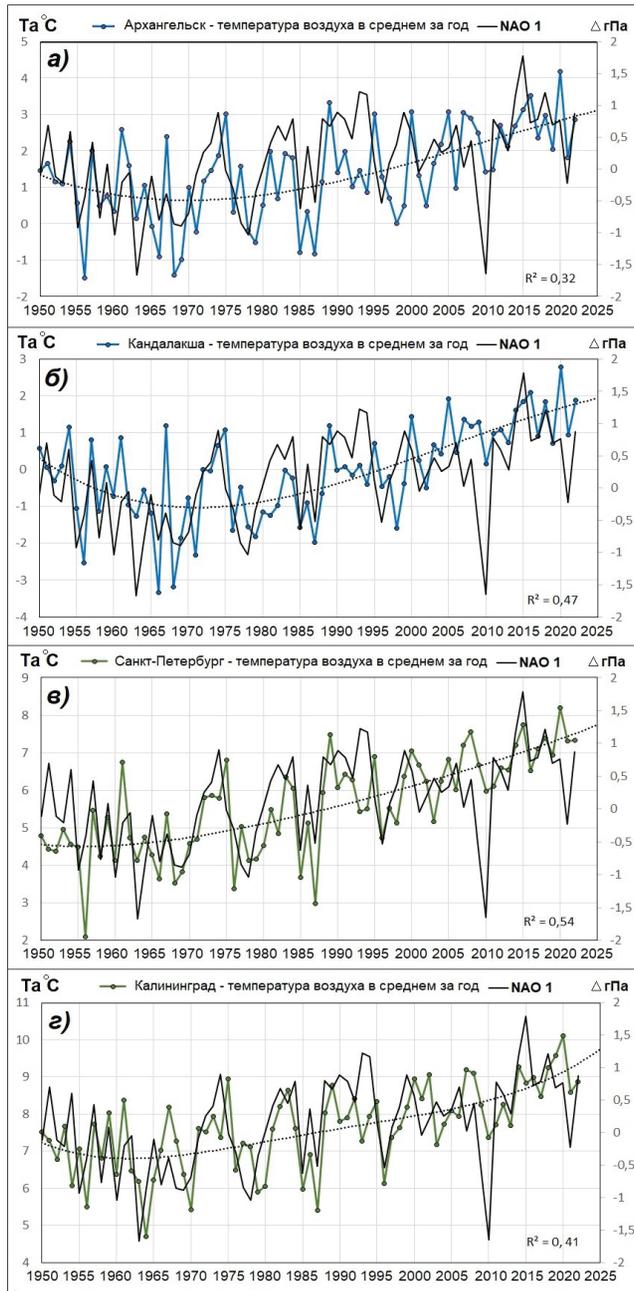


Рис. 1 / Fig. 1. Многолетняя динамика температуры воздуха на станциях на побережьях Белого и Балтийского морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Пунктирной линией показан полиномиальный тренд по 4-летиям / Long-term dynamics of air temperature at stations on the coasts of the White and Baltic Seas in comparison with the dynamics of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1. The dotted line shows a polynomial trend over 4 years

Источник: составлено автором

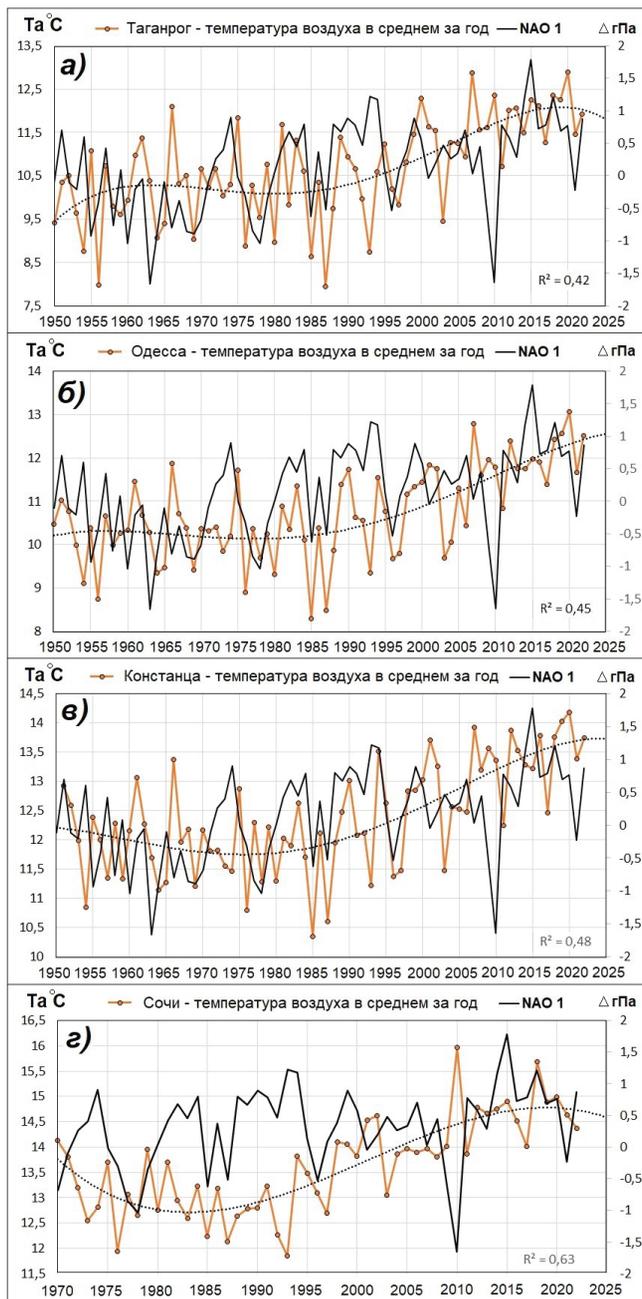


Рис. 2 / Fig. 2. Многолетняя динамика температуры воздуха на станциях на побережьях Азовского и Чёрного морей в сравнении с динамикой индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Пунктирной линией показан полиномиальный тренд по четырёхлетиям / Long-term dynamics of air temperature at stations on the coasts of the Azov and Black Seas in comparison with the dynamics of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1. The dotted line shows a polynomial trend over 4 years

Источник: составлено автором

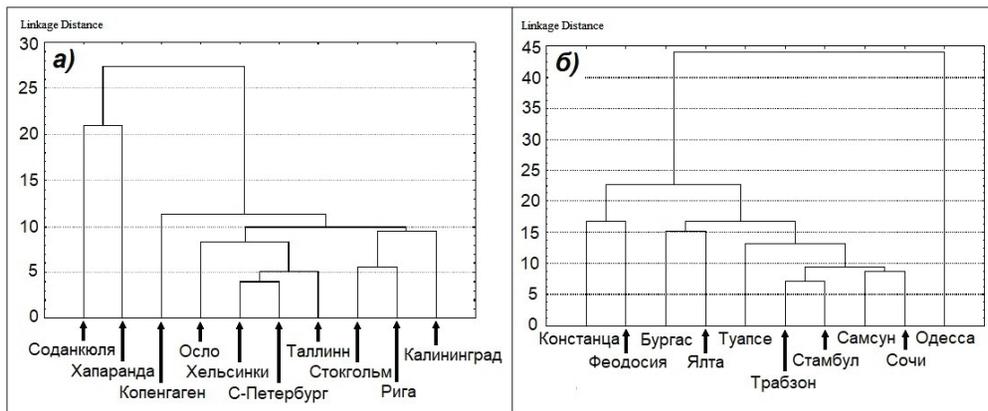


Рис. 3 / Fig. 3. Результаты кластерного анализа многолетних данных о средней годовой температуре воздуха на побережьях Балтийского (а) и Чёрного моря (б) / Results of cluster analysis of long-term data on average annual air temperature on the coasts of the Baltic (a) and Black Sea (b)

Источник: составлено автором

На побережьях Белого моря наиболее чётко выраженный кластер применительно к изменчивости температуры воздуха соответствует Соловецкому архипелагу в центральной части моря. Второй по значимости кластер включает о. Мудьюг и ст. Разноволок в восточных районах. Третий кластер объединяет станции наблюдений, расположенные в Горле на севере Белого моря – Сосновец и Моржовец [8].

Установлен статистически достоверный положительный характер связи между значениями индекса интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и температурой воды на поверхности Белого и Балтийского морей ($r =$ от 0,42 до 0,52 при P от 95 до 99%). Однако соответствующая связь применительно к температуре воды в большинстве районов в Чёрном море имеет обратный характер, что может свидетельствовать о возникновении относительного похолодания на фоне роста значений Северо-атлантического колебания.

Основываясь на результатах выполненных экспериментальных исследований, направленных на определение групп циркуляции атмосферы в типизации Б. Л. Дзержеевского, наиболее эффективно отражающих тенденции динамики температурного режима Беломорского региона, установлено, что потепление может наблюдаться при росте повторяемости типов ЭЦМ, входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), а похолодание – при росте повторяемости суммарных зональных ЭЦМ.

На рисунке 4 представлено сравнение динамики средних годовых значений стока р. Дон в нижнем течении (створ Раздорская) и стока р. Северная Двина в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1. Установлен прямой характер корреляционной связи значений индекса NAO 1 с динамикой стока

Северной Двины и обратный характер связи со стоком р. Дон.

Рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, выражаемой в виде индексов NAO, сопровождается снижением температуры воды и воздуха в бассейне Азовского моря, уменьшением коли-

чества атмосферных осадков и объёма стока крупнейших рек.

На фоне развития атмосферной циклонической циркуляции над Северной Атлантикой наблюдается снижение расходов р. Дунай. По-видимому, это может объясняться тем, что при росте градиентов атмосферного дав-

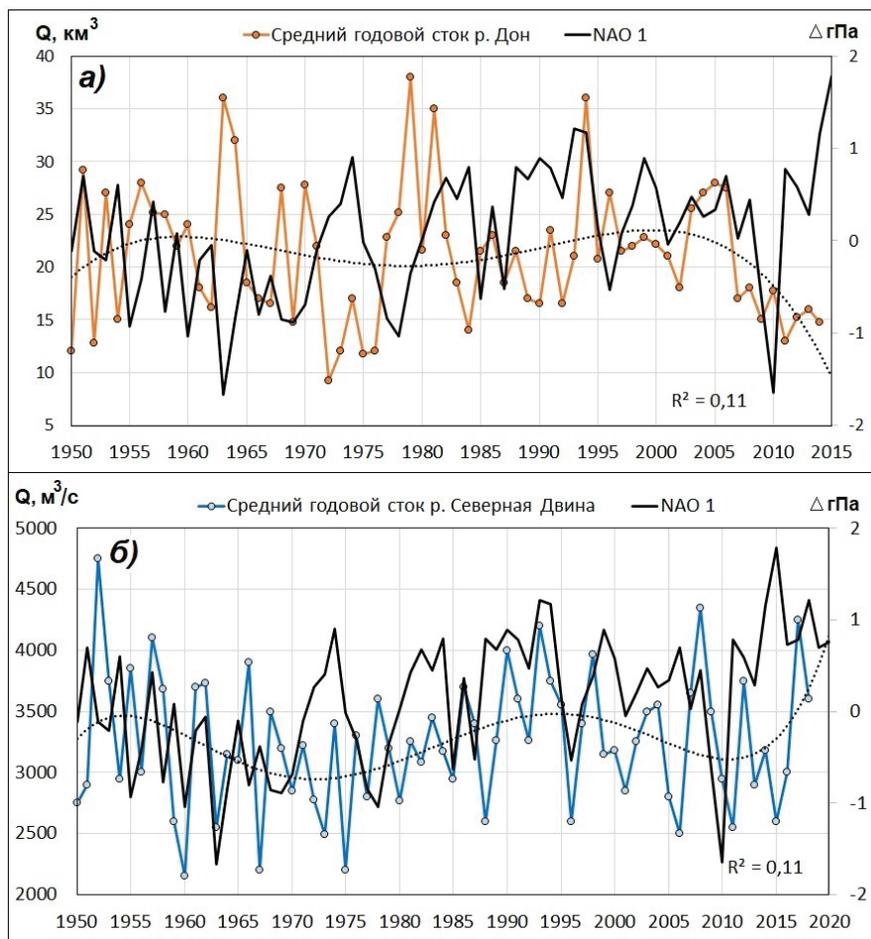


Рис. 4 / Fig. 4. Сравнение динамики средних годовых значений стока рек Дон (а) в нижнем течении (створ Раздорская) и стока р. Северная Двина (б) в нижнем течении (створ Усть-Пинега) со значениями индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAO 1 / Comparison of the dynamics of the average annual runoff values of the Don (a) rivers in the lower reaches (Razdorskaya section) and the runoff of the river. Northern Dvina (b) in its lower reaches (Ust-Pinega section) with values of the atmospheric circulation index over the North Atlantic NAO 1

Источник: составлено автором

ления между Исландским минимумом и Азорским максимумом происходит смещение на северо-восток траекторий основных циклонических вихрей, несущих влажный воздух с океана в сторону Европы. Сток второй по водности реки Черноморского бассейна – Днепра – также демонстрирует значимую связь отрицательного характера с НАО. Характер связи стока р. Днестр с крупномасштабными показателями атмосферной циркуляции в основном аналогичен стоку Дуная, т. к. бассейны этих двух рек соседствуют.

В целом, можно говорить о существовании разнонаправленных региональных тенденций изменений климата и вызываемых ими последствиях применительно к Беломорско-Балтийскому и Азово-Черноморскому регионам.

Многолетняя динамика показателей биологической продуктивности ихтиофауны внутренних морей в связи с изменениями климата и океанологических условий

В данном исследовании в качестве показателей многолетней динамики урожайности рыб используются данные о выживаемости икры на нерестилищах, о численности поколений молодых особей рыб в возрасте 1–2 лет, биомассы нерестового стада, а также данные по величинам уловов.

В Балтийском море солёность по причине своей весьма значительной региональной и временной изменчивости относится к числу основных экологических факторов, влияющих на жизнедеятельность и пространственное распределение организмов и их сообществ, в частности, рыб [1; 8;

11; 12]. К их числу принадлежат важные промысловые пелагические виды, такие, как балтийская сельдь (*Clupea harengus membras* L.), шпрот (*Sprattus sprattus balticus* L.), а также массовый хищный донный вид – балтийская треска (*Gadus morhua callaris* L.). Существенную долю в общих уловах составляют камбаловые: речная камбала (*Pleuronectes flesus* L.), морская камбала (*Platessa platessa* L.), лиманда (*Limanda limanda* L.) и крупная камбала-тюрбо (*Rhombus maximus* L.) [1; 8; 9; 12]. Кроме того, весьма важным экологическим фактором, прежде всего, для распределения и воспроизводства донных рыб является содержание растворённого кислорода в придонных слоях глубоководных впадин – Борнхольмской, Гданьской и Готландской, которые являются основными нерестилищами для популяций трески и камбалообразных в центральной и южной частях моря [8; 11; 13].

На рисунке 5 представлены многолетние данные о численности молоди в возрасте 2 лет восточно-балтийской популяции трески, располагающейся в подрайонах ICES № 25–29 в центральной части моря. Возрастание солёности, концентрации кислорода и температуры воды в Готландской впадине сопровождаются закономерным увеличением численности молодого поколения восточно-балтийской трески в возрасте 2 лет. Наибольшая теснота связи динамики численности рекрутов установлена с солёностью в придонном горизонте ($r = 0,72$ при $P = 99\%$). Иллюстрация данной связи представлена на рисунке 5а).

Возникновение весьма урожайных поколений восточно-балтийской трески в 1972 и 1973 гг., в 1976 и 1977 гг.,

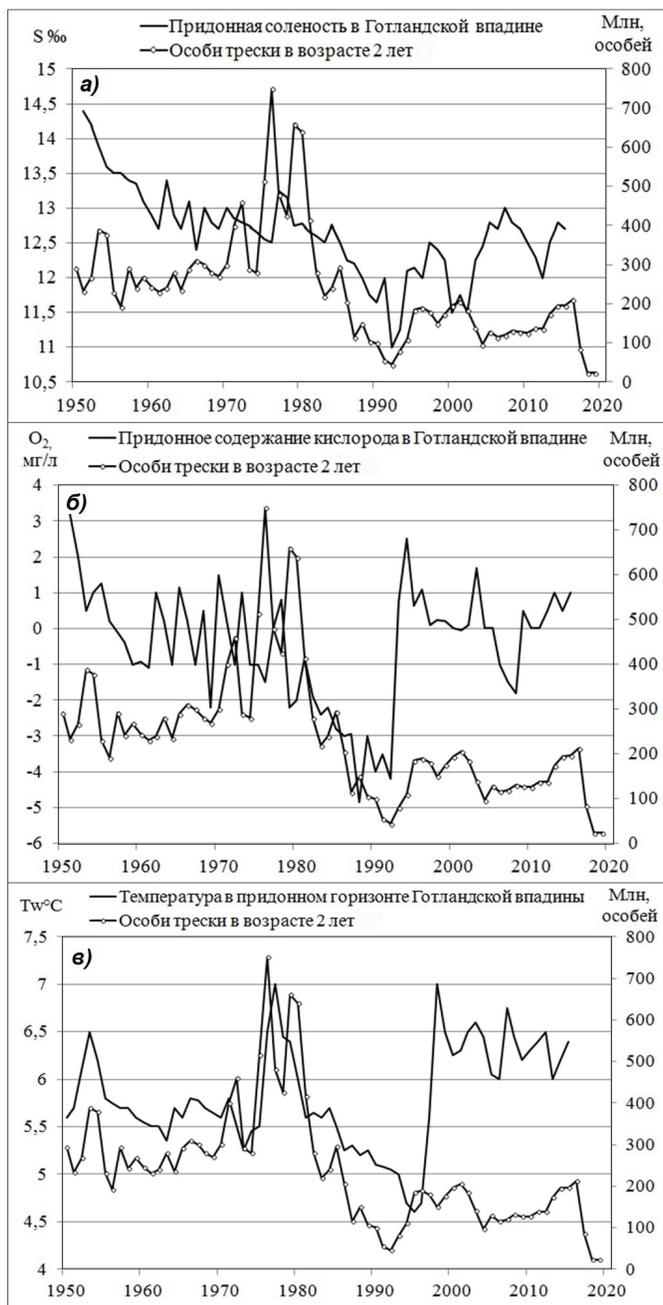


Рис. 5 / Fig. 5. Характер зависимости численности молодого поколения восточно-балтийской популяции трески от значений солёности воды (а), содержания растворённого кислорода (б) и температуры воды (в) в придонном горизонте Готландской впадины / Nature of Dependence of the Young Generation of the East Baltic Cod Population on the Values of Water Salinity (a), Dissolved Oxygen Content (b) and Water Temperature (c) in the Bottom Horizon of the Gotland Depression

Источник: составлено автором

а также в 1979 и 1980 гг. имело место на фоне увеличения солёности воды в придонном горизонте Готландской впадины до 12,8–13,2%. Но в дальнейшем, со второй половины 1980-х гг., возникла выраженная тенденция к снижению солёности. Зависимость численности молоди в возрасте 2 лет восточно-балтийской трески от концентрации кислорода в придонном горизонте Готландской впадины достаточно существенная ($r = 0,55$ при $P = 99\%$) Графически данная связь представлена на рисунке 5б).

Между температурой воды в промежуточном горизонте Готландской впадины и численностью молоди трески в возрасте 2 лет в центральной части моря также обнаружена значимая тесная корреляционная связь ($r = 0,72$ при $P = 99\%$). Молодь трески находится в большей зависимости от влияния солёности, концентрации кислорода и температуры воды именно в придонном горизонте Готландской впадины, чем в промежуточном. Это связано с успехом прохождения критического для выживания периода зимовки, когда молодые особи удаляются от побережья и формируют скопления именно в глубинных и придонных горизонтах при повышенной солёности.

Построено уравнение множественной регрессии

$$\text{ЧМПП} = -2706,2 + 82,2 S\% + 199,5 T_w \text{ } ^\circ\text{C} - 22,05 O_2\%,$$

где:

$S\%$ – солёность воды;

$T_w \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура воды;

$O_2\%$ – концентрация растворённого кислорода ($R^2 = 0,75$, средняя ошибка аппроксимации составляет 5%) [8].

Многолетняя динамика численности молоди западно-балтийской трески также демонстрирует значительные межгодовые колебания. Наибольшие значения в 190–230 млн особей отмечались в начале 1970-х гг.

В сентябре 2003 г. на заседании 29 Сессии Международной комиссии по рыболовству в Балтийском море (IBSFC – *International Baltic Sea Fishery Commission*), которая проходила в г. Вильнюс, было принято решение о частичном запрете на вылов балтийской трески всеми странами с 16 июня по 15 августа, т. е. в период наиболее интенсивного икрометания восточно-балтийской популяции. Сохранение тенденции к дальнейшему снижению запаса привело к необходимости снизить величину допустимых уловов в 2012 г. по сравнению с периодом 1996–1997 гг. более чем в 3 раза – со 180 тыс. тонн до 52 тыс. тонн. В последующие годы величины общих допустимых уловов продолжили снижение.

Произведён анализ влияния различных экологических факторов морской среды на показатели биологической продуктивности балтийской сельди и шпрота. На рисунке 6 показано сравнение многолетней динамики показателей урожайности балтийской сельди – уловов, биомассы нерестового стада и численности особей в возрасте 1 года в подрайонах ICES 25-29 и 32 с солёностью воды на поверхности Готландской впадины. Увеличение температуры поверхностного слоя воды в центральной (район Готландской впадины), южной (район Гданьской впадины) и юго-западных частях акватории Балтийского моря сопровождается снижением величин биомассы нерестового стада и уловов сельди

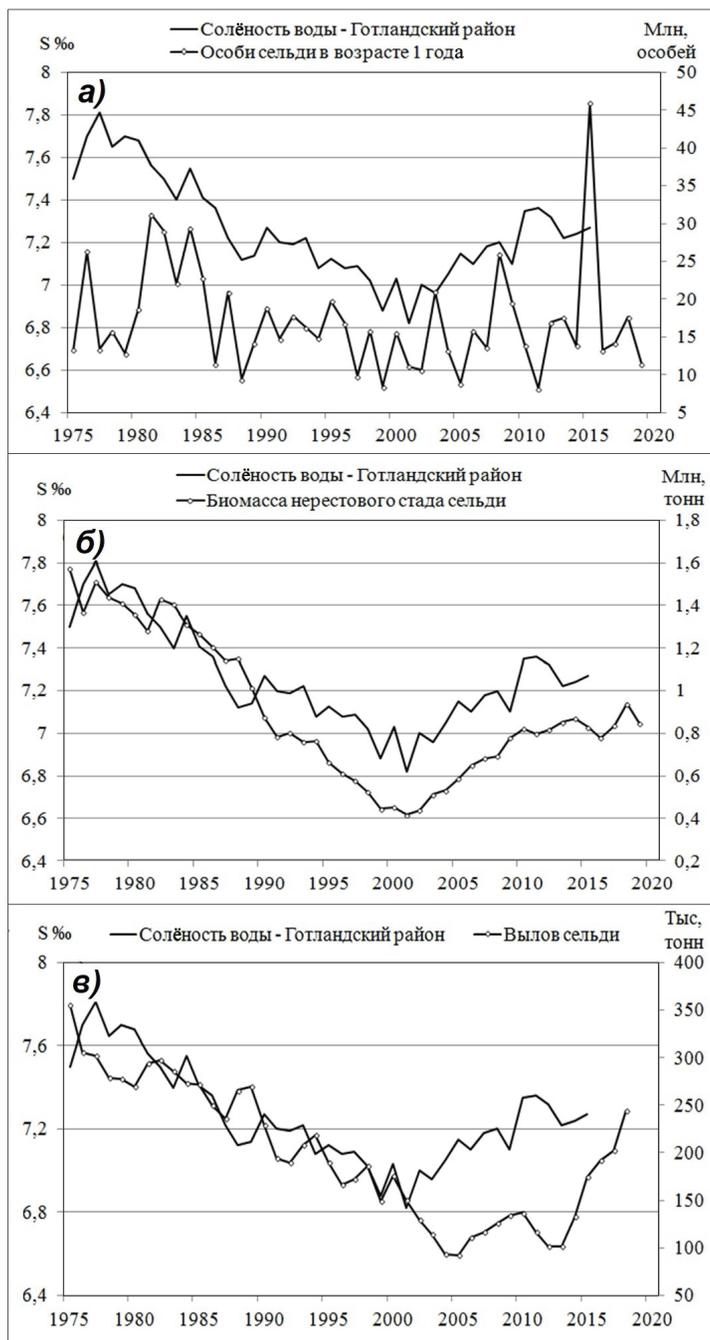


Рис. 6 / Fig. 6. Сравнение многолетней динамики показателей урожайности балтийской сельди – уловов (а), биомассы нерестового стада (б) и особей в возрасте 1 года (в) в подрайонах ICES 25-29 и 32 с солёностью воды на поверхности Готландской впадины / Comparison of long-term dynamics of Baltic herring yield indicators - catches (a), spawning herd biomass (b) and individuals aged 1 year (c) in subareas ICES 25-29 and 32 with water salinity on the surface of the Gotland Depression

в статистических подрайонах ICES № 25–29+32 (исключая Рижский залив), расположенных в данных частях моря. Аналогичный характер связи установлен также и для численности молодого поколения сельди в возрасте 1 года [9].

Рост значений солёности воды на поверхности Готландской впадины (рис. 7), а также на поверхности Гданьской и Борнхольмской впадин приводит к росту значений, используемых показателей урожайности сельди в подрайонах ICES № 25–29+32 (исключая Рижский залив). Увеличение солёности воды положительно сказывается на воспроизводстве и численности поколений сельди также и в южных акваториях Балтики ($r =$ от 0,65 до 0,72 при $P = 99\%$).

В соответствии с Приказами Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации «О распределении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов Западного рыбохозяйственного бассейна, а также квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов, представленных РФ в районах действия международных договоров России в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов, применительно к видам квот их добычи (вылова) № 651 от 04.12.2019, № 635 от 30.11.2020, № 741 от 01.12.2021, № 695 от 25.11.2022, соответственно на 2020–2023 гг., установлены следующие величины квот добычи (вылова) водных биологических ресурсов применительно к Балтийскому морю и заливам¹:

– на 2020 г.: сельдь балтийская (салака) – 25 478,65 т, шпрот (килька) – 41 674,9 т, треска – 5 388,28 т, камбала речная – 5 388,28 т;

– на 2021 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 878,65 т, шпрот (килька) – 44 674,9 т, треска – 2 888,28 т, камбала речная – 1 513,29 т;

– на 2022 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 278,700 т, шпрот (килька) – 43 374,9 т, треска – 1 888 т, камбала речная – 1 213,210 т; на 2023 г.: сельдь балтийская (салака) – 24 072 т, шпрот (килька) – 44 268,5 т, треска – 1 496,5 т, камбала речная – 1 509,1 т.

Заметно, что в последние годы продолжается тенденция в отношении падения запасов балтийской трески и речной камбалы, возникшая с середины 1990-х гг. на фоне чрезмерных объёмов промыслового изъятия без должного учёта степени благоприятности условий среды для воспроизводства на их нерестилищах [8]. Поэтому, с учётом сложной специфики пространственной и временной изменчивости климатических, океанологических и экологических условий в регионе Балтийского моря, оценке и прогнозу значений факторов среды, определяющих успех воспроизводства промысловых рыб на нерестилищах, особенно донных, следует уделять повышенное внимание.

В состав ихтиофауны Белого моря входит около 60 видов рыб. При этом только около 10 видов имеют в настоящее время существенное промысловое значение: беломорская сельдь (*Clupea pallasii maris-albi* Berg), беломорская корюшка (*Osmerus eperlanus eperlanus n. dvinensis*), а также донные рыбы, такие, как треска (*Gadus morhua maris-albi*), навага из семейства тресковые

¹ Федеральное агентство по рыболовству Российской Федерации: [сайт]. URL: <https://fish.gov.ru> (дата обращения: 06.03.2024).

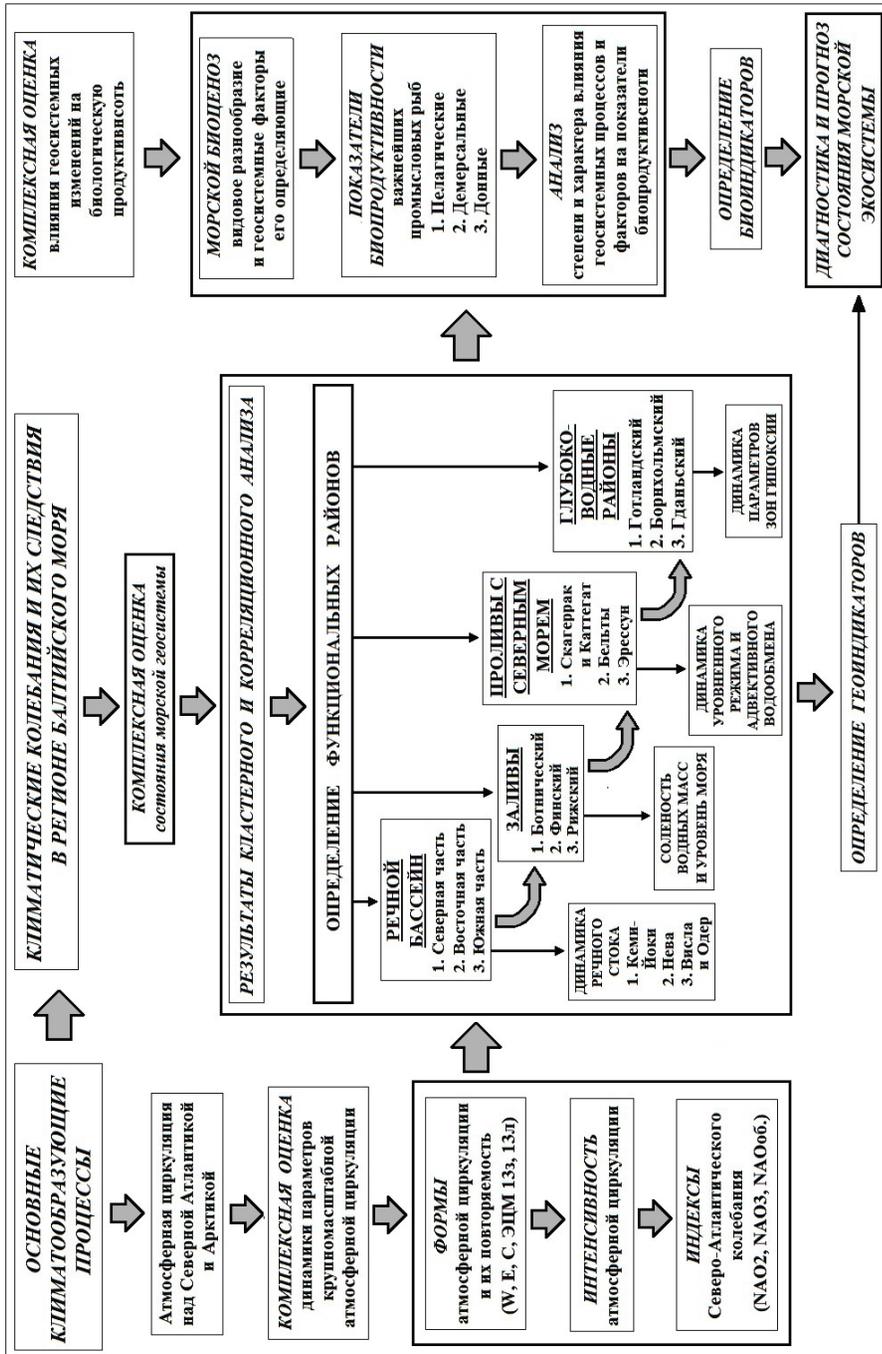


Рис. 7 / Fig. 7. Обобщённая логическая модель влияния колебаний климата на компоненты экосистемы Балтийского моря / Generalized logical model for assessing the impact of climate fluctuations on the components of the Baltic Sea ecosystem

Источник: [8]

(*Eleginus navaga* Pallas), уловы которой составляют не менее половины общего вылова рыб в море, полярная камбала (*Liopsetta glacialis* Pallas) и речная камбала (*Pleuronectes flesus* L.). В Белом море сформировались уникальные самовоспроизводящиеся популяции этих рыб, которые обладают рядом экологических адаптаций к местным условиям [4].

Установлено, что для величин уловов наваги, корюшки и речной камбалы, расположенных в Онежском и Двинском заливах Белого моря, связь с обобщённым индексом NAO об. и W-формой атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса имеет положительный характер. Однако для соответствующих популяций, расположенных в Мезенском заливе, располагающемся в северо-восточной части моря, корреляционная связь меняет свой характер на обратный, оставаясь статистически значимой. По-видимому, популяции рыб, располагающиеся в относительно тёплых южных заливах – Онежском и Двинском, адаптированы к жизни и воспроизводству при более высокой среднегодовой и сезонной температуре воды. В более тёплых условиях, очевидно, сокращается период развития икринок наваги и корюшки. Самая низкая температура на поверхности Белого моря наблюдается в Воронке и Горле, при этом район близлежащего Мезенского залива также находится под регулярным влиянием арктического воздуха и поверхностных холодных водных масс. По причине более суровых температурных условий в Мезенском заливе у местных популяций рыб выработались свои особенные адаптации к температурному режиму. Начало развития икринок наваги происходит

здесь при температуре воды от -1,5 до +1°C и длится значительно дольше, чем в южных заливах – от 2,5 до 3 месяцев. Таким образом, благоприятные условия для воспроизводства и дальнейшего пополнения нерестового и промыслового стада рыб, обитающих в более тёплых Онежском и Двинском заливах, создаются при умеренном потеплении, что имеет место на фоне роста значений NAO, а в Мезенском заливе в это время условия для воспроизводства пелагических рыб становятся неблагоприятными в силу пониженного температурного оптимума, сформировавшегося как результат адаптации к местным условиям [8].

Однако выраженное похолодание на севере Белого моря и в регионе в целом способно привести к ухудшению условий для воспроизводства пелагических промысловых рыб, в т. ч. по причине снижения скорости круговорота биогенных веществ в море с последующим уменьшением продукции кормового планктона.

В состав ихтиофауны Белого моря входит около 180 видов рыб, в т. ч. более 30 промысловых [19]. В значительной зависимости от динамики климатообусловленных природных условий находятся популяции донных и демерсальных рыб. Повышение температуры воды в придонных и промежуточных слоях шельфовой зоны Чёрного моря оказывает отрицательное влияние на величины уловов демерсальных холодолюбивых хищников – мерланга и ставриду и придонных бентофагов – палтуса и кефалей [10]. Сезонная и многолетняя изменчивость температуры поверхностного слоя моря, которая демонстрирует выраженные колебания, определяет начало и ин-

тенсивность нерестовых миграций пелагических сельдевых рыб [2].

В Азовском море и в его бассейне возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой приводит к понижению температуры воды и воздуха, уменьшению величин атмосферных осадков и стока крупнейших рек – Дона и Кубани. При этом приток высокосоленых водных масс в Азовское море из Чёрного увеличивается по причине некоторого снижения уровня Азова на фоне уменьшения речного стока [10]. Выявленные особенности функционирования и динамики абиотических процессов позволят в дальнейшем обеспечить оценку устойчивости рассматриваемых внутренних морей Европы к климатическим изменениям [7].

Функциональные связи в морских экосистемах

Обобщение полученных результатов статистического анализа многолетних данных применительно к различным акваториям внутренних морей и районам их речных бассейнов позволило сформировать логические модели структурных связей между природными процессами.

На рисунке 7 представлены соответствующие связи для Балтийского моря. Для каждого морского бассейна и морской экосистемы установлены формы и индексы климатообразующих процессов – индексов и форм атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса, Б. Л. Дзердзеевского, а также Северо-атлантического колебания (NAO), которые с наибольшей достоверностью способны отражать влияние климатических изменений на компоненты морских гео- и экосистем.

На основе полученных результатов статистического анализа обоснованы функциональные геоэкологические районы, изменения в которых под воздействием климата способны повлиять в дальнейшем на функционирование значительной части или всей гео- и экосистемы моря, в т. ч. оказать прямое и значительное воздействие на состояние экосистем и их биологическую продуктивность [8].

В экосистеме Балтийского моря функциональными геоэкологическими районами являются: северная, восточная и южная части речного бассейна; заливы – Ботнический, Финский, Рижский; проливы – Скагеррак и Каттегат, Зунд, Бельты; глубоководные районы – Готландский, Борнхольмский, Гданьский, а также устьевые зоны крупнейших рек – р. Нева и Невская губа в пределах Санкт-Петербурга, р. Висла, Одер и Кеми-Йоки (Северная Финляндия).

Заключение

Полученные результаты анализа многолетних данных, отражающие динамику функционирования компонентов морских и прибрежных экосистем, позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой, интенсивность которой зависит от градиентов атмосферного давления между центрами действия атмосферы – Азорским максимумом и Исландским минимумом, количественно достоверно выражаются в виде значений индексов Северо-атлантического колебания (NAO), по которым имеются продолжительные многолетние данные. Рост интенсивности циркуляции атмосферы

сопровождается смещением траекторий северо-атлантических циклонов, переносящих тепло и влагу на северо-восток Европы, что приводит к потеплению над акваториями и речными бассейнами Белого и Балтийского морей, возрастанию количества атмосферных осадков и водности большинства впадающих рек. В то же время над акваториями и бассейнами Чёрного и Азовского морей наблюдается относительно похолодание и снижение объёмов речного стока.

Снижение интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой приводит к смещению траекторий северо-атлантических циклонов по направлению к юго-восточной Европе, что сопровождается похолоданием над акваториями Белого и Балтийского морей, и снижению водности большинства рек северо-востока Европы. При этом происходит относительное потепление и увеличение объёмов атмосферных осадков и речного стока в бассейнах Чёрного и Азовского морей.

2. В Балтийском море, в пределах его бассейна и на побережьях, рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно выражаемый в виде значений индексов NAO 2, NAO 3 и NAO об., приводит к повышению температуры воздуха в среднем за год и в среднем за зиму в районах городов Калининград, Балтийск, Рига, Таллинн, Санкт-Петербург, на побережьях Финляндии и Швеции, а также г. Кингисепп, Выборг и других в Ленинградской области. Потепление происходит при значениях индексов NAO выше средней многолетней нормы. Наблюдается повышение температуры поверхности открытого моря, заливов и

внутриконтинентальных водных объектов, значительное уменьшение ледовитости акваторий. Например, зимой 2019–2020 гг. ледовый покров в Балтийском море занимал не более 37 тыс. км², что составляет только 8% от общей площади моря и является абсолютным минимумом с начала периода спутниковых наблюдений за ледовитостью с конца 1970-х гг.

Наблюдается возрастание объёмов атмосферных осадков и расходов р. Одер, Висла, Даугава, Преголь, Луга, Волхов и других, а также рек Финляндии и Швеции, впадающих в Балтику. При этом наблюдается снижение значений средней годовой солёности воды на поверхности в прибрежной зоне Финского, Рижского и Ботнического заливов на 2–3 г/л. Установлено, что на фоне увеличения повторяемости типов ЭЦМ типизации Б. Л. Дзердзеевского, входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), в регионе Балтийского моря происходит потепление, а похолодание – при росте повторяемости меридиональных северных (ЭЦМ 8–12 и обобщённые меридиональные северные). Снижение солёности воды в поверхностном слое отрицательно влияет на урожайность и уловы пелагических солоновато-водных рыб, прежде всего, балтийской сельди. Снижение солёности в придонных горизонтах, в т. ч. в центральных и южных районах моря, до значений менее 11 г/л по причине снижения притока более солёных вод в Балтику из Северного моря на фоне роста объёмов поступающих речных вод и подъёма в связи этим уровня моря в Датских проливах отрицательно влияет на воспроизводство донных

ценных промысловых рыб – трески, морской камбалы и камбалы-лиманды. Произошедшее в конце 1980-х и в начале 1990-х гг. наиболее выраженное снижение урожайности и уловов донных балтийских рыб в 5–7 раз по сравнению с периодом 1970-х гг. являлось следствием весьма неблагоприятных климато-обусловленных условий среды для их размножения – резкого снижения солёности воды и концентрации растворённого кислорода на нерестилищах в придонных горизонтах впадин в центральной и южной Балтике при длительном отсутствии мощных затоков водных масс из Северного моря на фоне усиления антропогенного изъятия промыслом.

4. В Белом море, в пределах его бассейна и на побережьях, рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно отражаемый в виде индексов NAO 1, NAO 4 и NAO об., приводит к увеличению температуры воздуха и температуры водных объектов в поверхностном слое. Наблюдается возрастание объёмов атмосферных осадков и расходов р. Северной Двины, Онеги, Мезени и других. При этом наблюдается снижение значений средней годовой солёности воды на поверхности в прибрежной зоне Онежского, Двинского и Мезенского заливов на 2–5 г/л, что в наибольшей мере было характерно для конца 1980-х – начала 1990-х гг. Развитие зональной *W*-формы циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса сопровождается потеплением, а увеличение повторяемости *E*-формы – приводит к похолоданию. Потепление наблюдается также при росте повторяемости типов ЭЦМ Б. Л. Дзерdzeевского, входящих в груп-

пу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные), а похолодание – на фоне роста повторяемости суммарных зональных ЭЦМ. Для промысловых холодолюбивых рыб арктического происхождения, среди которых навага и мойва, потепление сказывается на воспроизводстве и уловах в целом неблагоприятно, особенно для популяций, расположенных в северном Мезенском заливе, в то время как популяции, обитающие южнее, в относительно более теплых Двинском и Онежском заливах, увеличивают свою урожайность и уловы.

5. В Чёрном море, в районах его бассейна и на побережьях, возрастание интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, наиболее эффективно отражаемое при использовании индексов NAO 1, NAO 2 и NAO об., и *W*-формы атмосферной циркуляции, приводит к относительному похолоданию, снижению объёмов атмосферных осадков и расходов крупнейших рек бассейна моря – Дуная, Днепра, Днестра. При этом наблюдается возрастание солёности воды в северо-восточной части моря. Потепление наблюдается при значениях индексов NAO ниже средней многолетней нормы, а также при росте повторяемости типов ЭЦМ Б. Л. Дзерdzeевского входящих в группу меридиональных южных (типы ЭЦМ 13 и обобщённые меридиональные южные) в северо-западном, западном и юго-западном районах черноморского побережья, а похолодание в тех же районах – на фоне роста повторяемости суммарных зональных форм циркуляции атмосферы. Рост температуры воды, по-видимому, способен

оказать неблагоприятное влияние на урожайность и величины уловов рыб – холодолюбивых хищников – мерланга и ставриду и придонных бентофагов – палтуса и кефалей. Численность молодого поколения, биомасса и уловы сельдевых черноморских рыб, в том числе шпрота, находятся в прямой зависимости от динамики величин стока Дуная и Днестра. По-видимому, увеличение водности рек приводит к возрастанию в северо-западном районе моря и в смежных районах концентраций биогенных веществ, обеспечивающих развитие фито- и зоопланктона, что создаёт благоприятные условия для питания молоди пелагических видов рыб.

6. В Азовском море, в районах его бассейна и на побережьях, увеличение интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой сопровождается снижением температуры воды и воздуха, уменьшением количества атмосферных осадков и стока крупнейших рек – Дона и Кубани. В тоже время приток более солёных водных масс из Чёрного моря увеличивается по причине некоторого снижения уровня в Азовском море на фоне сокращения поступления речных вод. В результате увеличения солёности Азовского моря, прежде всего, в его придонных слоях, создаются условия выраженной плотностной стратификации водных масс, что приводит к дефициту содержания кислорода и возрастанию случаев заморозов, способных привести к гибели донных организмов. Кроме того, повышение солёности воды может привести к изменениям в видовом составе фитопланктона и уровне первичной биологической продукции экосистемы. В целом, среди всех рассматриваемых внутренних

морей именно Азовское море, по-видимому, имеет самую низкую устойчивость к воздействию климатических изменений по причине своего наименьшего объёма, значительному поступлению речного стока, колебания которого способны быстро отразиться на уровневом режиме моря, повлиять на водообмен с Чёрным морем и солёность воды, что, в свою очередь, приведёт к существенным изменениям в видовом составе и продуктивности компонентов морского биоценоза.

7. В регионе восточной Балтики, в Финском заливе и на его побережьях, в т. ч. в Ленинградской области, тенденция к потеплению климата, наблюдаемая с начала 1990-х гг., выражается в увеличении средней годовой и средней за зиму температуры воздуха, существенном снижении ледовитости в восточной части Финского залива и в Невской губе, что повышает безопасность навигации в зимний период. Однако за последние 30 лет участились нагонные наводнения, приводящие к нарушениям береговой зоны, в т. ч. в Курортном районе Санкт-Петербурга. Возросли на 20% объёмы атмосферных осадков. При этом осадки выпадают теперь большую часть года преимущественно в жидком виде, что, в свою очередь, приводит к постепенному изменению водного режима некоторых рек от типа с половодьем весной на паводочный тип, более свойственный рекам Южного федерального округа. Участвовавшие интенсивные ливни в Ленинградской области и в Санкт-Петербурге угрожают объектам жилищно-коммунального хозяйства, а также объектам историко-культурного наследия.

В целом, на основе полученных результатов в дальнейшем будут раз-

работаны регионально-ориентированные программы адаптации отраслей хозяйственной деятельности, в т. ч. в Ленинградской области, к климатическим изменениям для обеспечения экологической безопасности экосистем и рационального использования биологических ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосова В. М., Зезера А. С., Голубкова Т. А. Влияние факторов среды на величины запасов рыб в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 110–127.
2. Архипкин В. С., Косарев А. Н., Гиппиус Ф. Н. Сезонная изменчивость климатических полей температуры, солености и циркуляции вод Черного и Каспийского морей // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 5. С. 33–44.
3. Балыкин П. А., Куцын Д. Н., Орлов А. М. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 396–404. DOI: 10.31857/S0030-1574593396–404
4. Исследования фауны морей. Т. 69. Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование / гл. ред. О. Н. Пугачев. СПб.: ЗИН РАН. 2012. 376 с.
5. Вангенгейм Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. Л.; М.: Главсевморпуть, 1952. 313 с.
6. Конова Н. К. Классификации циркуляционных механизмов Северного полушария по Дзердзеевскому Б. Л. М.: Воентехиздат, 2009. 370 с.
7. Дроздов В. Оценка устойчивости экосистем Балтийского и Белого морей для обеспечения экологической безопасности освоения ресурсов шельфа с учетом гидрометеорологических условий // Экология и промышленность России. 2021. № 25. С. 21–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-1-21-27
8. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. СПб.: Изд. РГГМУ, 2015. 235 с.
9. Дроздов В. В. Динамика продуктивности популяций сельдевых рыб Балтийского моря – балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* и шпрота (кильки) *Sprattus sprattus balticus* в связи с факторами среды и промыслом // Вопросы рыболовства. 2017. Т. 18. № 1. С. 52–64.
10. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Черного и Азовского морей. СПб.: РГГМУ, 2019. 230 с.
11. Карасева Е. М., Ежова Е. Е., Кречик В. А. Влияние абиотических факторов среды на численность икры и личинок трески в юго-восточной Балтике в 2016 г. // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 729–739. DOI: 10.31857/S0030157420040115
12. Карпушевский И. В., Зезера А. С., Иванович В. М. Адаптационные особенности популяций пелагических и демерсальных рыб в пространственной и временной динамике фактора солености вод Балтийского моря // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 3. 2013. Т. 317. С. 128–135.
13. Литина Е. Н., Захарчук Е. А., Тихонова Н. А. Динамика гипоксических зон в Балтийском море на рубеже XX и XXI веков // Водные ресурсы. 2020. № 47. С. 322–329. DOI: 10.31857/S0321059620030098
14. Матишов Г. Г., Гаргопа Ю. М., Бердников С. В. и др. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.
15. Нестеров Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, 2013. 144 с.
16. Смирнов Н. П., Воробьев В. Н., Кочанов С. Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. 122 с.

17. Трешников А. Ф. Центры действия атмосферы и гидросферы // Проблемы Арктики и Антарктики. 1974. Т. 43–44. С. 153–170.
18. Экосистемные исследования Азовского, Чёрного, Каспийского морей и их побережий Т. IX. / Г. Г. Магишов, О. С. Безуглова, В. В. Приваленко и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 315 с.
19. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean / A. Srouf, M. Bernal, A. Carlson, P. Carpentieri, et al. Rome, 2018. 172 p.

REFERENCES

1. Amosova V. M., Zezera A. S., Golubkova T. A. [Influence of environmental factors on the values of fish stocks in the Baltic Sea]. In: *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO], 2022, vol. 187, pp. 110–127.
2. Arkhipkin V. S., Kosarev A. N., Gippius F. N. [Seasonal variability of climatic fields of temperature, salinity and water circulation of the Black and Caspian Seas]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Episode 5: Geography], 2013, no. 5, pp. 33–44.
3. Balykin P. A., Kutsyn D. N., Orlov A. M. [Changes in salinity and species composition of ichthyofauna in the Sea of Azov] In: *Okeanologiya* [Oceanology], 2019, vol. 59, no. 3, pp. 396–404. DOI: 10.31857/S0030-1574593396-404
4. Pugachev O. N., ed. *Issledovaniya fauny morey. T. 69. Biologicheskiye resursy Belogo morya: izucheniye i ispolzovaniye* [Research of the fauna of the seas. Vol. 69. Biological resources of the White Sea: study and use]. St. Petersburg, ZIN RAS Publ., 2012. 376 p.
5. Vangengeim G. Ya. *Osnovy makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlya Arktiki* [Fundamentals of the macrocirculation method of long-term meteorological forecasts for the Arctic]. Leningrad, Moscow, Glavsevmorput Publ., 1952. 313 p.
6. Konova N. K. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh printsipov Severnogo polushariya po Dzerdzeyevskomu B. L.* [Classification of circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to Dzerdzeevsky B. L.]. Moscow, Voentehizdat Publ., 2009. 370 p.
7. Drozdov V. [Assessing the sustainability of the ecosystems of the Baltic and White Seas to ensure the environmental safety of the development of shelf resources taking into account hydrometeorological conditions]. In: *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2021, no. 25, pp. 21–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-1-21-27
8. Drozdov V. V. *Izmeneniye klimata na dinamiku ekosistemy Baltiyskogo i Belogo morya* [The influence of climate fluctuations on the dynamics of ecosystems of the Baltic and White Seas]. St. Petersburg, Izd. RGGMU Publ., 2015. 235 p.
9. Drozdov V. V. [Dynamics of productivity of herring fish populations in the Baltic Sea – Baltic herring (herring) *Clupea harengus membras* and sprat (sprat) *Sprattus sprattus balticus* in connection with environmental factors and fishing]. In: *Voprosy rybolovstva* [Questions of Fisheries], 2017, vol. 18, no. 1, pp. 52–64.
10. Drozdov V. V. *Izmeneniye klimata na dinamiku ekosistemy. Issledovaniye Chernogorii i Azovskogo morya* [The influence of climate fluctuations on the dynamics of ecosystems of the Black and Azov Seas]. St. Petersburg, RGGMU Publ., 2019. 230 p.
11. Karaseva E. M., Ezhova E. E., Krechik V. A. [The influence of abiotic environmental factors on the number of eggs and larvae of cod in the south-eastern Baltic in 2016]. In: *Okeanologiya* [Oceanology], 2020, vol. 60, no. 5, pp. 729–739. DOI: 10.31857/S0030157420040115
12. Karpushevsky I. V., Zezera A. S., Ivanovich V. M. [Adaptation features of pelagic and demersal fish populations in the spatial and temporal dynamics of the salinity factor in the waters of the Baltic Sea]. In: *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozheniye № 3* [Pro-

- ceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Appendix No. 3], 2013, vol. 317, pp. 128–135.
13. Litina E. N., Zakharchuk E. A., Tikhonova N. A. [Dynamics of hypoxic zones in the Baltic Sea at the turn of the 20th and 21st centuries]. In: *Vodnyye resursy* [Water Resources], 2020, no. 47, pp. 322–329. DOI: 10.31857/S0321059620030098
 14. Matishov G. G., Gargopa Yu. M., Berdnikov S. V., et al. *Zakonomernost ekosistemnykh protsessov v Azovskom more* [Patterns of ecosystem processes in the Sea of Azov]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 304 p.
 15. Nesterov E. S. *Severoatlanticheskoye soyedineniye: atmosfera i okean* [North Atlantic Oscillation: Atmosphere and Ocean]. Moscow, Triada Publ., 2013. 144 p.
 16. Smirnov N. P., Vorobyov V. N., Kochanov S. Yu. *Severo-Atlanticheskoye soyedineniye i klimat* [North Atlantic Oscillation and climate]. St. Petersburg, Izd-vo RGGMU Publ., 1998. 122 p.
 17. Treshnikov A. F. [Centers of action of the atmosphere and hydrosphere]. In: *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 1974, vol. 43–44, pp. 153–170.
 18. Matishov G. G., Bezuglova O. S., Privalenko V. V., et al. *Ekosistemnyye issledovaniya Azovskogo, Chornogo, Kaspiyskogo morey i ikh poberezhnykh T. IX* [Ecosystem studies of the Azov, Black, Caspian seas and their coasts Vol. IX]. Apatity, Izd. KNTS RAN Publ., 2007. 315 p.
 19. Srour A., Bernal M., Carlson A., Carpentieri P., et al *The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean*. Rome, 2018. 172 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дроздов Владимир Владимирович – кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой геоэкологии, природопользования и экологической безопасности экологического факультета и заведующий лабораторией «Экология и климат» Российского государственного гидрометеорологического университета;
e-mail: vladidrozдов@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir V. Drozdov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Departmentally Head, Department of Geoecology, Environmental Management and Environmental Safety, Faculty of Ecology, Head of the Laboratory "Ecology and Climate", Russian State Hydrometeorological University;
e-mail: vladidrozдов@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Дроздов В. В. Региональные особенности влияния изменений климата на компоненты экосистем внутренних морей Европы и их побережья // Географическая среда и живые системы. 2024. №1. С. 6–29.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29

FOR CITATION

Drozdov V. V. Regional features of the impact of climate change on components of ecosystems of the inland seas of Europe and their coasts. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 6–29.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-6-29

Научная статья
УДК 504.453
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ РЕЧНОГО СТОКА ДВУХ ВОДОСБОРОВ-АНАЛОГОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

Куракова А. А.¹, Медведков А. А.²

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация;
E-mail: a.a.kurakova@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0234-6454

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация;
Институт географии РАН,
119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4., Российская Федерация;
E-mail: a-medvedkov@bk.ru; ORCID: 0000-0002-7242-7172

Поступила в редакцию 27.11.2023

После доработки 20.12.2024

Принята к публикации 17.01.2024

Аннотация

Цель. Рассмотрена трансформация речного стока (сравнивались два периода 1959–1980-е и 2008–2016 гг.) на примере двух аналоговых по площадным характеристикам и природно-ландшафтным условиям водосборов рек Ницы и Пышмы – правых притоков р. Туры (бассейн р. Оби). Данные водосборные территории отличаются только по степени антропогенной преобразованности, что позволяет их рассматривать в качестве интересных объектов для сравнительного анализа.

Процедура и методы. В качестве первичных гидрологических данных были отобраны средние значения ежемесячных расходов воды, максимальные и минимальные расходы воды. В увязке с динамикой гидрологических характеристик рассмотрены тенденции изменения климата, показан их вклад в формирование стока рек Ницы и Пышмы. Установлено, что динамика климата на данном этапе не вносит существенного вклада в изменение структуры жидкого стока рассматриваемых рек. Оценены тенденции абиотизации ландшафтов в двух исследуемых водосборах на основе анализа динамики землепользования, расчёта скорости изменения площади антропогенных объектов и степени фрагментации территории бассейновой суши искусственными рубежами. Выявлено, что наиболее трансформированным водосбором является речной водосбор.

Результаты. Выявлено, что наиболее преобразованным является водосбор р. Ницы (78% антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и 14% нефрагментированной территории в сравнении с 58% и 20% в пределах водосбора р. Пышмы соответственно). Оценено влияние антропогенной трансформации ландшафтов (в форме усиления абиотизации территории водосбора за счёт увеличения в его пределах площади антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и её фрагментации площадными антропогенными объектами и линейными техногенными

ми рубежами) на изменение объёмов стока воды двух рек. Увеличивающаяся степень абиотизации и фрагментации территории водосборов способствует большему отклику р. Ницы на климатические изменения, что наблюдается в форме возрастания роли весеннего половодья и увеличения риска неблагоприятных гидрологических явлений.

Теоретическая и/или практическая значимость. Используемый подход, базирующийся на оценке фрагментации бассейновых ландшафтов, представляет интерес для прогнозирования колебания речного стока и изучения механизмов транспортировки загрязняющих веществ со стоком воды и наносов в условиях потепления климата и роста его нестабильности. В заключении предложено оценивать экологическое состояние водосборов по сумме параметров: запасов фитомассы в динамике, степени фрагментации территории площадными и линейными объектами антропогенного (в т. ч. техногенного) происхождения и тенденции её изменения, динамики поверхностной и подземной составляющих стока, изменения доли весеннего половодья и летне-осенних паводков в структуре речного стока, динамики речного стока за гидрологические фазы, наличия и повторяемости катастрофических гидрологических явлений (аномально высоких половодий, наводнений, обмелений реки и т. д.).

Ключевые слова: годовой и сезонный сток, динамика землепользования, изменение климата, речной бассейн, трансформация ландшафтов

Благодарности. Оценка ландшафтно-экологических трансформаций на водосборных территориях рассматриваемых рек выполнена в рамках Государственного задания кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды» (№ 121040100322-8), а анализ изменений речного стока двух водотоков выполнен в рамках Государственного задания научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н. И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем» (№ 121051100166-4).

Original Research Article

INFLUENCE OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL CHANGES ON RIVER FLOW TRANSFORMATION OF TWO ANALOGUES DRAINS IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE OB-IRTYSH BASIN

A. Kurakova¹, A. Medvedkov²

¹ Lomonosov Moscow State University,
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation;
E-mail: a.a.kurakova@mail.ru; ODCID: 0000-0003-0234-6454

² Lomonosov Moscow State University,
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation;
Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
119017, Staromonetny lane. 29, Moscow, Russian Federation;
E-mail: a-medvedkov@bk.ru; ODCID: 0000-0002-7242-7172

Received 27.11.2023

Revised 20.12.2024

Accepted 17.01.2024

Abstract

Aim. The transformation of water runoff (for the period from 1959–1980 to 2016) is considered on the example of two analogous catchments of the Nitsa and Pyshma rivers (the right tributaries of the Tura river) in terms of area characteristics and natural landscape conditions. Ob). These catchment areas differ only in the degree of anthropogenic transformation, which allows them to be considered as interesting objects for comparative analysis.

Procedure and methods. The average values of monthly water consumption, maximum and minimum water consumption were selected as primary hydrological data. In conjunction with the dynamics of hydrological parameters, climate change trends are also considered, and their contribution to the formation of the runoff of the Nitsa and Pyshma rivers is shown. It was found that climate dynamics at this stage does not significantly contribute to changes in the structure of the liquid flow of the rivers under consideration. The trends of landscape abioticization in the two studied catchments are estimated based on the analysis of land use dynamics, calculation of the rate of change in the area of anthropogenic objects and the degree of fragmentation of the basin land area by artificial boundaries. It is revealed that the most transformed catchment is the river catchment area.

Results. Nitsa (78% of anthropogenic-modified and technogenic-transformed landscapes and 14% of non-fragmented territory, compared to 58% and 20% within the Pyshma river catchment area, respectively). The influence of anthropogenic transformation of landscapes (in the form of increased abioticization of the catchment area and its fragmentation) on the change in the structure of the liquid flow of two rivers is estimated. Increasing the degree of abioticization and fragmentation of the catchment contributes to greater response of Nitsa river on the climate change that is observed in the form of increasing the role of spring floods and increased flood risk.

Research implications. It seems that this approach is of interest for predicting fluctuations in river flow in conditions of increasing climate instability. In conclusion, a set of indicators for assessing the ecological state of watersheds is proposed.

In conclusion, it is proposed to assess the ecological state of catchments by the sum of parameters: phytomass reserves in dynamics, the degree of fragmentation of the territory by area and linear objects of anthropogenic (including technogenic) origin and its change trends, and its change trends, dynamics of surface and underground runoff components, change in the share of spring floods and summer-autumn floods in the river runoff structure, dynamics of river runoff during hydrological phases, presence and recurrence of catastrophic hydrological events (abnormally high floods, floods, river shallowing, etc.).

Keywords: annual and seasonal water runoff, land use dynamic, climate change, river basin, landscape transformation

Aknowledgments. Assessment of landscape-ecological transformations in the catchment areas of the rivers under consideration was carried out within the framework of the State Assignment of the Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University "Analysis of regional geoecological problems in the context of global environmental changes" (No. 121040100322-8), and analysis of changes in river flow of two watercourses was carried out within the framework of the State Assignment of the Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes named after N. I. Makkaveev of the Geographical Institute of the Russian Academy of Sciences.

Введение

В речных бассейнах, приуроченных преимущественно к гумидным и семи-гумидным районам материков, сосредоточено подавляющее большинство запасов фитомассы земной суши с её ощутимой планетарной средоформирующей и средозащитной ролью. Такие области с хорошо развитым растительным покровом отнесены Ж. Трикаром и А. Кайе [34], классиками климатической геоморфологии, к областям «густой биосферы», тогда как семиаридные и аридные территории (т. н. «разреженная биосфера») и районы «голой биосферы» (нивално-гляциальные геосистемы) обладают пониженным потенциалом гомеостатических (т. е. средообразующих экосистемных) функций, представляющими по существу разные модели влагооборота. Данное обстоятельство представляется чрезвычайно важным, учитывая, что сток в значительной степени регулируется живым веществом в ходе функционирования системы «растительность – почва – зона активного водообмена» [5]. При этом на территорию речных бассейнов приходится и основная антропогенная нагрузка в пределах земной суши, что выражается в дальнейшей абиотизации бассейновых ландшафтов и учащении стихийных бедствий, имеющих преимущественно геофизическую природу. В связи с этим чрезвычайно актуальным становится дальнейшее развитие ландшафтно-геоэкологических исследований в пределах бассейновой суши. Безусловно, важным фактором, который необходимо сегодня учитывать, является изменение климата.

Особое значение данные о климатических изменениях имеют для наибо-

лее фрагментированных ландшафтно-бассейновых структур с возмущённой биотой и её пониженной средозащитной ролью.

Состояние растительного покрова – важнейший фактор задержания воды и формирования поверхностного стока. Известно, что при замещении лесной растительности открытыми биотопами с травяными сообществами, интенсивность эрозии возрастает почти на 3 порядка [23], что, безусловно, отражается на стоке наносов, качестве воды и динамичности русловых процессов. Наряду с этим для бассейновых геосистем лесные ландшафты имеют важное значение и как регуляторы теплового баланса подстилающей поверхности. Это выражается в значительном преобладании идущего от залесенных частей бассейново-речной суши потока скрытого тепла (теплоты испарения) над турбулентным потоком явного тепла.

Таким образом, в этом качестве лесные геосистемы выступают как эффективные средообразующие регуляторы, смягчающие климат на основе больших затрат на испарение поглощённой инсоляции, а в определённых случаях и адвективного тепла [25], что положительно сказывается на регулировании не только мезоклимата, но и речного стока. Использование тепловых инфракрасных снимков позволяет сравнивать разные типы леса по интенсивности их теплообмена с приземной атмосферой. Данный метод позволяет получать наиболее информативные результаты в контрастных лесорастительных условиях [26].

Для понимания водорегулирующей функции леса большое значение имеет классическая работа О. И. Крестовско-

го [19]. Им на примере лесов южной тайги установлено, что при сплошной рубке транспирационная составляющая испарения существенно ослабляется. И на этот период суммарное испарение (т. е. поток скрытого тепла) снижается на 20–40%. В результате ухудшается режим стока: в половодье объёмы жидкого стока увеличиваются, а в межень реки мелеют, снижаются значения расходов воды в сравнении с периодом до сведения леса, несмотря на практически полную ликвидацию его насосной (транспирационной) функции.

В работах по лесной гидрологии [13] выявлена «цена» класса бонитета в величине транспирации от общего испарения. Это важно в контексте рассматриваемой проблемы, поскольку в суммарном испарении основная роль принадлежит транспирационному расходу, величина которого зависит от массы транспирационного аппарата (т. е. запасов фитомассы). Указанные обстоятельства позволяют судить о тесных стокоформирующих связях между состоянием бассейновых ландшафтов и их продукционными характеристиками, с одной стороны, и режимом стока рек – с другой. Хорошо известно, что чем выше биологическая продуктивность ландшафта, тем более значительная часть циркулирующей в нём воды вовлекается во внутренний влагооборот и используется для создания фитомассы [11], а дальнейший прирост фитомассы сопровождается возвратом в приземный слой воздуха значительной части атмосферных осадков [7]. В этом заключается не только климаторегулирующая роль биоты, но и её гидрологическая (водорегулирующая) функция, на эффек-

тивность которой также влияет состояние напочвенного покрова и его структура. Именно поэтому бассейновые геосистемы с возмущённой (фрагментированной или разреженной) биотой оказываются более уязвимыми к экстремальным погодным явлениям (ураганам, тепловым стрессам и др.) и характеризуются значительными амплитудами стока воды.

Указанное обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании гидрологических рисков. В этой связи представляется, что управление риском опасных гидрологических явлений в условиях климатических изменений должно в значительной степени базироваться на анализе современной ландшафтной структуры речных водосборов. На наш взгляд, данный подход является основой для оценки экологического состояния водосборов. Это обусловлено тем, что ускоренные темпы абиотизации и фрагментации стокоформирующих ландшафтов приводят не только к изменению условий формирования разных видов стока [1; 6; 15; 23], но и к трансформации характеристик диффузного загрязнения, влияя на качество воды поверхностных водоёмов [41].

Цель данной работы – выявить роль антропогенной трансформации ландшафтов в изменении стока воды на примере рассмотрения двух водосборов-аналогов.

Таким образом, речные бассейны и сегодня выступают в качестве классических объектов для их комплексного изучения в геосистемном русле, представляя собой динамическую целостность и результат интеграции биоты и геомы высокой степени целостности. Концепция обособления речных

бассейнов как особых природно-территориальных комплексов получила развитие в работах И. А. Титова [33], М. А. Глазовской [3], А. Ю. Ретеюма [31], Ф. Н. Милькова [27], С. П. Горшкова [6; 8], О. В. Крестовского [19], Н. И. Коронкевича [15; 16; 17], Ю. Г. Симонова [32], Н. И. Алексеевского [1], Л. М. Корытного [18] и др., а за рубежом широко известны исследования Ж. Трикара и А. Кайе [34], Г. Уайта [35] и других исследователей [44; 45; 46; 49]. Используемый в их работах комплексный бассейновый подход позволяет не только учитывать все составляющие такой сложной природно-хозяйственной системы, но и связывать между собой экономические, социальные, политические и природоохранные интересы, а также разрабатывать мероприятия по предотвращению и управлению негативными последствиями при освоении речных систем и водораздельных пространств.

Для речных бассейнов лесной зоны важнейшее значение представляет состояние древесной растительности, участвующей в формировании речного стока.

Отметим, что в настоящей работе речной сток рассматривается в контексте своего основного компонента – стока воды. Так, отмечается, что после вырубki леса поверхностный сток с водораздельной территории за год может возрасти до 60%, а в меженный период ещё больше – до 80%, но спустя 30 лет наблюдается его резкое снижение в 2 раза [24; 37; 39]. Со временем, когда лес достигает спелого состояния в 100 лет, величина поверхностного стока воды снова возрастает, достигая своих значений как до вырубki [19]. Рубки леса также могут оказывать вли-

яние на подземный сток, сокращая его вследствие нарушения функции «перевода» лесами поверхностного стока в подземный.

Другие антропогенные факторы, такие, как агротехнические и мелиоративные мероприятия, динамика землепользования, также приводят к изменению гидрологического режима рек. Так, сельскохозяйственная деятельность в основном приводит к сокращению стока (по разным оценкам от 40 до 10%) [12; 40]. Осушение болот, наоборот, улучшает условия формирования стока с поверхности суши, но приводит к значительному сокращению запасов грунтовых вод [40]. Динамика землепользования как результирующая антропогенного воздействия в бассейне реки оказывает серьёзное воздействие на водный режим, приводя к увеличению или сокращению стока, что в обоих случаях может вызывать неблагоприятные последствия [15; 16; 17; 18; 44; 45; 46; 49].

Более сложно поддаются изучению природно-антропогенные связи на средних и больших реках, в отличие от малых водотоков, характеризующихся более выразительной чувствительностью к абиотизации бассейновой суши. Таким образом, реки меньшего размера – это наиболее уязвимая часть речной системы [4]. К средним (с площадью бассейна от 2000 до 50000 км²) относится р. Тура и её притоки (рр. Ница и Пышма), расположенные в юго-западной части Обь-Иртышского бассейна на территории Свердловской и Тюменской областей (рис. 1).

Река Пышма является самым длинным и крупным притоком р. Туры (её длина – 603 км, площадь бассейна – 19 700 км²), а р. Ница имеет самый

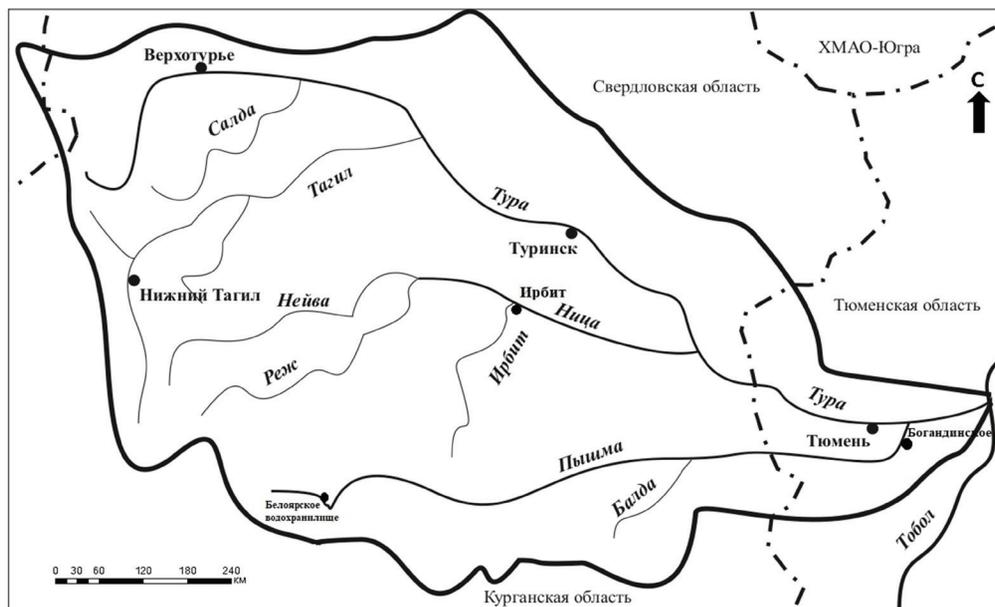


Рис. 1 / Fig. 1. Положение рек Пышмы и Ницы в бассейне р. Туры / The position of the Pyshma and Nitsa rivers in the Tura river basin

Источник: данные авторов

крупный по площади бассейн – 22 300 км², длина реки – 262 км. Среднегодовые расходы рек Пышмы и Ницы равны 39 м³/с и 43 м³/с соответственно. Реки относятся к типу с достаточно высоким и растянутым весенним половодьем, летней меженью и периодически повышенным летне-осенним уровнем из-за дождевых паводков. В зимний период на реках устанавливается межень, и питание рек происходит преимущественно за счёт подземных вод [29].

В пределах бассейнов рр. Ницы и Пышмы широко распространены сельскохозяйственные угодья (представлены преимущественно пашнями), лесохозяйственные и урбанизированные территории и сопутствующая им инфраструктура, а также очаги недропользования в виде добычи торфа, асбеста и других полезных ископаемых.

Плотность населения, рассчитанная авторами на 2019 г., в пределах бассейна р. Пышмы составляет 19 чел./км², тогда как для р. Ницы она составляет 22 чел./км².

Данные реки были выбраны в качестве аналогов потому, что они характеризуются близкими гидрологическими характеристиками, а территории их водосборов отличаются схожими природно-географическими условиями и площадными характеристиками, но отличаются по степени антропогенной трансформации. Обозначенные свойства позволяют рассматривать рр. Ницу и Пышму в качестве интересных объектов для сравнительного изучения (табл. 1). Поэтому данное исследование основывалось на методике географо-гидрологического сравнения 2 аналоговых речных бассейнов, описанной в работах Н. И. Коронкевича и др. [15; 16].

Таблица 1 / Table 1

Сравнительный анализ двух водосборов-аналогов / Comparative analysis of two analogous catchments

Параметр сравнения	р. Ница и её водосбор	р. Пышма и её водосбор
F , км ²	22300	19700
L , км	262 (с р. Нейвой – 556)	603
I , ‰	0,5	0,4
$I_{\text{бас}}$, ‰	0,3	0,2
$h_{\text{ср}}$, м	163	138
$f_{\text{оз}}$, %	1	–
$f_{\text{з}}$, %	12	10
$f_{\text{л}}$, %	50	40
D , км/км ²	0,23	0,20
Q , м ³ /с	43	39
W , км ³	1,4	1,2
Тип водного режима (по Б. Д. Зайкову)	Западно-Сибирский	
Геоморфологические условия	низкие отроги Урала, Туринская равнина	
Состав поверхностных отложений	Верхние части бассейнов сложены трудноразмываемыми элювиально-делювиальными и делювиальными глинами и суглинками; Нижние части бассейнов сложены легкоразмываемыми лессовидными суглинками, супесями и песками	
Тип русловых процессов (по Р. С. Чалову [38])	Равнинный	
Морфодинамический тип русел рек (по Р. С. Чалову [38])	Меандрирующие реки	
Современные ландшафты	Верхние части бассейнов – сосновые леса с примесью хвойных и мелколиственных пород на дерново-подзолистых и серых лесных почвах; Нижние части бассейнов – сельскохозяйственные угодья в областях развития черноземов оподзоленных и выщелоченных и лугово-черноземных почв	
Доля экологически неблагополучных земель (антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов)	78%	58%
Плотность населения, чел/км ²	22	19

Условные обозначения:

F , км² – площадь бассейна;
 L , км – длина реки;
 I , ‰ – уклон реки;
 $I_{\text{бас}}$, ‰ – уклон бассейна;

$h_{\text{ср}}$, м – средняя высота бассейна;
 $f_{\text{оз}}$, % – озерность;
 $f_{\text{з}}$, % – заболоченность;
 $f_{\text{л}}$, % – залесенность;

D , км/км² – густота речной сети;
 Q , м³/с – расход воды;
 W , км³ – объем стока

Источник: составлено по [9; 36]

Гидрометеорологическая информация (расходы воды, температура воздуха и количество осадков за год и за гидрологические сезоны) была обработана с помощью методов статистического анализа в программе МО Exel согласно рекомендациям стандарта Государственного гидрологического института 52.08.41-2017¹ [33]. Для каждого исследуемого года/периода (р. Пышма – 1959, 1969, 1981–1986, 1989, 2008–2016 гг.; р. Ница – 1959, 1981–1986, 1989, 2008–2016 гг.) был построен гидрограф, который далее расчленялся по методу Б. П. Полякова. Исходя из этого, были получены объёмы стока, получаемые за счёт грунтового (подземная составляющая), снегового и дождевого (поверхностная составляющая) питания.

Исследование динамики речного стока Пышмы и Ницы проводилось с 1890-х по 2016 гг. Дополнительно были выделены ключевые периоды: 1980-е гг. и современный период (2008–2016 гг.). Это связано с тем, что имелись данные о ежедневных расходах воды, а также с середины 1980-х гг. были доступны снимки данной территории из космоса, а за современный период (с 2008 г.) данные о расходах воды появились в открытом доступе.

Картографирование современной ландшафтной структуры двух водосборов-аналогов и расчёт фрагментации их территорий производились на основе анализа опубликованных картографических материалов, литературных источников и актуальных данных дис-

танционного зондирования Земли (космоснимки Landsat 5 MSS за 1984 г. для бассейна р. Пышмы и 1985 г. – для бассейна р. Ницы, Landsat 7 ETM+ за 2008 г. для бассейнов рр. Ницы и Пышмы и Landsat 7 ETM+ за 2016 г. для бассейнов рр. Ницы и Пышмы), обработанных с применением ГИС-технологий.

Расчёт скорости изменения площади антропогенных объектов (r) производился по методике, предложенной в работах Дж.-П. Пуйраво [47] и Р. Эрасо и др. [48]. Она заключается в том, что за ключевые года (1980-е гг., 2008 и 2016 гг.) рассчитываются площади антропогенно-изменённых территорий (сельскохозяйственных угодий, лесохозяйственных участков, техногенных объектов) и сравниваются их площади по формуле 1. Это позволяет рассчитать скорости изменения:

$$r = \frac{1}{t_1 - t_2} * \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right) * 100 \quad (1)$$

где:

A_1 и A_2 – площади каждого класса объектов в начале (t_1) и в конце (t_2) рассматриваемого периода.

Наряду с этим была выявлена степень фрагментации территории рассматриваемых бассейнов искусственными рубежами (площадными и линейными объектами), нарушающих естественный режим поверхностного стока. Поэтому в данном контексте под фрагментацией понимается процесс трансформации геосистемного покрова из более крупных по площади природно-территориальных комплексов в менее крупные и изолированные рукотворными объектами (искусственными рубежами), которые относятся к категории антропогенно-модифици-

¹ СТО ГГИ 52.08.41–2017 Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчёту. Санкт–Петербург: ФГБУ ГГИ, 2017. 46 с.

рованных (пахотные, пастбищные, лесохозяйственные и др.) и техногенных (урбанизированные, индустриальные, транспортные и др.) ландшафтов. Таким образом, по мере развития процесса фрагментации формируется водосборное пространство, оказывающее всё более разделённым антропогенно-модифицированными и техногенными объектами, что снижает

эффективность водоочистой и водорегулирующей функций биоты в ландшафтно-бассейновой геосистеме. Согласно зарубежным методикам [42; 43], использованным при оценке фрагментации местообитаний, применялся метод «эффективной ячейки» (формула 2), показывающий среднюю площадь нефрагментированного участка (m_{eff}) в выбранных границах:

$$m_{eff} = \left(\left(\frac{A_1}{A_{total}} \right)^2 + \left(\frac{A_2}{A_{total}} \right)^2 + \left(\frac{A_3}{A_{total}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{A_n}{A_{total}} \right)^2 \right) \times A_{total} = \quad (2)$$

$$\frac{1}{A_{total}} \times \sum_{i=1}^n A_i^2 \quad (2)$$

где:

n – число участков,

A_i – площадь участков ($i = 1, \dots, n$),

A_{total} – общая площадь.

Если территория полностью застроена, то $m_{eff} = 0$; а если территория не разделена искусственными рубежами, то $m_{eff} =$ её площади.

Данные показатели до этого применялись только для небольших по площади урбанизированных территорий с целью разделить экологически эффективные площади и застройку [10]. В настоящем исследовании они были впервые апробированы для оценки «здоровья» речных бассейнов. Это позволило на конкретных примерах изучить общую фрагментацию бассейновой суши (стокоформирующей территории), степень которой оказывает влияние на уязвимость речных бассейнов к современным изменениям климата, что проявляется в активизации неблагоприятных природных явлений, имеющих гидрометеорологический генезис. Использование данного подхода позволит усовершенствовать анализ колебаний речного стока, применительно к конкретной ландшафтно-бассейновой структуре.

Анализ влияния ландшафтно-экологических изменений на трансформацию речного стока

Трансформация поверхностной и подземной составляющих речного стока находятся в прямой зависимости от изменения климата (количества осадков, направленный тренд на потепление или похолодание и т. д.) и геоэкологического состояния водосборов.

Колебания речного стока. Анализ значений расходов воды рр. Пышмы и Ницы показал, что абсолютные показатели стока возрастают в 1980-е и 2008–2016 гг. по сравнению с периодом исчисления нормы стока, который принимался по К. П. Воскресенскому [2] с конца XIX в. по 1960-е гг. (табл. 2). Это характерно как для среднегодовых значений расходов воды, так и для гидрологических сезонов. Прирост зна-

Таблица 2 / Table 2

Средние значения расходов воды рр. Пышмы и Ницы за указанные периоды / Average water runoff of the Pyshma and Nitsa rivers

Тип стока	Период исчисления нормы стока, м ³ /с	1980-е гг., м ³ /с	2008–2016 гг., м ³ /с
р. Пышма			
Среднегодовой	28,2	39,0	33,5
Зимний	6,4	14,3	11,9
Весенний	102,2	115,5	115,4
Летне-осенний	20,3	31,1	22,5
р. Ница			
Среднегодовой	42,1	54,4	48,6
Зимний	11,7	21,6	18,5
Весенний	144,4	168,8	153,0
Летне-осенний	31,4	43,1	36,8

Источник: составлено авторами

чений стока воды из двух исследуемых рек отмечается на р. Нице.

Соотношение объёмов подземной и поверхностной составляющих стока, рассчитывающихся путём расчленения гидрографа, в 1959 г. (это наиболее ранний период, для которого имелись данные о ежедневных расходах воды) показало, что в этот год на обеих реках превалировал подземный сток (рис. 2А-Б). Также для р. Пышмы отдельно изучался 1969 г., т. к. за данный период в верховьях реки было создано Белоярское водохранилище. Вследствие заполнения водохранилища произошло подтопление территории, что, по-видимому, привело к увеличению подземной составляющей стока до 54%. В 1980-е гг. в среднем поверхностный сток составлял 70% у обеих рек, сохраняющий тенденцию к росту в современный период (в среднем до 73% – на р. Пышме и до 75% – на р. Нице).

Для обеих рек было проведено сравнение доли стока воды за каждый месяц в общегодовом речном стоке, взятом за 100%, за 1980-е и 2008–2016 гг. (рис. 2 В-Г). Отмечается, что в современный период происходит увеличение доли стока, приходящейся на весеннее половодье (на 3% – для Пышмы и 5% – для Ницы), а летне-осенние паводки, наоборот, исчезают.

Современные изменения климата как фактор динамики речного стока. В пределах изучаемых речных бассейнов наблюдается увеличение температуры воздуха как за год, так и за гидрологические сезоны после 1970 г. (рис. 3А-Б). В основном, это происходит за счёт потепления зимнего периода (на 1,5°C – для бассейна р. Пышмы, на 1,2°C – для водосбора р. Ницы). Те же тенденции характерны и для количества выпадающих осадков над данными территориями (рис. 3В-Г). Основной рост осадков происходит за счёт летне-осеннего периода. В пределах бассейна

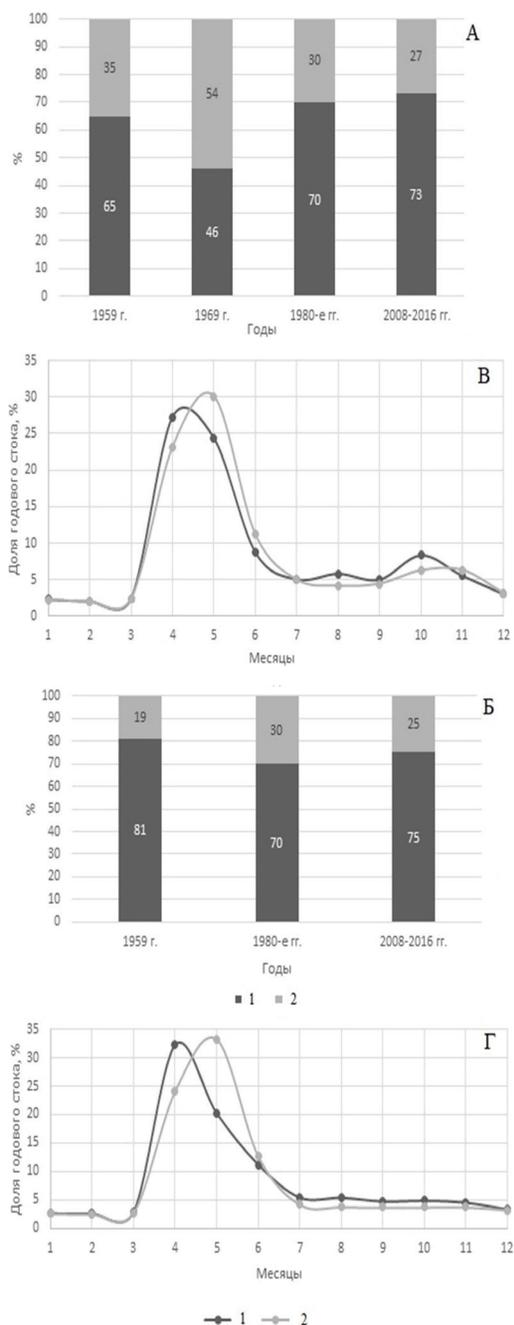


Рис. 2 / Fig. 2. Колебания речного стока: динамика поверхностного (1) и подземного (2) стока на рр. Пышме (А) и Нице (Б); динамика относительного речного стока на рр. Нице (1) и Пышме (2) в 1980-е гг. (В) и 2008–2016 гг. (Г) / Fluctuations in water runoff: dynamics of surface (1) and underground (2) runoff on the Pyshma (A) and Nitsa (B) rivers; the dynamics of the relative water runoff in the Nitsa (1) and Pyshma (2) rivers in the 1980s (B) and 2008–2016 (C).

Источник: данные авторов

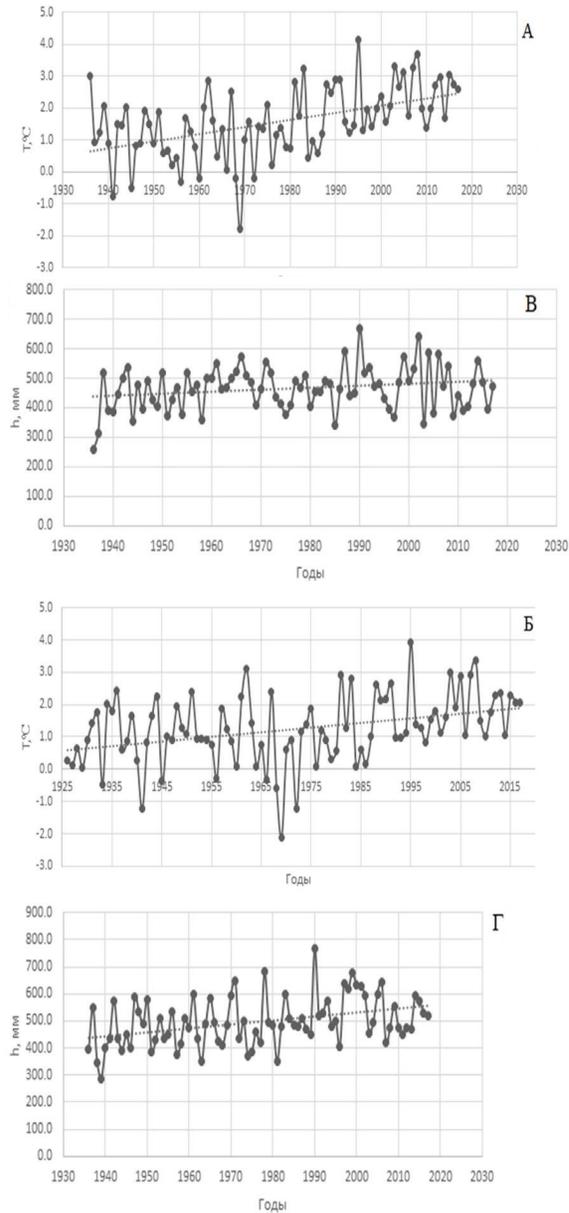


Рис. 3 / Fig. 3. Изменение климата: динамика среднегодовой температуры воздуха для бассейнов р. Пышмы (метеостанция в г. Тюмени) за 1936–2017 гг. (А) и р. Ницы (метеостанция в г. Туринске) за 1936–2017 гг. (Б); динамика среднегодового количества осадков для бассейнов р. Пышмы (метеостанция в г. Тюмени) за 1936–2017 гг. (В) и р. Ницы (метеостанция в г. Туринске) за 1936–2017 гг. (Г) / Climate change: dynamics of the average annual air temperature for the Pyshma river basin (weather station in Tyumen) for 1936–2017 (A) and the Nitsa River basin (weather station in Turinsk) for 1936–2017 (B); dynamics of the average annual rainfall for the Pyshma river basin (weather station in Tyumen) for 1936–2017 (C) and the Nitsa River basin (weather station in Turinsk) for 1936–2017 (D).

Источник: данные авторов

р. Ница произошло увеличение количества осадков на 57 мм, а для водосбора р. Пышмы оно составило 21 мм.

Было проведено сравнение значений расходов воды за год и сезоны и количества выпадающих осадков для рр. Пышма и Ница как за основной (с 1936 по 2016 гг.), так и за ключевой (1980-е и 2008–2016 гг.) периоды. Расчёт коэффициентов корреляции показал слабую линейную связь (диапазон величин колеблется от 0,08 до 0,47). Исключение составили коэффициенты корреляции для р. Ница в летне-осенний период (0,50 и 0,62). Это показывает её большую отзывчивость на климатические изменения, и, как следствие, проявление неблагоприятных гидрологических явлений в связи с большей хозяйственной освоенностью бассейна р. Ницы, о чём будет сказано ниже.

Антропогенная трансформация ландшафта как фактор динамики речного стока. В пределах анализируемых водосборов выделено 5 классов объектов: сельскохозяйственные угодья, урбанизированные территории, вырубки, заболоченные территории и леса (рис. 4А-Б). Динамика землепользования с середины 1980-х по 2016 гг. показала, что урбанизированные и заболоченные территории возраста-

ли на протяжении всего исследуемого периода.

Уменьшение площади сельскохозяйственных угодий (в основном земля под пашнями) началось с середины 1980-х гг, продолжалось в 1990-е вплоть до 2008 г., а в современный период (с 2009 г.) начинают, наоборот, увеличиваться [22]. Этот рост, в первую очередь, связан с возрастающей потребностью животноводства в кормовой базе (фуражном зерне). Изменение площади лесных территорий различается в пределах речных бассейнов. Так, для водосборной территории р. Пышмы характерно постепенное сокращение лесов и возрастание рубок леса. Тогда как речной бассейн Ницы до 2008 г. отличался восстановлением леса на старых вырубках, которое сменилось в современный период (с 2009 г.) активными лесозаготовками. В общем, площади антропогенномодифицированных и техногенных ландшафтов (сельскохозяйственных угодий, вырубок, урбанизированных территорий и др. объектов техногенеза) в пределах речных бассейнов выросли в современный период по сравнению с 1980-ми гг. на 3% для Ницы и на 1% для Пышмы. Для них же были рассчитаны ежегодные скорости изменения их площади [47; 48] (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Ежегодная скорость изменения площади класса антропогенных объектов, % / The annual rate of change in the area of the class of anthropogenic objects, %

Бассейн	1984, 1985–2008 гг.			2008–2016 гг.		
	С/х угодья	Вырубки	Техногенные объекты	С/х угодья	Вырубки	Техногенные объекты
р. Пышма	-1,17	0,48	0,77	1,05	0,67	1,05
р. Ница	-1,19	-0,52	1,69	1,66	0,82	1,78

Источник: составлено авторами

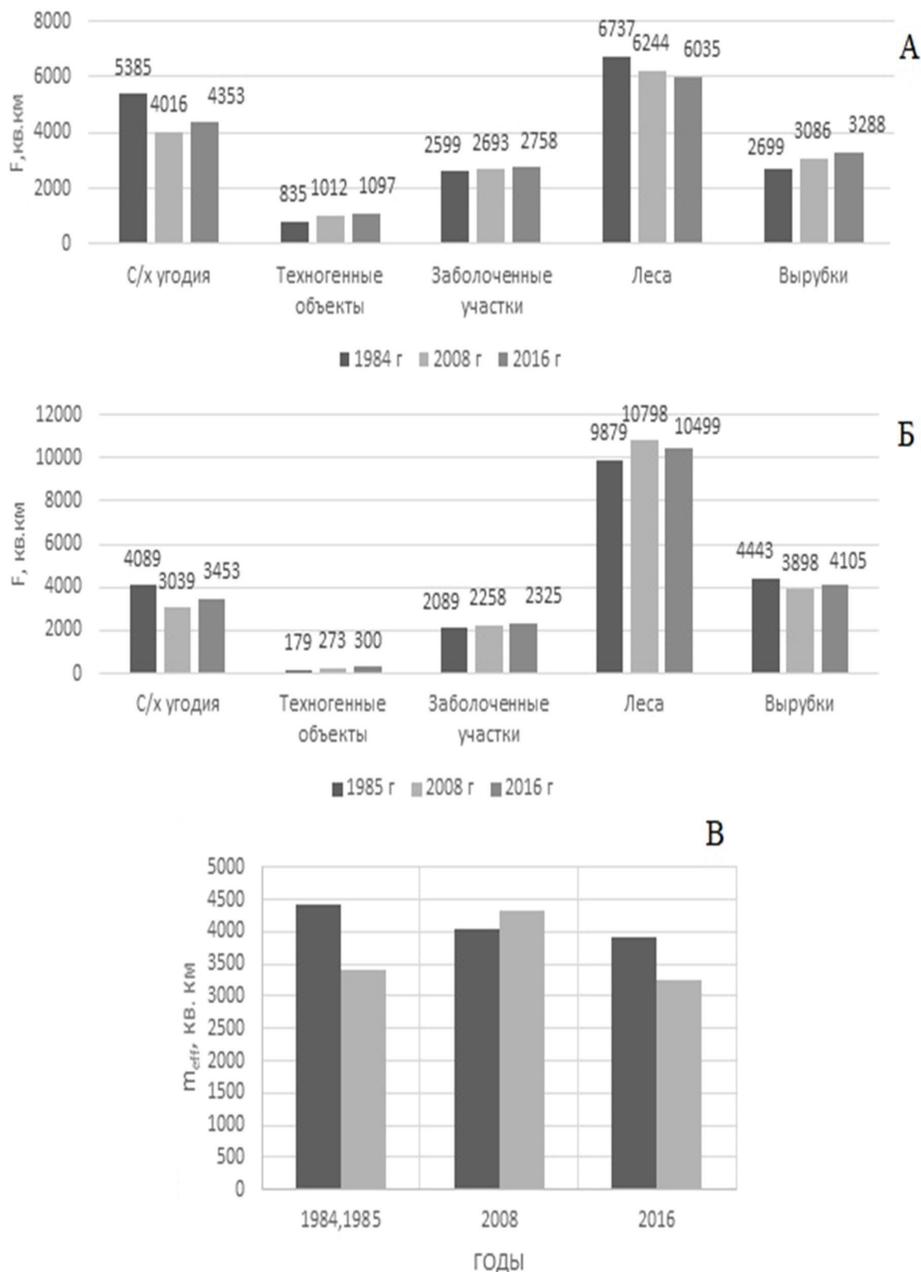


Рис. 4 / Fig. 4. Влияние антропогенной деятельности на речные бассейны: динамика землепользования с середины 1980-х по 2016 гг. для бассейнов рр. Пышмы (А) и Ницы (Б); площадь нефрагментированной территории в пределах бассейнов рр. Пышмы (1) и Ницы (2) за период 1980-х–2016 гг. (В) / The impact of anthropogenic activities on river basins: land use dynamics from the mid-1980s to 2016 for Pyshma river basin (A) and the Nitsa River basin (B); the area of unfragmented territory within the river basins: Pyshma (1) and Nitsa (2) for the period of 1980s–2016 (C).

Источник: данные авторов

Отмечается, что в период 2008–2016 гг. интенсивность антропогенного преобразования территории увеличилась, в первую очередь, в пределах бассейна р. Ницы.

Степень фрагментации территории искусственными рубежами, под которыми подразумеваются площадные и линейные объекты [42; 43], показала, что площадь ненарушенных территорий в пределах речного бассейна р. Пышмы с середины 1980-х по 2016 гг. сокращалась (рис. 4В). Тогда как для водосбора р. Ницы площадь нефрагментированной территории увеличилась за счёт зарастания вырубок до 2008 г., но к 2016 г. активное освоение речного бассейна р. Ница привело к

сокращению площади ненарушенных территорий, которые составляют сейчас значительно меньшую долю от общей площади по сравнению с водосбором р. Пышмы (14 и 20% соответственно).

Оценка современного состояния растительного покрова [14], выполняющего значимую роль в формировании стока, в совокупности с анализом структуры землепользования позволило получить категории современных ландшафтов в бассейнах рр. Пышмы и Ницы (рис. 5) согласно классификации, разработанной на географическом факультете МГУ [21]: условно-коренные, вторично-производные, антропогенно-модифицированные и

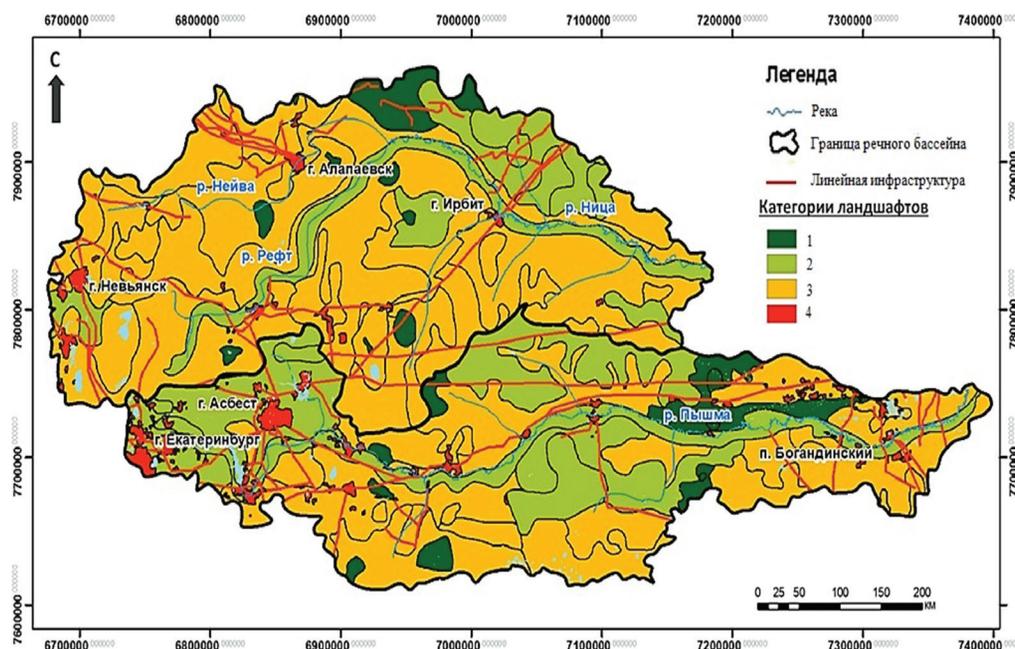


Рис. 5 / Fig. 5. Категории современных ландшафтов в бассейнах рр. Пышмы и Ницы: 1 – условно-коренные, 2 – вторично-производные, 3 – антропогенно-модифицированные, 4 – техногенные / Categories of modern landscapes in the basins of the Pyshma and Nica rivers: 1 – conditionally native, 2 – secondary derivatives, 3 – anthropogenically modified, 4 – technogenic.

Источник: данные авторов

техногенные. Первые 2 типа можно отнести к экологически эффективным территориям, которые могут выполнять основные средоформирующие и средозащитные функции. Они главные «носители» биоты, которая обеспечивает сохранение естественного гидрологического режима территории, и являются буфером для изменений, которые происходят в результате современных климатических изменений. Два остальных типа ландшафта испытывают постоянное воздействие в ходе хозяйственной деятельности человека, а их компоненты (литогенная основа, гидроклиматические условия и биота) могут быть полностью изменены.

Анализ полученных данных показал, что наиболее антропогенно преобразованным речным бассейном является водосбор р. Ницы, т. к. на долю антропогенно-модифицированных и техногенных ландшафтов приходится 78% от общей площади, тогда как для бассейна р. Пышмы они составляют 58%. Условно-коренные и вторично-производные ландшафты в пределах водосбора р. Ницы занимают 4 и 18% от общей территории, а в бассейне р. Пышмы – 8 и 36%.

Наиболее преобразованные в пределах двух аналоговых водосборов – южнотаёжные и подтаёжные ландшафты озёрно-аллювиальных и аллювиальных низменных равнин с покровом лессовых и лессовидных суглинков мощностью до 17 м, южнотаёжные ландшафты древнеаллювиальных и древнедельтовых зандровых низменных равнин с покровом песков и галечников мощностью от 20 до 30 м, подтаёжные ландшафты древнеаллювиальных, озёрно-аллювиальных и озёрных низменных равнин

с покровом глинистых и суглинистых отложений мощностью от 15 до 40 м. Учитывая индивидуальные инженерно-геологические свойства почвогрунтов, наиболее денудационно-опасным в пределах данных водосборов, представляется освоение озёрно-аллювиальных и аллювиальных низменных равнин с покровом лессовых и лессовидных суглинков, мощность которых достигает почти 20 м.

Относительно устойчивыми к механической денудации в пределах бассейнов рр. Ницы и Пышмы являются южнотаёжные ландшафты эрозионных и эрозионно-денудационных возвышенных равнин на элювиально-делювиальных суглинисто-супесчаных отложениях с включениями слабо выветрелого щебня и редкого гравия мощностью до 5 м и песчано-суглинистых отложений с покровом лессовых суглинков и лессовидных супесей (до 5 м). Наличие трудно размываемых отложений в пределах данных ландшафтов определяет их низкий денудационный потенциал.

Природоохранные мероприятия. Речной сток в значительной степени организован функционированием системы «растительность – почва – зона активного водообмена», следовательно, состояние водосборных ландшафтов – фактор существенного воздействия на гидролого-экологическую ситуацию в речном бассейне. Поэтому в зависимости от степени антропогенной трансформации ландшафтов речного бассейна необходимо применять дифференцированные меры по улучшению экологической ситуации в его пределах. Такое планирование должно осуществляться в масштабах всего водосбора, но зачастую это сдерживается административными границами.

Предложенные ниже мероприятия с указанными граничными значениями преобразованных территорий представляются актуальными для южно-таёжных и подтаёжных ландшафтов, а для других зональных условий они должны иметь иные рубежные показатели. Указанные величины имеют ориентировочное значение и в значительной степени зависят от доли запечатанных, распаханых и действующих лесохозяйственных территорий.

При *высокой* степени антропогенной трансформации ландшафтов (>60%) ввиду нарушения экологических функций ландшафта необходимо проводить лесовосстановление, агролесомелиоративные мероприятия и «зелёное» обустройство городского пространства (создание и развитие экологического каркаса территории).

При *средней* степени антропогенной модификации ландшафтов (30–60%) следует реализовывать мероприятия по управлению антропогенной нагрузкой (её интенсивностью и пространственной структурой) во избежание дальнейшего ухудшения экологической ситуации.

При *низкой* степени трансформации ландшафтов (менее 30%) целесообразно размещать ООПТ как для охраны биологического разнообразия, так и для защиты территорий с высоким денудационным потенциалом.

Заключение

В ходе исследования выявлен общий тренд увеличения количества выпадающих осадков (в бассейне р. Ница на 57 мм за весь анализируемый период, а в бассейне р. Пышма – на 21 мм), что совпадает с ростом расходов воды (для р. Ницы рост $Q_{\text{ср.год}}$ на $7 \text{ м}^3/\text{с}$, а для

р. Пышмы – $6 \text{ м}^3/\text{с}$). Однако отмечается незначительное влияние изменения климата на трансформацию режима стока воды каждой из рек (коэффициенты корреляции между расходами воды и годовым количеством осадков невысоки за исключением летне-осеннего сезона на р. Нице).

В настоящее время отмечен рост антропогенно-преобразованных ландшафтов в сравнении с периодом 1980-х гг. (для бассейна р. Ницы – на 3%, для бассейна р. Пышмы – на 1%), что согласуется с увеличением расходов воды по сравнению с периодом исчисления нормы, а также с ростом поверхностного стока с 1980-х гг. на 3% для р. Пышма и на 5% для р. Ница. Эти изменения выражаются в последующей трансформации гидрологического режима, что проявляется в форме увеличения роли весеннего половодья и снижения вклада летне-осенних паводков.

Наибольшее антропогенное влияние испытывает водосборный бассейн р. Ницы (78% антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и 14% нефрагментированной территории в сравнении с 58 и 20% в бассейне р. Пышмы соответственно), что обуславливает её большую уязвимость к неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям (разрушительные наводнения).

Оценку влияния антропогенной трансформации бассейновых ландшафтов предлагаем осуществлять: а) на основе анализа динамики площадных параметров биотизированных (антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных геосистем), характеризующихся наибольшей интенсивностью поверхностного

стока, в т. ч. и в связи с запечатанностью почвогрунтов; б) на основе сравнения расчётных значений степени фрагментации территорий водосборов площадными объектами и линейными рубежами рукотворного происхождения в разные временные периоды.

На наш взгляд, экологическое состояние речного бассейна необходимо оценивать по сумме параметров: запасов фитомассы в динамике, степени фрагментации территории площадными и линейными объектами антропогенного (в т. ч. техногенного) происхождения и тенденции её изменения, динамики поверхностной и подземной составляющих стока, изменения доли весеннего половодья и летне-осенних паводков в структуре речного стока, динамики речного стока за гидрологические фазы, наличия и повторяемости катастрофических гидрологических явлений (аномально высокие половодья, наводнения, обмеления реки и т. д.).

Проведённая работа позволила не только выявить вклад антропогенной трансформации ландшафтов и климатических флуктуаций в изменении структуры речного стока, но и выделить ключевые гидрологические индикаторы, позволяющие оцени-

вать тенденции развития природно-антропогенных процессов в пределах территории речных бассейнов. Путь к повышению устойчивости бассейновых геосистем в условиях изменения климата должен базироваться на комплексных оценках с привлечением данных по абиотизации и фрагментации стокоформирующих ландшафтов.

В данной статье предложена технология первичной оценки экологического состояния речных бассейнов (т. е. степени «здоровья» их стокоформирующих ландшафтов), базирующаяся на анализе современной ландшафтной структуры их территорий в увязке с динамикой гидрологических характеристик. Данный подход позволяет утверждать, что бассейн – это особый объект, весьма перспективный не только для геоэкологического изучения, но и для управления окружающей средой и природно-антропогенными рисками. Поэтому изучение ландшафтно-бассейновых структур продолжает сегодня оставаться фундаментальной проблемой современной географии и геоэкологии, а исследование подобных образований требует использования самых разнообразных методов и подходов, накопленных науками о Земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н. И. Речной сток: географическая роль и индикационные свойства // Вопросы географии. 2012. Вып. 133. С. 48–71.
2. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 552 с.
3. Глазовская М. А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере / отв. науч. ред. А. Г. Назаров. М.: Наука, 1976. С. 99–118.
4. Голосов В. Н., Сидорчук А. Ю., Чернов А. В. Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети // Эрозионные и русловые процессы. 1996. Вып. 2. С. 56–70.
5. Горшков С. П. Организованность биосферы и устойчивое развитие // Жизнь Земли. 2015. Вып. 37. С. 62–84.

6. Горшков С. П. Речные бассейны как главные звенья биосферы // *Меняющийся мир: географический подход к изучению* / пер. с англ. Р. Дж. Бэрри, Т. В. Бочкарева, А. А. Величко и др. М.: Прогресс, 1991. С. 257–263.
7. Горшков С. П. *Учение о биосфере. Введение*. М.: МГУ, 2007. 118 с.
8. Горшков С. П. *Экзодинамические процессы освоенных территорий*. Москва: Недра, 1982. 286 с.
9. *Западная Сибирь* / отв. ред. Г. Д. Рихтер. М.: АН СССР, 1963. 490 с.
10. Захаров К. В. Оценка степени фрагментации местообитаний диких животных искусственными рубежами (на примере Московского региона) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2015. Вып. 120. № 2. С. 3–10.
11. Исаченко А. Г. *Ландшафты СССР*. Л.: ЛГУ, 1985. 320 с.
12. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. *Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья)*. Тюмень: ТюмГУ, 1998. 220 с.
13. Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. *Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
14. *Карта растительности Свердловской области*. М–б 1:2 500 000. Москва: Роскартография, 1997.
15. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Влияние урбанизированных территорий на речной сток в Европе // *Известия РАН. Серия географическая*. 2019. № 3. С. 78–87. DOI: 10.31857/S25875566201937887
16. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // *Известия РАН. Серия географическая*. 2015. № 5. С. 38–45.
17. Коронкевич Н. И. *Преобразование водного баланса*. М.: Наука, 1973. 119 с.
18. Кoryтный Л. М. *Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию* // *География и природные ресурсы*. 2017. Вып. 2. С. 5–16.
19. Крестовский О. И. *Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек*. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 118 с.
20. Кузнецов М. С. Понятие «противоэрозионная стойкость почв» и классификация почв по противоэрозионной стойкости // *Эрозия почв и русловые процессы* / науч. ред. Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. М.: МГУ, 1981. С. 54–66.
21. Куракова Л. И., Романова Э. П. *Современные ландшафты: содержание, классификация, тенденции развития* // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. 1989. № 5. С. 31–37.
22. Мамяченков В. Н. *Растениеводство Среднего Урала в 1913–2012 гг.: сто лет реформирования* // *Научный диалог*. 2017. Вып. 7. С. 144–161.
23. Мандыч А. Ф. Роль водной эрозии в реакции растительности на изменения климата // *Известия АН СССР. Серия географическая*. 1990. Вып. 1. С. 18–26.
24. Марунич С. В., Федоров С. Ф. *Изменение водного режима водосборов под влиянием лесохозяйственных мероприятий* // *Труды ГГИ*. 1986. Вып. 311. С. 93–103.
25. Медведков А. А. *Среднетаежные геосистемы бассейна р. Енисей в условиях меняющегося климата: дис. ... канд. геогр. наук*. М., 2013. 184 с.
26. Медведков А. А., Котова М. В. *Противопожарный потенциал лесов водоохраной зоны озера Байкал (на территории Байкало–Ленского заповедника)* // *Известия РАН. Серия географическая*. 2020. № 5. С. 764–775. DOI: 10.31857/S2587556620050118
27. Мильков Ф. Н. *Бассейн реки как парадинамическая ландшафтная система и вопросы природопользования* // *География и природные ресурсы*. 1981. № 4. С. 11–18.
28. Назаров Н. А., Сиринов А. А. *Модель и алгоритмы расчета формирования речного стока на лесном водосборе*. М.: Междувед. геофиз. ком., 1988. 107 с.

29. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 11: Средний Урал и Приуралье. Вып. 2. Тобол / под ред. Н. М. Алюшинской. М.: Гидрометеиздат, 1965. 535 с.
30. Ретеюм А. Ю. Механизмы функционирования геосистем // Известия АН СССР. Серия географическая. 1988. № 6. С. 42–48.
31. Ретеюм А. Ю. Физико-географическое районирование и выделение геосистем // Вопросы географии. 1975. Вып. 98. С. 5–27.
32. Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. 2003. Вып. 4. С. 7–32.
33. Титов И. А. Взаимодействие растительных сообществ и условий среды. М.: Советская наука, 1952. 470 с.
34. Трикар Ж., Каие А. Проблемы классификации геоморфологических явлений // Вопросы климатической и структурной геоморфологии / под ред. Ю. А. Мещерякова. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. С. 32–66.
35. Уайт Г. Водные ресурсы США: проблемы использования / пер. с англ. А. Н. Кренке. М.: Прогресс, 1973. 191 с.
36. Урал и Приуралье / отв. ред. И. В. Комар, А. Г. Чикише. М.: Наука, 1968. 461 с.
37. Федоров С. Ф., Марунич С. В. Гидрологическая роль леса. Обнинск, 1985. 43 с.
38. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
39. Швебс Г. И. Теоретические аспекты географо-гидрологических и ландшафтно-гидрологических исследований // Гидрологические исследования ландшафтов: сб. статей / отв. ред. Г. В. Бачурин, Л. М. Корытный. Новосибирск, 1986. С. 5–8.
40. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.
41. Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневецкая И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. 2019. Вып. 46. № 2. С. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
42. European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. EEA Report № 2. Copenhagen: EEA, 2011. 87 p.
43. Jaeger J. A. G. Landschaftszerschneidung: Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Stuttgart: Ulmer, 2002. 447 p.
44. Le Thuy Ngan, Bregt Arnold K., Halsem, Gerardo E. van Hellegers, Petra J.G.J., Nguyen Lam-Dao Interplay between land-use dynamics and changes in hydrological regime in the Vietnamese Mekong Delta // Land use policy. 2018. Vol. 73. P. 269–280.
45. Patil R., Pullar D., Wei Y. Understanding hydro-ecological surprises for riverine ecosystem management // Current Opinion in Environmental Sustainability. 2018. Vol. 33. P. 142–150. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.05.021
46. Ponpang-Nga P., Techamahasaranont J. Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River basin, Thailand // Agriculture and Natural Resources. 2016. Vol. 50. P. 310–320. DOI: 10.1016/j.anres.2016.10.005
47. Puyravaud J.-P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation // Forest Ecology and Management. 2003. Vol. 177. P. 593–596. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
48. Rodríguez Erazo N., Armenteras-ascual D., Retana Alumbrosos J. Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios // Journal of Land Use Science. 2013. Vol. 8. P. 154–157.

49. Trang N. T. T., Shrestha S., Shrestha M., et al. Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok) // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 576. P. 586–598. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.138

REFERENCES

1. Alekseevsky N. I. [River flow: geographical role and indicator properties]. In: *Voprosy geografii* [Questions of geography], 2012, iss. 133, pp. 48–71.
2. Voskresensky K. P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka reki Sovetskogo Soyuz* [Norm and variability of annual flow of rivers of the Soviet Union]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1962. 552 p.
3. Glazovskaya M. A. [Landscape-geochemical systems and their resistance to technogenesis]. In: Nazarov A. G., ed. *Biogeokhimicheskiye tsikly v biosfere* [Biogeochemical cycles in the biosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 99–118.
4. Golosov V. N., Sidorchuk A. Yu., Chernov A. V. [Small rivers as the most vulnerable link of the river network]. In: *Eroziionnyye i ruslovyye protsessy* [Erosion and channel processes], 1996, vol. 2, pp. 56–70.
5. Gorshkov S. P. [Organization of the biosphere and sustainable development]. In: *Zhizn Zemli* [Life of the Earth], 2015, iss. 37, pp. 62–84.
6. Gorshkov S. P. [River basins as the main links of the biosphere]. In: *Global change: geographical approaches* (Rus. ed.: Barry R. J., Bochkareva T. V., Velichko A. A., transl. from Engl. *Menyayushchiysya mir: geograficheskiy podkhod k izucheniyu*). Moscow, Pogresss Publ., 1991, pp. 257–263).
7. Gorshkov S. P. *Obucheniyeye o biosfere. Vvedeniye* [Doctrine of the biosphere. Introduction]. Moscow, MGU Publ., 2007. 118 p.
8. Gorshkov S. P. *Ekzodinamicheskiye protsessy osvoyeniya territoriy* [Exodynamic processes of developed territories]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 286 p.
9. Richter G. D. M., ed. *Zapadnaya Sibir* [Western Siberia]. Moscow, AN SSSR, 1963. 490 p.
10. Zakharov K. V. [Assessment of the degree of fragmentation of wild animal habitats by artificial boundaries (using the example of the Moscow region)]. In: [Bulletin of the Moscow Society of Nature Scientists. Department of biology], 2015, iss. 120, no. 2, pp. 3–10.
11. Isachenko A. G. [Landscapes of the USSR]. Leningrad, LGU Publ., 1985. 320 p.
12. Kalinin V. M., Larin S. I., Romanova I. M. [Small rivers under conditions of anthropogenic impact (on the example of the Eastern Trans-Urals)]. Tyumen, TyumGU Publ., 1998. 220 p.
13. Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. [Hydrological role of forestry and forestry work in the taiga zone of the European North of Russia]. Petrozavodsk, KarNTS RAN, 2010. 225 p.
14. *Karta rastitelnosti Sverdlovskoy oblasti. M–b 1 : 2 500 000* [Map of vegetation of the Sverdlovsk region. Scale 1 : 2 500 000]. Moscow Roscartography, 1997.
15. Koronkevich N. I., Melnik K. S. [The influence of urbanized territories on river flow in Europe]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya RAS. Geographical series], 2019, no. 3, pp. 78–87. DOI: 10.31857/S25875566201937887
16. Koronkevich N. I., Melnik K. S. [Hydrological consequences of land use changes in the Moscow River basin]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia RAS. Geographical series], 2015, no. 5, pp. 38–45.
17. Koronkevich N. I. *Preobrazovaniye vodnogo balansa* [Transformation of water balance]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 119 p.
18. Korytny L. M. [Basin concept: from hydrology to environmental management]. In: *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and natural resources], 2017, vol. 2, pp. 5–16.
19. Krestovskiy O. I. *Vliyaniye vyrubok i vosstanovleniya lesa Otsenka vodnosti rek* [The influence

- of felling and restoration of forests on the water content of rivers]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 118 p.
20. Kuznetsov M. S. [The concept of “anti-erosion resistance of soils” and classification of soils according to anti-erosion resistance]. In: Makkaveev N. I., Chalov R. S., eds. *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil erosion and channel processes]. Moscow, MGU Publ., 1981, pp. 54–66.
 21. Kurakova L. I., Romanova E. P. [Modern landscapes: content, classification, development trends]. In: *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow State University. Series 5. Geography], 1989, no. 5, pp. 31–37.
 22. Mamyachenkov V. N. [Crop production of the Middle Urals in 1913–2012: one hundred years of reform]. In: *Nauchnyy dialog* [Scientific dialogue], 2017, vol. 7, pp. 144–161.
 23. Mandych A. F. [The role of water erosion in the response of vegetation to climate change]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series], 1990, vol. 1, pp. 18–26.
 24. Marunich S. V., Fedorov S. F. [Changes in the water regime of catchment areas under the influence of forestry measures]. In: *Trudy GGI* [Proceedings of the State Hydrological Institute], 1986, vol. 311, pp. 93–103.
 25. Medvedkov A. A. *Srednetayozhnyye geosistemy basseyna r. Yenisey v usloviyakh menyayushchegosya klimata : dis. ... kand. geogr. nauk* [Middle taiga geosystems of the river basin. Yenisei in a changing climate: Cand. Sci. thesis in Geography Sciences]. Moscow, 2013. 184 p.
 26. Medvedkov A. A., Kotova M. V. [Fire potential of forests in the water protection zone of Lake Baikal (on the territory of the Baikal-Lena Nature Reserve)]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia RAS. Geographical series], 2020, no. 5, pp. 764–775. DOI: 10.31857/S2587556620050118
 27. Milkov F. N. [River basin as a paradynamic landscape system and environmental management issues]. In: *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and natural resources], 1981, no. 4, pp. 11–18.
 28. Nazarov N. A., Sirin A. A. *Model i algoritmy rascheta formirovaniya rechnogo zapasa na lesonom vodosbore* [Model and algorithms for calculating the formation of river flow in a forest catchment]. Moscow, Mezhdved. geofiz. kom. Publ., 1988. 107 p.
 29. Alushinskaya N. M., ed. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost. Tom 11: Sredniy Ural i Priuralye. Vyp. 2. Tobol* [Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge. Volume 11: Middle Urals and Urals. Vol. 2. Tobol]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1965. 535 p.
 30. Reteyum A. Yu. [Mechanisms of functioning of geosystems]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series], 1988, no. 6, pp. 42–48.
 31. Reteyum A. Yu. [Physico-geographical zoning and identification of geosystems]. In: *Voprosy geografii* [Questions of geography], 1975, iss. 98, pp. 5–27.
 32. Simonov Yu. G., Simonova T. Yu. [River basin and basin organization of the geographical envelope]. In: *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil erosion and channel processes], 2003, vol. 4, pp. 7–32.
 33. Titov I. A. *Vzaimodeystviye rastitelnykh usloviy i usloviy okruzhayushchey sredy* [Interaction of plant communities and environmental conditions]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1952. 470 p.
 34. Tricard J., Kaye A. [Problems of classification of geomorphological phenomena]. In: Meshcheryakova Yu. A., ed. *Voprosy klimaticheskoy i strukturnoy geomorfologii* [Questions of climatic and structural geomorphology]. Moscow, Izd-vo inostr. lit. Publ., 1959, pp. 32–66.
 35. White G. Water resources of the USA: problems of use (Rus. ed.: Krenke A. P., transl. *Vodnyye resursy SSHA: problemy ispolzovaniya*. Moscow, Progress Publ., 1973. 191 p.)

36. Komar I. V., Chikishe A. G., eds. *Ural i Priuralye* [Urals and the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 461 p.
37. Fedorov S. F., Marunich S. V. *Gidrologicheskaya rol lesa* [Hydrological role of forest]. Obninsk, 1985. 43 p.
38. Chalov R. S. *Rulovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovyye protsessy: prichiny, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Channel studies: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions for the formation of river channels]. Moscow, Izd-vo LKI Publ., 2008. 608 p.
39. Shwebs G. I. [Theoretical aspects of geographical-hydrological and landscape-hydrological studies]. In: Bachurin G. V., Korytny L. M., eds. *Gidrologicheskiye issledovaniya landshaftov* [Hydrological studies of landscapes]. Novosibirsk, 1986, pp. 5–8.
40. Shiklomanov I. A. *Khozyaystvennaya deyatelnost na rechnom stoke* [The influence of economic activity on river flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989. 334 p.
41. Yasinsky S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. [Diffuse pollution of water bodies and assessment of the removal of nutrients under different land use scenarios in the watershed]. In: *Vodnyye resursy* [Water Resources], 2019, vol. 46, no. 2, pp. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
42. *European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. EEA Report № 2.* Copenhagen: EEA, 2011. 87 p.
43. Jaeger J. A. G. *Landschaftszerschneidung: Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung.* Stuttgart, Ulmer, 2002. 447 p.
44. Le Thuy Ngan, Bregt Arnold K., Halsem, Gerardo E. van Hellegers, Petra J.G.J., Nguyen Lam-Dao Interplay between land-use dynamics and changes in hydrological regime in the Vietnamese Mekong Delta. In: *Land use policy*, 2018, vol. 73, pp. 269–280.
45. Patil R., Pullar D., Wei Y. Understanding hydro-ecological surprises for riverine ecosystem management. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, vol. 33, pp. 142–150. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.05.021
46. Ponpang-Nga P., Techamahasaranont J. Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River basin, Thailand. In: *Agriculture and Natural Resources*, 2016, vol. 50, pp. 310–320. DOI: 10.1016/j.anres.2016.10.005
47. Puyravaud J.-P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. In: *Forest Ecology and Management*, 2003, vol. 177, pp. 593–596. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
48. Rodríguez Erazo N., Armenteras-ascual D., Retana Alumbrosos J. Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. In: *Journal of Land Use Science*, 2013, vol. 8, pp. 154–157.
49. Trang N. T. T., Shrestha S., Shrestha M., et al. Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok). In: *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 576, pp. 586–598. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.138

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Куракова Анна Александровна – кандидат географических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

Медведков Алексей Анатольевич – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова; старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования Института географии РАН; e-mail: a-medvedkov@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Kurakova – PhD (Geography), Junior Researcher, Makkaveev laboratory of soil erosion and fluvial processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

Alexei A. Medvedkov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; Senior Researcher, Department of Physical Geography and Nature Management Problems, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences; e-mail: a-medvedkov@bk.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Куракова А. А., Медведков А. А. Влияние ландшафтно-экологических изменений на трансформацию речного стока двух водосборов-аналогов в юго-западной части Обь-Иртышского бассейна // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 30–54.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54

FOR CITATION

Kurakova A. A., Medvedkov A. A. Influence of landscape-ecological changes on river flow transformation of two analogues drains in the southwestern part of the Ob-Irtysh basin. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 30–54.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54

Научная статья

УДК 631.45

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-55-69

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ» ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ Г. КРАСНОЯРСКА

Орбан Е. С.¹, Шарафутдинов Р. А.²

¹ Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, Российская Федерация;
E-mail: liz.orban@mail.ru; ORCID: 0009-0004-7471-5823

² Сибирский федеральный университет,
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79, Российская Федерация;
E-mail: rsharafutdinov@sfu-kras.ru; ORCID: 0000-0002-0282-9133

Поступила в редакцию 18.07.2023

После доработки 03.11.2023

Принята к публикации 15.12.2023

Аннотация

Цель. Выявить особенности распределения химических элементов в системе «почва – растения» пойменных ландшафтов крупного промышленного г. Красноярск.

Процедура и методы. В образцах почв и растений методом атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой было установлено валовое содержание химических элементов¹. Для полученных результатов был рассчитан коэффициент накопления, показывающий характер внутреннего перераспределения химических элементов в системе «почва – растение», составлены ряды биологического накопления для 12 участков, расположенных в пределах низкой поймы р. Енисей г. Красноярск.

Результаты. Проведён эколого-геохимический анализ пойменных ландшафтов г. Красноярск. Определены основные закономерности распределения химических элементов в растительном и почвенном покровах, оценён вклад экзогенного поступления элементов. Выявлена гипераккумуляция Hg, Mn, Mo, S, Se, Zn представителями рода *Salix*. Отмечено, что S вносит наиболее значимый вклад в загрязнение почв и растительности пойменных ландшафтов.

Теоретическая и/или практическая значимость. Выявлено количественное соотношение химических элементов, определяющих уровень техногенной нагрузки, стабильности функционирования экосистем, отражены значимость сохранения и роль пойменных ландшафтов в городской среде. Полученная информация важна для принятия возможных управленческих решений при планировании хозяйственной деятельности в пределах пойменных ландшафтов урбанизированной территории.

Ключевые слова: биологическое накопление, пойменные почвы, техногенное загрязнение, тяжёлые металлы, урбанизированные территории

© СС ВУ Орбан Е. С., Шарафутдинов Р. А., 2024.

¹ Цветков Г. М. Количественный химический анализ почв: Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Центр Исследования и Контроля Воды. М. 1998. С. 31. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98.

Original Research Article

CHEMICAL ELEMENTS IN THE «SOIL – PLANTS» SYSTEM OF FLOODPLAIN LANDSCAPES IN THE CITY OF KRASNOYARSK

E. Orban¹, R. Sharafutdinov²

¹ Siberian Federal University,

pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk 660041, Russian Federation;

E-mail: liz.orban@mail.ru; ORCID: 0009-0004-7471-5823

² Siberian Federal University,

pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk 660041, Russian Federation;

E-mail: rsharafutdinov@sfu-kras.ru; ORCID: 0000-0002-0282-9133

Received 18.07.2023

Revised 03.11.2023

Accepted 15.12.2023

Abstract

Aim. Identification of the distribution of chemical elements in the system «soil–plants» floodplain landscapes of the large industrial city of Krasnoyarsk.

Procedure and methods. In soil and plant samples by inductively coupled plasma atomic emission spectral analysis, the total content of chemical elements was determined. For the results obtained the accumulation coefficient showing the nature of the internal redistribution of chemical elements in the system «soil–plant» was calculated, a series of biological accumulation for 12 sites located within the low floodplain of the Yenisei River in Krasnoyarsk was compiled.

Results. A ecological-geochemical analysis of the floodplain landscapes of the city of Krasnoyarsk was carried out. The basic regularities of the distribution of chemical elements in vegetation and soil cover are determined, the contribution of exogenous elements is estimated. Hyperaccumulation of Hg, Mn, Mo, S, Se, Zn by representatives of the genus *Salix* was revealed. It is noted that S makes the most significant contribution to the pollution of soils and vegetation of floodplain landscapes.

Research implications. Significance of the study lies in identifying the quantitative ratio of chemical elements determining the level of technogenic load and stability of ecosystems functioning. The findings reflect the importance of preservation and role of floodplain landscapes in urban environment. The information obtained is also valuable for making possible management decisions when planning economic activities within the floodplain landscapes of an urbanized territory.

Keywords: biological accumulation, fluvisols, technogenic pollution, heavy metals, urbanized territories

Введение

Город – это взаимосвязанные экосистемы, в которых урбанизация является главным фактором их трансформации. Характерная для Красноярска высокая техногенная нагрузка вызывает опасения по отношению к процессам, определяющим функционирование экосистем. При этом экологические функции поймен-

ных ландшафтов выполняют важную роль в городе, являясь депонирующей средой; трансформируют потоки техногенных веществ, обеспечивая связывание и удержание многих химических элементов. Однако в последние годы отмечается деградация пойм рек в результате деятельности человека, в связи с чем выявление основных закономерностей в системе «почва –

растение» пойменных ландшафтов, выступающих в качестве индикатора загрязнения окружающей среды, представляет высокий интерес для исследования.

Изучаемые нами территории находятся в зоне плоскостного смыва под воздействием различных загрязнителей, основными из которых выступают уличная дорожная сеть и автотранспорт, а также, в зависимости от расположения поймы, свой вклад вносят выбросы промышленных предприятий и сбросы сточных вод.

Отбор проб почв и растительности осуществлялся в период завершения вегетации в первой декаде октября 2021 года на 12 участках, расположенных в пределах низкой поймы, приподнятых относительно уреза р. Енисей на 0,15–0,5 м, в черте г. Красноярск

(рис. 1). Почвенные образцы были отобраны по 2 горизонтам в диапазоне глубин 0–5 и 5–24 см¹. В общей сложности было отобрано 24 почвенных и 36 растительных проб.

Современная эволюция изученных пойменных ландшафтов в значительной степени определяется режимом работы Красноярской ГЭС. В городской черте в пределах островной и береговой пойм р. Енисей явно выделяются 5 геоморфологических уровней: бечевник, низкая (молодая), средняя и высокая (зрелая) пойма, надпойменная аккумулятивная терраса высотой 5,5 м, местами техногенного происхождения.

Работа паводкового потока и волновой процесс на фоне постоянных колебаний уровня реки в результате суточного регулирования стока



Рис. 1 / Fig. 1. Схема района исследования и расположения пунктов отбора проб / Scheme of the study area and locations of the sampling points

Источник: составлено авторами

¹ ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: издание официальное: утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. №4731: дата введения 1986-01-0 // М: Стандартинформ. 2008. С. 3.

Красноярской ГЭС обеспечивают активную переработку бечевника за пределами зон эрозионной тени и отсутствие даже примитивных почв. Переработка осуществляется и в холодное время года по причине наличия незамерзающей полыньи. До постройки ГЭС в маловодный зимний период сброс воды составлял 800–900 м³/с. В настоящее время эволюция низких элементов осуществляется в гидрологических условиях, обеспеченных сбросом воды на Красноярской ГЭС в диапазоне 1800–2000 м³/с. При сбросах свыше 3 500 м³/с частично затопляется средняя пойма. При уровнях сброса на ГЭС до 6 500 м³/с затопляется высокая пойма, а при значениях 8 000 м³/с и более – частично затопляется современная поверхность островов Татышев, Отдыха и др.

Все изученные пробы аллювиальных почв характеризовались лёгким гранулометрическим составом с содержанием фракций физической глины (<0.01 мм) в диапазоне от 1 до 18%, величиной рН от 4,9 до 7,9. Содержание органического вещества было различно, значения для слоисто-аллювиальных почв – от 0,4 до 5,9%, серогумусовых – от 3,7 до 6,6%, темnogумусовых – от 6,7 до 13,4%, аллювиально-перегнойно глеевых – от 15,3 до 18,6%.

Аллювиальные почвы в пределах города характеризуются высоким уровнем загрязнения. По отношению к фоновым почвам низкой поймы, формирующимся выше по течению р. Енисей г. Красноярск, в почвах урбанизированной территории фиксируются положительные аномалии для: As – в 2,8 раз, Cd – в 2 раза, Cu – в 6,8 раз, Mn – в 2,5 раза, Pb – в 5,5 раз, S – в 1,9 раз, Zn – 4,3 раза.

В качестве образцов растительного материала на каждом участке были взяты пробы стволовой древесины с корой и листья *Salix viminilis*, *S. Alba* как типичных представителей пойменных ландшафтов, составляющих основную биомассу исследуемой местности. В травянистом покрове преобладали семейства *Poaceae* (*Phleum pratense*, *Phalaroides arundinacea*, *Calamagrostis epigejos*, *Poa trivialis*, *P. Palustris*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Elytrigia repens*, *Phleum pratense*, *Bromopsis inermis*) и *Cyperaceae* (*Carex acuta*, *C. curraica*, *C. dioica*, *C. vesicaria*, *C. cespitosa*, *C. rhynchophysa*) (рис. 2). Общее проективное покрытие напочвенного покрова составляет 60–80%, за исключением участков поймы, переходных к бечевнику, где оно значительно снижается. На всех исследуемых участках представлены естественные грунты, сохранившие типичное для слоистых аллювиальных толщ стратиграфическое строение.

21 марта 2023 г., в период максимального накопления и незадолго до периода снеготаяния, была взята общая проба снежного покрова (точка 7 на рис. 1) в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85¹ методом конверта. Масса сборной пробы составила 4,5 кг. Участок снегового опробования располагался в зоне значительного антропогенного воздействия, обеспечиваемого

¹ ГОСТ 17.1.5.05-85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков: межгосударственный стандарт : введён в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25 марта 1985 г. №774: дата введения 1986-07-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008297> (дата обращения 19.06.2023).



Рис. 2 / Fig. 2. Общий вид поверхности 5 участка. Левый берег р. Енисей, о. Татышев / General view of the surface of the 5th section. The left bank of the Yenisei River, Tatyshhev Island

Источник: фото автора

аэрогенным и гидрогенным переносом загрязняющих веществ с крупной автомагистрали на поверхность поймы.

Закономерности накопления и распределения перемещения химических элементов в системе «почва – растения»

В пробах почвы, растительности и снега с помощью метода атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре ICAP-PRO X DUO и ртутно-гидридной приставки HVG1 было установлено содержание валовых форм химических элементов, в пробе снега – подвижных форм. В ходе исследования для расчёта биоаккумуляции нами были выбраны 12 химических элементов, представляющих наибольший интерес и высокие значения соотношений.

Представители рода *Salix* не случайно используются для фиторемедиации, т. к. характеризуются большим объёмом биомассы, развитой корневой системой, а также интенсивным поглощением различных химических элементов [19, с. 22–27]. В данном случае были взяты образцы *Salix viminalis* и *S. Alba*, наиболее часто встречающиеся на исследуемой территории. Их сорбционная способность неоднократно изучена [18, с. 95; 23, р. 68–77], однако комплексный анализ для пойменных ландшафтов г. Красноярска ранее не проводился, именно поэтому они представляют особый интерес для изучения.

Было рассмотрено как поглощение химических элементов, так и их внутреннее перераспределение, а на основании полученных результатов атомно-эмиссионного спектрального

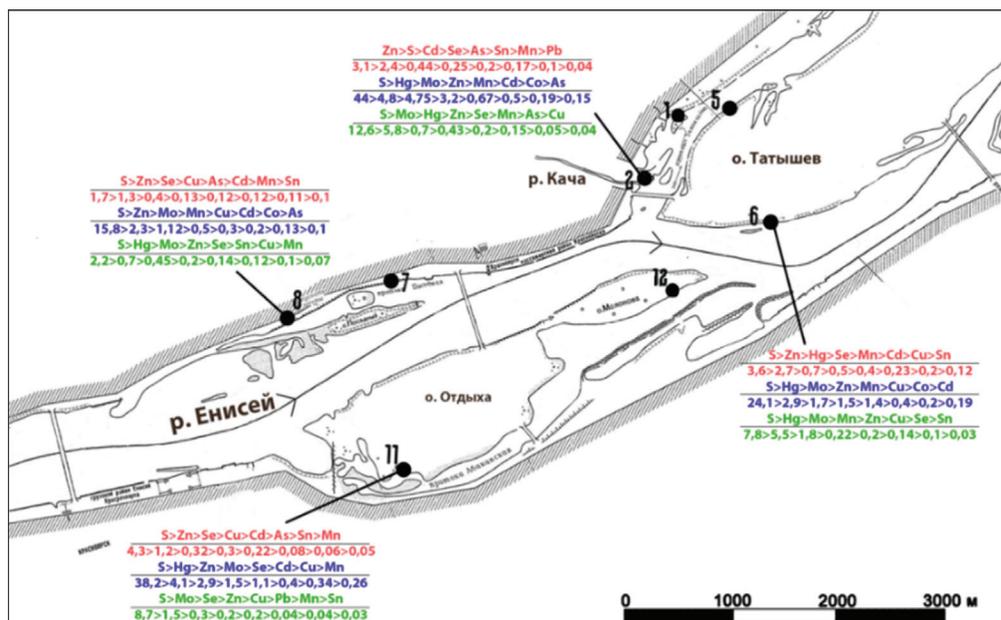
анализа для проб почвы и растительности был рассчитан коэффициент накопления (K_n).

K_n – отношение концентрации элемента в воздушно-сухой массе растения (мг/кг) к концентрации валовой формы соединений элемента в почве (мг/кг).

В дальнейшем при установлении особенностей перемещения химических элементов были составлены ряды биологического накопления и построены геохимические карты, характеризующие специфику различных участков, в зависимости от уровня загрязнения почв и геохимических условий, которые позволяют оценить экологические риски в случае увеличения техногенного давления. На рисунке 3

представлен фрагмент карты с более высокими концентрациями химических элементов.

Все, кроме 12 выбранных элементов, характеризуются показателем рассеяния или слабым биологическим накоплением. Исходя из полученных коэффициентов была составлена градация по интенсивности поглощения химических элементов (табл. 1). На ней видно, что энергичное и сильное накопление происходит лишь для *Hg*, *Mo*, *S*. Значения варьируются в зависимости от геоморфологического расположения, определяющего специфику гидрологического режима, и близости к источникам техногенного воздействия. Так, наиболее высокая концентрация *S* (мг/кг) зафиксирована в приустье-



Условные обозначения:

красный – древесина;

синий – листва;

зеленый – укос

Рис. 3 / Fig. 3. Ряды биологического накопления / Rows of biological accumulation

Источник: составлено авторами

Таблица 1 / Table 1

**Интенсивность биологического накопления химических элементов /
Intensity of biological accumulation of chemical elements**

Объект	Биологическое накопление			Биолог. поглощение
	Энергичного (100–10)	Сильного (10–5)	Слабого (5–1)	Среднего (1–0,1)
Листва	Mo, S	Hg, S	Hg, Mn, Mo, S, Se, Zn	As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, Se, Sn, Zn
Древесина			Hg, S, Se, Zn	As, Cd, Cu, Hg, Mn, Mo, S, Se, Sn, Zn
Укос	S	Hg, Mo, S	Hg, Mo, S	As, Cu, Hg, Mn, Mo, S, Se, Sn, Zn

Источник: составлено авторами по: Авессаломова И. А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М., 1987. 108 с.

вом комплексе р. Кача, впадающей в р. Енисей и характеризующейся очень высоким уровнем загрязнения.

Традиционно считается, что листва более богата зольными элементами, нежели древесина, в данном случае это подтверждается при сравнении полученных концентраций по каждой из фракций, также это заметно по количеству тех элементов, которые вовлечены в процесс биогенной миграции.

Установлено, что в древесине содержание Mo находится на очень низком уровне и не зависит от его содержания в листве и почве. Это связано с тем, что данный элемент накапливается в быстро вегетирующих частях растений [20, р. 1–2; 22, р. 149–150]. Несмотря на то, что Mo в исследуемых пробах почвы не превышал установленных кларков [9, с. 9], его Kn в листве был >1 в 9 случаях, достигая значения 4,8.

Дополнительно в воздушно-сухих пробах растительного материала было определено соотношение химических элементов, осаждаемых поступлением на поверхность растительного материала вследствие поступления из атмосферы и привноса с паводковыми

водами. Произведена многократная промывка растительных образцов в деионизированной воде с последующим определением элементного состава (рис. 4). Исходя из полученных данных заметно, что основная масса химических веществ в растительность поступает путём поглощения из почвы, в то время как экзогенная составляющая, оседающая на ней, в большинстве случаев незначительна. Так как пробы отбирались в конце вегетационного периода, та часть, которая поступила через устьичный аппарат эпидермиса листовых пластин, полностью или частично уже была поглощена растениями. При этом заметно, что значения для As выделяются и в исследованных пробах составляют 50%, это обусловлено его высокой летучестью AsH₃, AsCl₃, AsF₃, As₂O₃ и растворимостью As₂O₃ в воде в сравнении с другими элементами¹.

Снежный покров, наряду с почвенным, выступает в качестве депонирующей среды для загрязняющих

¹ Макрыгина В. А. Геохимия отдельных элементов: учебное пособие. Новосибирск: Гео, 2011. С. 193.

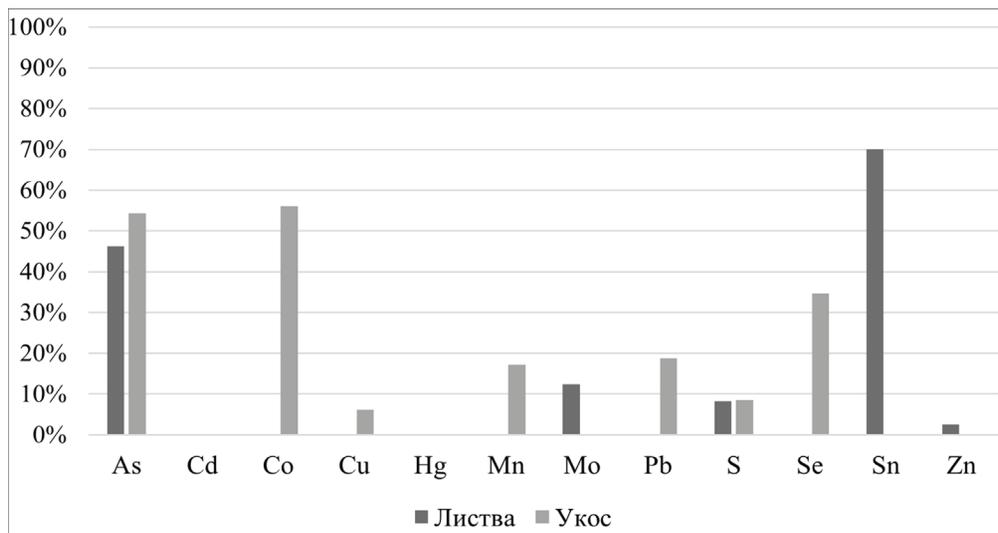


Рис. 4 / Fig. 4. Доля химических элементов в пробах растительности после обработки деионизированной водой, % / The proportion of chemical elements in vegetation samples after treatment with deionized water, %

Источник: составлено авторами

веществ, поступающих из атмосферы. Химический состав снеготалой воды для рассматриваемых элементов, без учёта твёрдой составляющей, продемонстрировал, что с твёрдыми атмосферными осадками в зимний период на поверхность поймы в значимых концентрациях поступают подвижные формы *Си* (0,0045 мг/дм³), *Мп* (0,0139 мг/дм³), *Зп* (0,0056 мг/дм³), *С* (1,2 мг/дм³). Поступление подвижных форм прочих химических элементов незначительно.

Для Красноярска характерны значительные выбросы по *С* (превышения более 5ПДК¹), а диоксид серы является одним из основных веществ, которые вносят значительный вклад в общий уровень загрязнения атмосферы города. При этом *С* может усваиваться

растениями преимущественно из почвенного раствора в виде сульфата. А в пределах урбанизированных территорий именно выбросы диоксида серы в атмосферу являются основным её источником попадания в почву. Во многих работах отмечается [2; 13], что основным источником *С* в районах, где не применяются серные удобрения (гипс, сульфаты калия, магния, аммония), стали только атмосферные осадки, приносящие окислы серы, выбрасываемые тепловыми электростанциями, работающие на твёрдом и жидком топливе и металлургические предприятия [1, с. 19] и выхлопными газами автомобилей и ДВС [14, с. 50]. Превышение ПДК для *С* в пробе снега подтверждает это. К тому же неоднократно доказано, что в большинстве российских городов превышение концентраций по *С* в топливе, в особенности в дизельном, является распространённой причиной загрязнения

¹ Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2021 году». Красноярск. 2022. С. 234–235.

[10, с. 3]. Наряду с этим была отмечена высокая газопоглотительная способность растениями рода *Salix* по отношению к SO_2 в работах других авторов [4, с. 9, 18; 21, р. 74–80]. Усреднённые концентрации химических элементов в растениях (табл. 2) в нашем случае показывают, что минимум 10% массы S, полученной в ходе химического анализа, поступает аэрогенным путём, оседая на листовой пластинке и укосе. В почвенных образцах превышения ПДК достигали 1 606 мг/кг (10ПДК). Большая вариативность *Kn* установлена для листы от 3,5 до 44, укоса – от 0,45 до 12,6 и древесины – от 0,36 до 4,29.

Наряду с S активное биологическое поглощение отчётливо прослеживается и для Hg. Ртуть является одним из самых токсичных веществ, негативно воздействующих на организм из-за своего концентрационного эффекта. Источником Hg в Красноярске могут быть: отработанные газы автотранспорта, выбросы с ТЭЦ, а также то, что более 80% частного сектора отапливается путём сжигания ископаемого топлива¹. В целом, на данный момент недостаточно оценено поступление её от техногенных источников в канализационные системы городов, в осадках сточных вод может концентрироваться до 1015 т ртути (в масштабах РФ) [6, с. 5]. Активнее всего Hg накапливается в укосе со значениями от 0 до 5.5 и в листе – от 0 до 4,8.

¹ Постановление администрации города Красноярска от 7 декабря 2022 г. № 1100 «Об утверждении Комплексной программы по переводу частных домовладений с угольного отопления на более экологичные виды отопления, в том числе электроотопление, в городе Красноярске на 2022–2024 годы» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/405889905/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 06.01.2024).

Также в образцах древесины и листы активно поглощается Se. Он является биогенным рассеянным микроэлементом, необходимым для жизнедеятельности человека и животных, а также является антагонистом As, Cd, Cu, Pb, Zn, однако в больших концентрациях он токсичен. Красноярский край относится к селенодефицитным провинциям [17, с. 17], его высокое содержание в изучаемых ландшафтах может быть связано с лёгким гранулометрическим составом, большим содержанием гумуса, адсорбированием глинистыми минералами, в особенности оксидами железа [16, с. 100], имеющим в данных почвах значительные концентрации.

Поступление в пойменные почвы Красноярска Zn наряду с Cu в значительной степени связано с продуктами износа частей автомобильного транспорта [15, с. 133–134], работой промышленных предприятий и автономными источниками теплоснабжения. Zn имеет похожие *Kn* во всех изучаемых образцах древесины и листы, находясь в промежутке от 1 до 2, изредка не достигая 1 и превышая 2, в укосе не отмечено его высокое содержание.

Для определения тесноты связи между элементами в исследуемых почвах и растительности был рассчитан линейный коэффициент парной корреляции Пирсона. Установлена тесная связь для *Co:Mn* ($r=0,606$) > *Co:Cu* ($r=0,505$), т. к. отмечается высокая степень ассоциации марганцевыми конкрециями *Co*, *Cu*, вследствие образования большого числа оксидов и гидроксидов марганца, которые имеют малые размеры кристаллов и большую площадь поверхности [8, с. 327–328].

Выявлены парагенетические ассоциации, отражающие общий источник поступления, в частности: $As:Mn$ ($r=0,769$) > $As:Cd$ ($r=0,641$) > $As:Co$ ($r=0,599$). Это может быть связано с тем, что данные элементы могут одновременно выделяться в результате газозоодушных выбросов и эксплуатацией автотранспорта [11, с. 9; 12, с. 732]. Также установлена значимая теснота связи для $Cu:Pb$ ($r=0,735$) > $Cu:Zn$ ($r=0,704$) > $Cu:Cd$ ($r=0,531$), данные элементы, по нашему мнению, входят в состав резиновой смеси автомобильных шин (Zn , Cu , Cd), а также в продукты износа автомобильного дорожного комплекса [11, с. 9; 12, с. 731]. Так как дорожное пространство является значимым источником загрязнения, то заметная и высокая зависимость прослеживается и между $Pb:Zn$ ($r=0,876$) > $Pb:Cu$ ($r=0,735$) > $Pb:Sn$ ($r=0,649$) > $Pb:Mn$ ($r=0,505$), их поступление также связано с износом различных частей агрегатов автомобильного транспорта, в частности подшипников, тормозных колодок, антифрикционных присадок и выбросов выхлопных газов [3, с. 80, 83–84, 88].

Корреляционное взаимодействие в системе «почва – растения» указывает на то, что, несмотря на значимые концентрации S в почве, она имеет специфический механизм поступления в растительный покров. Связи данного элемента характеризуются недостоверными значениями либо же демонстрируют достоверную обратную корреляцию, например, для $S:Sn$ ($r=-0,754$) > $S:Ti$ ($r=-0,734$) > $S:As$ ($r=-0,727$) > $S:Cu$ ($r=-0,721$), на наш взгляд, это обусловлено тем, что в почвенном покрове она присутствует в слабо доступных формах.

Для большинства тяжёлых металлов почва является основным источником поступления в растения, при высоких концентрациях они вовлекаются в биологический круговорот, вызывая различные заболевания, нарушая физиологические процессы, поступление необходимых микроэлементов. При этом превышение санитарных норм в почвенных образцах было установлено для Cu (90ОДК), As (6,85ОДК), Cd (5,2ОДК), Zn (12,5ОДК), Mn (1,13ПДК), Pb (3,5ОДК)¹, при их сравнении и Kn , прослеживается, что для As , Cd , Cu , Pb активное накопление в почве не приводит к таковым в растениях, они в незначительном количестве вовлекаются в биологический круговорот и слабо доступны для растительности.

Ранее уже была отмечена активная аккумуляция представителями рода *Salix* различных веществ; проведённые исследования, в т. ч. и на пойменных почвах, также это доказывают [5, с. 118; 7, с. 979–989]. В нашем случае виды *Salix viminalis*, *S. Alba* можно отнести к организмам-концентраторам для Mo , Hg , S , Zn , демонстрирующих наличие биогеохимического барьера и формирование биогеохимических аномалий в пойменных ландшафтах г. Красноярск.

Заключение

Проведён комплексный анализ для пойменных ландшафтов г. Краснояр-

¹ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: ЦЕНТРМАГ, 2022. С. 300–303.

ска, в результате которого установлены основные закономерности перемещения химических элементов в системе «почва – растение». Рассчитан коэффициент накопления, он имеет широкий интервал варьирования, особенно для *Hg, Mo, S*.

В большинстве случаев отмечается тенденция к формированию естественного биогеохимического барьера для 6 (*Hg, Mn, Mo, S, Se, Zn*) из 12 (*As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, S, Se, Sn, Zn*) рассмотренных нами элементов. Вовлекая их в биологический круговорот, растительный покров выполняет санитарную функцию на пути миграции химических элементов.

Выявленная гипераккумуляция *Hg, Mn, Mo, S, Se, Zn* представителями рода *Salix* показывает высокий уровень техногенного загрязнения пойменных ландшафтов, являющихся неотъемлемой и незаменимой частью города.

Полученные ряды биологического накопления указывают на формирование биогеохимических аномалий. На основании сравнения санитарных нормативов и *Kn* сделан вывод, что для ряда элементов повышенные концентрации в почвах не всегда приводят к образованию доступных форм для растительности.

Определены основные парагенетические ассоциации, демонстрирующие источники поступления и взаимоотношения химических элементов в почвенном покрове и системе «почва – растения», в частности для *As:Mn>As:Cd>As:Co* (газовоздушные выбросы и эксплуатация автотранспорта), *Cu:Pb>Cu:Zn>Cu:Cd* (состав резиновой смеси автомобильных

шин, продукты износа автомобильного дорожного комплекса) и *Pb:Zn>Pb:Cu>Pb:Sn>Pb:Mn* (подшипники, тормозные колодки, антифрикционные присадки и выбросы выхлопных газов автотранспорта). Таким образом, можно полагать, что важную роль в поступлении поллютантов в пойменные ландшафты играет автотранспорт.

Исследование смывов с растительного материала вследствие поступления из атмосферы и привноса с паводковыми водами позволило определить элементный состав, вследствие чего можно утверждать, что в ряде случаев в растительность экзогенным путём поступает до 70% от общего объёма загрязнения, однако для большинства химических элементов основным источником остаётся почва. С использованием эколого-геохимического изучения снежного покрова установлены приоритетные загрязнители атмосферного воздуха (*Cu, Mn, Zn, S*).

Парагенетические ассоциации между химическими элементами демонстрируют, что основными источниками поступления являются продукты износа автомобильного дорожного комплекса (*Pb, Zn, Cu, Sn, Mn, Cd, Co, As*).

Отмечено, что *S* вносит значительный вклад в загрязнение почв и растительности пойменных ландшафтов, является доминантой в этом и активно накапливается в биомассе. Несмотря на то, что южная часть Красноярского края, включающая в себя Красноярскую агломерацию, относится к селенодефицитным провинциям, выявлены повышенные концентрации *Se* в растительном и почвенном покрове.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В. С. Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы // Научный журнал (электронный научный журнал). 2017. № 6–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dioksid-sery-i-osnovnyie-istochniki-zagryazneniya-atmosfery-dioksidom-sery> (дата обращения: 26.12.2023).
2. Аристархов А. Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 5. С. 39–47.
3. Совершенствование материалов для подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания / Т. А. Болсуновская, Н. П. Бурковская, Н. В. Севостьянов, И. Ю. Ефимочкин // Труды ВИАМ. 2020. № 1. С. 78–91. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-1-78-91
4. Бухарина И. Л.; Двоеглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Удмуртский университет, 2010. 184 с.
5. Гуляева У. А. О концентрировании стронция растениями // Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: сборник статей. Т. 1 / под ред. Л. В. Переломова, В. В. Ермакова. Тула, 2019. С. 116–119.
6. Дмитриев А. А. Ртутные загрязнения // Военные знания. 2007. № 11. С. 2–8.
7. Концентрирование металлов растениями рода *Salix* и их значение при выявлении кадмиевых аномалий / В. В. Ермаков, Н. С. Петрунина, С. Ф. Тютюков, В. Н. Данилова, С. Д. Хушвахтова, А. П. Дегтярев, Е. В. Кречетова // Геохимия. 2015. № 11. С. 978–990. DOI: 10.7868/S0016752515110023
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. Д. В. Гричук, Е. П. Янина. М.: Мир, 1989. 439 с.
9. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия: География. 2015. № 2. С. 7–17.
10. Инструментальные средства для выявления контрафактных нефтепродуктов по содержанию серы / М. Г. Клековкина, И. В. Минин, О. В. Минин, Г. В. Шувалов, О. А. Ясырова // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 1. С. 101–106.
11. Лазеба А. В., Лёвкин Н. Д. Распространение тяжелых металлов в зоне движения автотранспорта // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2014. № 3. С. 9–16.
12. Марцев А. А., Селиванов О. Г., Трифонова Т. А. Оценка почвы придорожной территории автодороги Р72 по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 7. С. 730–735. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735
13. Нагорный В. Д., Расуанайву Н. А. Влияние серы на содержание пигментов в листьях и накопление сухого вещества растениями картофеля в условиях вегетационного опыта // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2016. № 3. С. 7–15. DOI: 10.22363/2312-797X-2016-3-7-15
14. Неверова О. А. Особенности накопления серы и азота деревьями различных экологических зон города Кемерово // Современные наукоемкие технологии (электронный научный журнал). 2008. № 8. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=24128> (дата обращения: 02.05.2023).
15. Орбан Е. С., Шарафутдинов Р. А. Источники загрязнения пойменных почв урбанизированных территорий тяжелыми металлами // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: сб. мат-ов / под ред. С. А. Ляшко. СПб.: Печатный цех, 2022. С. 127–135. DOI: 10.34755/IROK.2022.21.35.012
16. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Особенности содержания селена в системе почва – растение (обзор) // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11. С. 98–105.

17. Решетник Л. А., Парфенова Е. О. Биогеохимическое и клиническое значение селена для здоровья человека // Микрорезультаты в медицине. Серия: Клиническая медицина. 1999. № 3. С. 16–22.
18. Чернышенко О. В. Особенности использования поглотительной способности древесных растений в современных фитотехнологиях // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2018. № 4. С. 92–98. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-4-92-98
19. Шихова Н. С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестник ДВО РАН. Серия: Биологические науки. 2022. № 2. С. 17–36. DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_2
20. Bittner F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5 no. 28. P. 1–6. DOI: 10.3389/fpls.2014.00028
21. Esbri J. M., Căcovean H., Higuera P. Usage Proposal of a common urban decorative tree (*Salix alba* L.) to monitor the dispersion of gaseous mercury: A case study from Turda (Romania) // *Chemosphere*. 2018. Vol. 193. P. 74–81. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.007
22. Michopoulos P. Molybdenum in forests – a short review // *Global NEST Journal*. 2020. Vol. 22. № 2. P. 147–152. DOI: 10.30955/gnj.003309
23. Mleczek M., Waliszewska B., Magdziak Z., Szostek M., Rutkowski P., Zborowska M., Niedzielski P., *Salix viminalis* L. – A highly effective plant in phytoextraction of elements // *Chemosphere*. 2018. Vol. 212. P. 67–78. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.08.055

REFERENCES

1. Akimov V. S. [Sulfur dioxide and the main sources of atmospheric pollution with sulfur dioxide]. In: *Nauchnyy zhurnal (elektronnyy nauchnyy zhurnal)* [Scientific journal (electronic scientific journal)], 2017, no. 6–1. Abstract at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dioksid-sery-i-osnovnye-istochniki-zagryazneniya-atmosfery-dioksidom-sery> (accessed: 26.12.2023).
2. Aristarkhov A. N. [Sulfur in agroecosystems of Russia: monitoring the content in soils and the effectiveness of its application]. In: *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], 2016, no. 5, pp. 39–47.
3. Bolsunovskaya T. A., Burkovskaya N. P., Sevostyanov N. V., Efimochkin I. Yu. [Improvement of materials for sliding bearings of internal combustion engines]. In: *Trudy VIAM* [Proceedings of VIAM], 2020, no. 1, pp. 78–91. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-1-78-91
4. Bukharina I. L.; Dvoeglazova A. A. *Bioekologicheskiye osobennosti travyanistykh i drevesnykh rasteniy v traditsionnykh nasazhdeniyakh* [Bioecological features of herbaceous and woody plants in urban plantings]. Izhevsk, Udmurtskiy universitet Publ., 2010. 184 p.
5. Gulyaeva U. A. [On the concentration of strontium by plants]. In: Perelomova L. V., Ermakova V. V. *Biogekhimiya – nauchnaya osnova razvitiya i sokhraneniya zdorov'ya cheloveka* [Biogeochemistry – the scientific basis of sustainable development and preservation of human health. Vol. 1]. Tula, 2019, pp. 116–119.
6. Dmitriev A. A. [Mercury pollution]. In: *Voyennyye znaniya* [Military knowledge], 2007, no. 11, pp. 2–8.
7. Ermakov V. V., Petrunina N. S., Tyutikov S. F., Danilova V. N., Khushvakhtova S. D., Degt'yarev A. P., Krechetova E. V. [Concentration of metals by plants of the genus *Salix* and their significance in identifying cadmium anomalies]. In: *Geokhimiya* [Geochemistry], 2015, no. 11, pp. 978–990. DOI: 10.7868/S0016752515110023
8. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants* (Rus. ed.: Grichuk D. V., Yarina E. P., trans. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p.).

9. Kasimov N. S., Vlasov D. V. [Clarks of chemical elements as standards of comparison in ecogeochemistry]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series: Geography], 2015, no. 2, pp. 7–17.
10. Klekovkina M. G., Minin I. V., Minin O. V., Shuvalov G. V., Yasyrova O. A. [Tools for identifying counterfeit petroleum products by sulfur content]. In: *Interexpo Geo-Siberia*, 2017, no. 1, pp. 101–106.
11. Lazeba A. V., Levkin N. D. [Distribution of heavy metals in the traffic zone]. In: *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Izvestia of Tula State University. Geosciences], 2014, no. 3, pp. 9–16.
12. Martsev A. A., Selivanov O. G., Trifonova T. A. [Assessment of soil on the roadside area of the P72 highway for the content of heavy metals and arsenic]. In: *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2022, vol. 101, no. 7, pp. 730–735. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-7-730-735
13. Nagornyy V. D., Rasuanaivo N. A. [The influence of sulfur on the content of pigments in leaves and the accumulation of dry matter by potato plants under conditions of growing experience]. In: *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Agronomy and animal husbandry], 2016, no. 3, pp. 7–15. DOI: 10.22363/2312-797X-2016-3-7-15
14. Neverova O. A. [Features of accumulation of sulfur and nitrogen by trees of various ecological zones of the city of Kemerovo]. In: *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2008, no. 8. Abstract at: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=24128> (accessed: 02.05.2023).
15. Orban E. S., Sharafutdinov R. A. [Sources of pollution of floodplain soils of urban areas with heavy metals]. In: Lyashko S. A., ed. *Aktualnyye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov* [Current problems of science and education in the context of modern challenges]. St. Petersburg, Pechatnyy tsekh Publ., 2022, pp. 127–135. DOI: 10.34755/IROK.2022.21.35.012
16. Pobilat A. E., Voloshin E. I. [Peculiarities of selenium content in the soil-plant system (review)]. In: *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2020, no. 11, pp. 98–105.
17. Reshetnik L. A., Parfenova E. O. [Biogeochemical and clinical significance of selenium for human health]. In: *Mikroelementy v meditsine. Seriya: Klinicheskaya meditsina* [Trace elements in medicine. Series: Clinical medicine], 1999, no. 3, pp. 16–22.
18. Chernyshenko O. V. [Features of the use of the absorptive capacity of woody plants in modern phytotechnologies]. In: *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of Forestry – Forest Bulletin], 2018, no. 4, pp. 92–98. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-4-92-98
19. Shikhova N. S. [Biogeochemical criteria for assessing the ecological effectiveness of species in urban landscaping]. In: *Vestnik DVO RAN. Seriya: Biologicheskiye nauki* [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Series: Biological Sciences], 2022, no. 2, pp. 17–36. DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_2
20. Bittner F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. In: *Frontiers in Plant Science*, 2014, vol. 5, no. 28, pp. 1–6. DOI: 10.3389/fpls.2014.00028
21. Esbri J. M., Cacovean H., Higuera P. Usage Proposal of a common urban decorative tree (*Salix alba* L.) to monitor the dispersion of gaseous mercury: A case study from Turda (Romania). In: *Chemosphere*, 2018, vol. 193, pp. 74–81. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.007
22. Michopoulos P. Molybdenum in forests – a short review. In: *Global NEST Journal*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 147–152. DOI: 10.30955/gnj.003309
23. Mleczek M., Waliszewska B., Magdziak Z., Szostek M., Rutkowski P., Zborowska M., Niedzielski P., *Salix viminalis* L. – A highly effective plant in phytoextraction of elements. In: *Chemosphere*, 2018, vol. 212, pp. 67–78. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.08.055

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Орбан Елизавета Сергеевна – магистрант кафедры экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета;
e-mail: liz.orban@mail.ru

Шарафутдинов Руслан Аглямovich – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета;
e-mail: rsharafutdinov@sfu-kras.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta S. Orban – Master's Degree Student, Department of Ecology and Nature Management, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University;
e-mail: liz.orban@mail.ru

Ruslan A. Sharafutdinov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Ecology and Nature Management, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University;
e-mail: rsharafutdinov@sfu-kras.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Орбан Е. С., Шарафутдинов Р. А. Химические элементы в системе «почва – растения» пойменных ландшафтов г. Красноярска // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 55–69.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-55-69

FOR CITATION

Orban E. S., Sharafutdinov R. A. Chemical elements in the «soil – plants» system of floodplain landscapes in the city of Krasnoyarsk. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 55–69.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-55-69

Научная статья
УДК 630*431
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85

ГОРИМОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Куулар Х. Б.

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов
Сибирского отделения Российской академии наук,
667007, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а, Российская Федерация;
E-mail: k-k-188@list.ru; ORCID: 0000-0001-6651-2779*

Поступила в редакцию 28.02.2023

После доработки 14.02.2024

Принята к публикации 09.02.2024

Аннотация

Цель. Оценка горимости растительности на землях лесного фонда Республика Тыва с 2000 по 2022 гг. на основе анализа статистических данных, собранных региональными органами исполнительной власти.

Процедура и методы. В работе проанализированы ежегодные данные по пожарам растительности, полученные из официальных сводок Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва, а также среднемесячные температуры воздуха и оценена обеспеченность территории атмосферной влагой. Данные по пожарам получены на основе карточек-учётов лесничеств, открытых при регистрации пожаров с указанием площадей обнаружения и ликвидации пожаров. Эта информация была обработана с использованием методов математической статистики. На основе геоинформационного анализа с использованием программы NextGISQGIS проведён пространственно-временной анализ распределения пожароопасного сезона (весна, лето, осень). Для построения карт плотности пожаров использован модуль «создание теплокарт».

Результаты. Отмечается увеличение продолжительности тёплого периода года и засушливой погоды в весеннее время. В период с 1992 по 2020 гг. аномалия температуры воздуха тёплого периода года (апрель–октябрь) составила $1,64 \pm 0,16$ °C. С 2000-х гг. количество и площади территорий, страдающих от пожаров, выросли, что обусловлено ростом посещаемости лесов местным населением и сохранением сельскохозяйственных палов в условиях прогрессирующего потепления климата¹.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования можно использовать при разработке программы борьбы с пожарами и адаптации экосистем региона к изменениям климата.

Ключевые слова: региональное потепление климата, рост опасности растительных пожаров, причины возникновения пожаров

Благодарности. Автор выражает благодарность кандидату физико-математических наук В. П. Ладыгиной (КНЦ, г. Красноярск) за поддержку. Работа выполнено в рамках базового проекта Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН.

Original Research Article

FIRE DANGER OF THE VEGETATION ON THE LANDS OF THE FOREST FUND OF THE TYVA REPUBLIC IN A CHANGING CLIMATE

Kh. Kuular

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of the Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, ul. Internatsionalnaya 117, Kyzyl 667007, Russian Federation; E-mail: k-k-188@list.ru; ORCID: 0000-0001-6651-2779

Received 28.02.2023

Revised 14.02.2024

Accepted 09.02.2024

Abstract

Aim. Assessment of wildfire hazard in the forest lands of the Tyva Republic from 2000 to 2022 based on the analysis of statistical data collected by regional executive authorities.

Procedure and methods. The work analyzed the annual data on wildfires obtained on the basis of official reports of the Ministry of Forestry and Nature Management of the Republic of Tyva, as well as the average monthly air temperatures and assessed the provision of the territory with atmospheric moisture. Fire data were obtained on the basis of forest registration cards opened during the registration of fires indicating the areas of detection and elimination of fires. This information was processed using mathematical statistics methods. Based on the geo-information analysis using the NextGISQGIS program, a spatio-temporal analysis of the distribution of the fire hazardous season (spring, summer, autumn) was carried out. The module "creation of heat maps" was used to build fire density maps.

Results. There is an increase in the duration of the warm season and the duration of dry weather in spring. In the period from 1992 to 2020. The temperature anomaly of the warm season (IV–X months) was 1.64 ± 0.16 °C. Since the 2000s the number and area of territories suffering from fires has grown, due to an increase in forest attendance by the local population and the preservation of agricultural fires in the face of progressive climate warming.

Data on the actual burning of vegetation show that the cause of vegetation fires in most cases is the human factor (when collecting the gifts of nature, the rules for handling fire were not observed), and they flare up in connection with the established abnormal weather conditions.

Research implications. The study reveals that obtained results important for long-term strategy adaptation develops of ecosystems region to climate change.

The significance of the work lies in the fact that the data obtained are important in the long-term development of the Fire Control Strategy and their prediction to climate change.

Keywords: regional climate warming, wildfires growth, causes of wildfires

Acknowledgments. The author expresses gratitude to V. P. Ladygina, PhD of Physical and Mathematical Sciences (FRC KSC of the SB RAS, Krasnoyarsk). The work was carried out within the framework of the basic project Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the SB RAS.

Введение

В последние десятилетия в Сибири наблюдается увеличение частоты возникновения пожаров и продолжительности пожароопасного сезона [1; 5]. Сибирь является лидером по потере растительного покрова в пожарах. По оценкам около 70% потерь вызвано пожарами [10; 11; 12; 14; 16]. Южная Сибирь в этом контексте не является исключением. Так, работы многих исследователей свидетельствуют о высоком потенциале горимости растительности в регионе Южной Сибири в условиях потепления климата [7; 8; 9; 15; 17], определённую роль в формировании природного потенциала пожароопасности оказывают и гео-криологические условия, для районов южной криолитозоны значение этого фактора обосновано с позиции геофизики ландшафтов [13].

Анализ погодно-климатических данных показывает, что наиболее сильное в Алтае-Саяном экорегионе потепление климата наблюдается на территории Республики Тыва [3], что является важным фактором пожарной опасности, поскольку продолжительность пожароопасного периода увеличилась (примерно на месяц), максимальная его длительность может составлять 173–185 дней. Пирогенный фактор оказывает заметное воздействие на леса Южной Сибири, обуславливая изменения структуры лесной растительности [1].

Цель настоящего исследования – оценка горимости растительности в 2000–2022 гг. на территории Республики Тыва на основе статистических данных регионального Министерства лесного хозяйства и природопользования. Используются данные наблю-

дений метеостанций Кызыл, Эрзин, Тоора-Хем, Мугур-Аксы, Сосновка за 2000–2020 гг. и сведения, имеющиеся в открытом доступе в сети Интернет. Метеорологические станции республики в основном расположены в котловинах и у подножья гор.

Данные пожаров получены на основе анализа карточек-учётов пожара растительности, составленных в лесах во время их обнаружения и регистрации. На карточках имеются сведения о причинах возникновения и ликвидации пожаров растительности. Отклонения температуры воздуха исследуемого периода рассчитывались относительно среднего значения за 1961–1990 гг., который принят в качестве базового периода.

Обработку и анализ результатов проводили методами статистического анализа с использованием программы Excel. Оценки изменения климатических данных получены путём расчёта и анализа линейных трендов. Визуализация полученных результатов и пространственный анализ проведены с помощью программы NextGISQGIS. На созданных картах участки скопления пожаров отображаются красным цветом, а участки с наименьшими пожарами – жёлтым цветом.

Общая площадь земель лесного фонда, которая находится в ведении 10 лесхозов, составляет 10 882,9 тыс. га. Земли лесного фонда представлены (80%) верхней, средней и нижней полосами среднегорья. Отношение покрытой лесом площади к общей площади республики составляет 49,7%.

В межгорных котловинах и на южных макросклонах хребтов преобладают степи, в среднегорьях и на восточной части республики произрастают

таёжные леса, луга и высокогорные тундры. В условиях резко континентального климата экспозиция склонов проявляется особенно заметно: по южным склонам степь поднимается в пределы горно-таёжной зоны, а на северных склонах в леса проникают высокогорные кустарники.

Главными лесообразующими видами на территории республики являются: кедр сибирский (*Pinus sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), ель обыкновенная (*Picea obovata*) и лиственные породы (березы *Betula pendula*, *Betula microphylla*) [4]. Леса произрастают, в основном, в восточной горной части, а также в западной и центральной частях республики. Леса Республики приурочены к высотнопоясным комплексам [6], которые подразделяются на 3 лесорастительные области: Алтае-Саянскую, Центрально-Азиатскую котловинно-горную, Восточнотувинско-Южнозбайкальскую (рис. 1).

Анализ климата и предпосылок для горимости растительного фонда на территории Республики Тыва

Средняя температура января составляет $-26,9 \pm 0,2$ °С, средняя температура июля – $+17,5 \pm 2,3$ °С (1961–

1990 гг.). С потеплением климата в 1975–2015 гг. средняя температура зимних месяцев (ноябрь–март) увеличилась на $1,6 \pm 0,2$ °С; средняя температура летних месяцев (июнь–август) – на $0,6 \pm 0,1$ °С [3]. В таблице 1 приведена сумма осадков по сезонам за 1961–1990 гг. (базовый период) и за 1991–2020 гг.

В период 1991–2020 гг. среднегодовая сумма осадков возросла на 3,3% (9 мм) по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг. В период 1991–2020 гг. 11,9% осадков выпало весной, 57,4% – летом, 14,7% – осенью и 15,5% – зимой. Среднегодовая сумма осадков в 1991–2020 гг. возросла на 3,3% (9 мм) по отношению к 1961–1990 гг. Большая часть осадков выпадает летом в виде ливней, что приводит к поверхностному стоку и большому расходу на испарение.

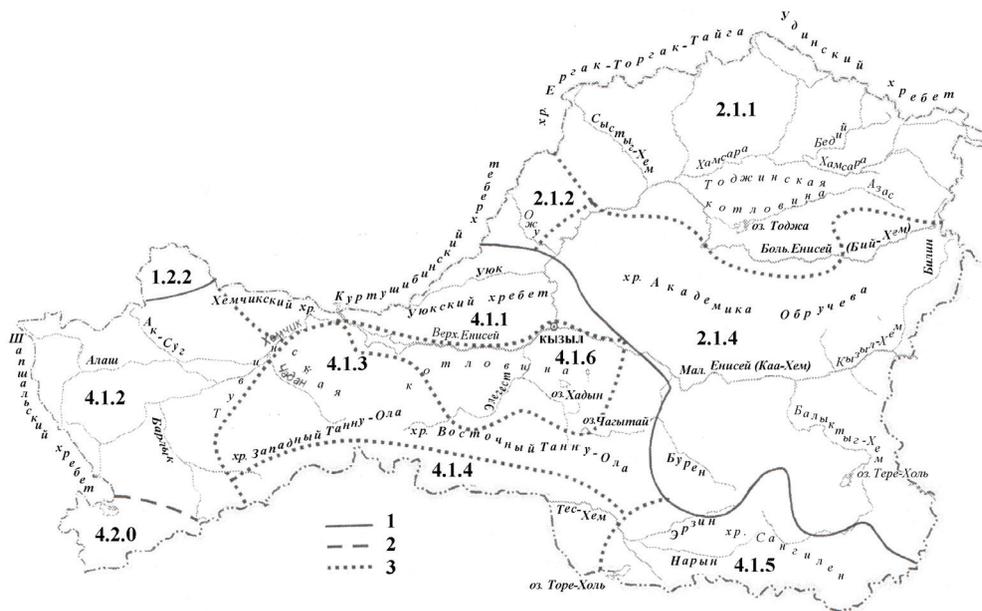
Для оценки увлажнения выбран коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова [2], рассчитанный по данным ряда метеостанций Республики Тыва (табл. 2). Анализируя значения коэффициента увлажнения по метеостанциям, можно отметить, что его показатели уменьшаются на юге, юго-западе (Эрзин, Мугур-Аксы) и востоке (Тоора-Хем) Республики. Статистически значимый тренд по данным

Таблица 1 / Table 1

Усреднённые данные суммы осадков по метеостанциям Республики Тыва по сезонам за 2 временных периода, мм / Averaged precipitation by meteorostations of the Tyva Republic by seasons for two periods, mm

Периоды	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднегодовая
1961–1990	$26,4 \pm 0$	$141,9 \pm 0$	$35,4 \pm 0,8$	$37,4 \pm 3,5$	$242,9 \pm 35,8$
1991–2020	$30,0 \pm 1,8$	$144,0 \pm 13,5$	$37,0 \pm 0,2$	$39,3 \pm 0,4$	$251,0 \pm 41,1$

Источник: составлена автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва



Условные обозначения:

Границы: 1 – областей, 2 – провинций, 3 – округов

1 — *Алтае-Саянская горная лесорастительная область:*

- 1.2 — Северная Алтае-Саянская горная лесорастительная провинция кедровых и пихтовых лесов,
- 1.2.2 — осевой Западно-Саянский округ горно-таёжных и подгольцово-таёжных кедровых лесов.

2 — *Восточнотувинско-Южнобайкальская горная лесорастительная область:*

- 2.1. — Восточно-Тувинская котловино-горная лесорастительная провинция лиственничных и кедровых лесов:
- 2.1.1 — Тоджинский округ подтаёжных сосново-лиственничных и горно-таёжных лиственничных, сосновых и кедровых лесов,
- 2.1.2 — Усинский округ лесостепных лиственничных и горно-таежных кедровых лесов.
- 2.1.4 — Каа-Хемский округ подтаёжных лиственничных и горно-таёжных кедрово-лиственничных лесов.

4 — *Центрально-Азиатская котловинно-горная лесорастительная область:*

- 4.1 — Алтае-Тувинско-Хайнгайская котловинно-горная лесорастительная провинция горных степей и лиственничных лесов:
- 4.1.1 — Хемчикско-Куртушибинский округ горных степей, горно-таёжных травяных лиственничных лесов,
- 4.1.2 — Верхне-Хемчикский округ горных степей, перистепных и горно-таёжных лиственничных лесов.
- 4.1.3 — Северно-Таннуольский округ перистепных лиственничных и горно-таёжных лиственничных и кедровых лесов,
- 4.1.4 — Южно-Таннуольский округ горных степей и перистепных лиственничных лесов,
- 4.1.5 — Сангиленский округ горных степей, перистепных и горно-таёжных лиственничных лесов,
- 4.1.6 — Улуг-Хемский котловинно-степной округ островных сосновых боров;
- 4.2.0 — Чуйско-Монгольско-Алтайская котловинно-горная лесорастительная провинция горных степей

Рис. 1 / Fig. 1. Картограмма лесорастительного районирования Республики Тыва / Map-scheme of forest-frowning zoning of the Republic Tyva

Источник: [6]

Таблица 2/ Table 2

Коэффициент увлажнения (Кувл) по двум периодам / Moisture coefficient for two periods

Метеостанции	Высота над уровнем моря	Широта	Долгота	1961–1990	1991–2020
Кызыл	626	51.72	94.50	0,5	0,5
Эрзин	1100	50.27	90.43	0,6	0,4
Мугур-Аксы	1850	50.37	90.43	0,7	0,5
Сосновка	947	51.15	94.52	1,0	1,0
Тоора-Хем	919	52.47	96.10	1,4	1,3
Среднее	1088	51.20	93.20	0,8	0,7

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

метеостанций Эрзин и Мугур-Аксы, где наблюдаются значительные его изменения (уменьшения). Значения коэффициента увлажнения, по данным метеостанции, Эрзин снижаются – от 0,6 до 0,4; Мугур-Аксы – от 0,7 до 0,5; Тоора-Хем от 1,4 до 1,3. В целом, тренд изменения коэффициента увлажнения составляет 0,07/60 лет.

Статистический анализ пожаров растительности на территории Республики показывает, что наибольшее их количество пришлось на последние десятилетия (табл. 3). Наибольший

вклад в увеличение пожароопасности внёс рост засушливости в начале вегетационного сезона. Так, в период 2000–2022 гг. площадь пожаров возросла в 5 раз, площадь 1 пожара – в 6 раз, по сравнению с данными за 1961–1999 гг. За исследуемый 20-летний период максимальное количество возгораний, переросших в пожары, наблюдалось в 2002 (560), 2014 (255) и 2015 (338) гг.

Аномалия температуры (весны и лета) в основном растёт с каждым последующим периодом (табл. 3). Также количество и площадь пожаров рас-

Таблица 3 / Table 3

Характеристики пожаров на территории лесного фонда Республики / Characteristics of fires on the territory of the Forest Fund of the republic

Годы	Аномалия весенней температуры (апрель–май)	Аномалия летней температуры (июнь–август)	Количество пожаров, шт.	Площадь пожаров, га	Площадь одного пожара, га
1961–1970	-1,0	-0,7	181	725,5	17,2
1971–1980	0	-0,3	388	2953	11,8
1981–1990	0,5	0,5	1670	25564,2	133,7
1991–2000	2,0	1,6	1637	154588,6	509,0
2001–2010	1,5	1,3	2117	533069,4	1395,8
2011–2022	2,0	2,0	1830	429865,8	2528,5

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

тельности увеличивается по сравнению с каждым предыдущим периодом. В 1981–1990 гг. при росте средней температуры на $+0,5^{\circ}\text{C}$ весной и летом количество пожаров возросло в 4,3 раза, площадь пожаров – в 8,7 раза, площадь 1 пожара – в 11,3 раза по сравнению с предыдущим периодом.

Самыми проблемным был период 2001–2010 гг., при аномалии средней температуры весны на $+1,5^{\circ}\text{C}$ и лета – на $+1,3^{\circ}\text{C}$, количество пожаров возросло в 5,5 раз, площадь пожаров – в 188,5 раз, площадь 1 пожара – в 113,3 раз по сравнению с 1971–1980 гг. (табл. 4).

Из приведённых данных заметно, что отклонение от нормы метеорологических условий (рост температуры и уменьшение относительной влажности) последних десятилетий имеют значимое влияние на пожарный сезон. Следовательно, метеорологические условия являются важнейшими составляющими в оценке и прогнозировании горимости лесов. Зафиксирован уровень экстремальной горимости растительности в 2002 г. (на землях лесного фонда 3,1%), что в 7,8 раз превышает

уровень горимости за последние 22 года, согласно данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва.

Сезонность пожаров

Весенние пожары. Весной в 2010–2022 гг. относительная влажность воздуха составила $56,6 \pm 7,1\%$. Она уменьшилась в среднем на 5,5% по сравнению с 1977–1999 гг. Самая низкая относительная влажность воздуха в весеннее время наблюдалась в 2014 и 2015 гг. (50,8% и 52,1%, соответственно). Высокая аномалия температуры воздуха весной наблюдалась в 2020 и 2017 гг. (на 4°C и $2,8^{\circ}\text{C}$, соответственно).

Динамика пожаров растительности на территории республики такова, что за 2000–2022 гг. количество весенних пожаров возросло с 16 до 142 случаев. Площадь весенних гарей составила 34,2 % от общей площади пожаров, а лесных гарей – 25,8 %. В 2010–2022 гг. зафиксировано 640 весенних пожаров, при этом пройденная пожарами площадь составила 147 865,7 га, из них 70,5% – лесные пожары (3% – верховые пожары).

Таблица 4 / Table 4

Данные горимости на территории Республики / Data on the burn ability on the territory of the republic

Годы	Аномалия весенней температуры (апрель–май), $^{\circ}\text{C}$	Аномалия относительной влажности (апрель–октябрь), %	Горимость на землях лесного фонда, %	Горимость лесов, %
2000–2005	1,1	8,0	0,4	0,7
2006–2010	0,6	10,	0,3	0,3
2011–2015	-0,2	14,3	0,4	0,4
2016–2020	1,1	12,1	0,1	0,4
2000–2022	0,6	11,0	0,3	0,4

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Максимальное количество весенних пожаров (142) зарегистрировано в 2011 г. при увеличении средней температуры весны на 1,9 °С. В 2020 и 2013 гг. зарегистрированы наибольшие площади весенних пожаров – 39 239,6 и 36 459,9 га, соответственно. Минимальные площади пожаров наблюдались в 2021, 2010 гг. – 333,2 и 819,5 га, соответственно. На основе результатов обработки официальных данных построена карта пространственного распределения пожаров на территории республики в 2000–2020 гг. (рис. 2).

Пожары в весеннее время в основном локализованы вблизи населённых пунктов и в той части республики, где улучшилась транспортная доступность, и поэтому человек стал активнее себя проявлять (табл. 6).

По вине населения в среднем возникают 68% растительных пожаров, 6,6% приходится на долю весенних пожаров, возникающих от сухих гроз. Основными признаками весенней засухи становятся высокая температура, повышенный приток солнечной радиации, дефицит осадков и уменьшение относительной влажности воздуха. Также быстрому распространению весенних пожаров способствуют характерные весенние ветры, когда порывы ветра достигают 14–32 м/с при высокой температуре воздуха. Все эти факторы приводят к увеличенному испарению с растительного покрова. Быстрый сход снега отмечается на склонах южной экспозиции, потому там преобладают весенние пожары.

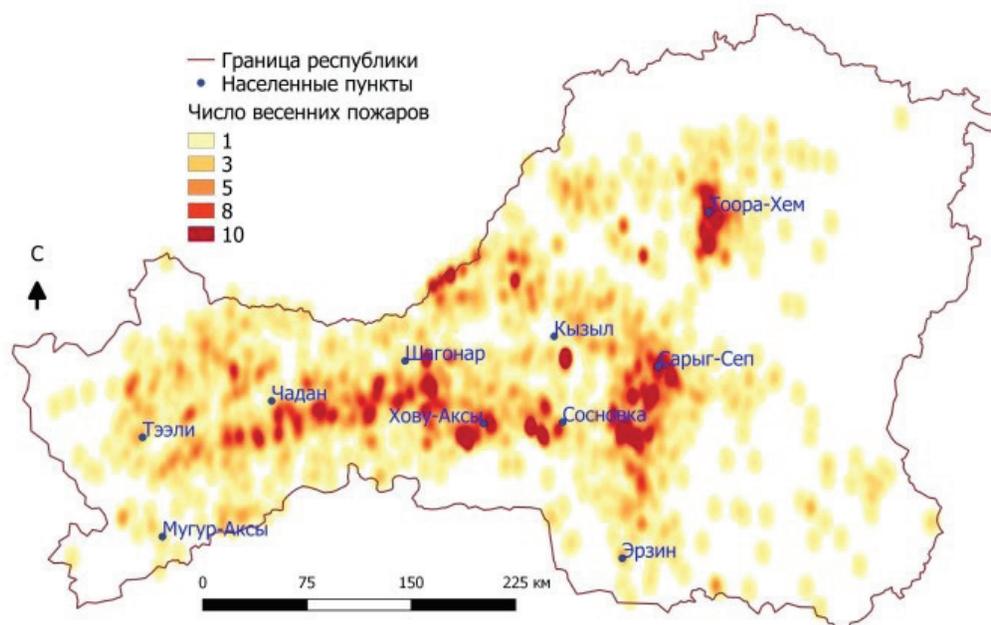


Рис. 2/ Fig. 2. Пространственное распределение весенних пожаров за период 2000–2020 гг. / Spatial distribution of spring fires for the period 2000–2020

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природных ресурсов Республики Тыва

Таблица 6/ Table 6

Причины возникновения весенних лесных пожаров / Causes for the occurrence of the spring wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °С	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	5,4	67,6	0,9	57,0
2011	0,0	99,3	1,4	56,9
2012	0,0	100,0	2,2	60,6
2013	4,0	100,0	0,1	55,4
2014	0,0	22,0	1,9	50,8
2015	1,3	82,9	1,3	52,1
2016	2,4	82,9	1,9	58,4
2017	5,1	87,2	2,3	53,6
2018	0,0	40,7	1,8	55,5
2019	0,0	82,4	2,8	53,9
2020	39,6	64,6	1,3	59,4
2021	0,0	56,3	4,0	65,8
2022	4	23,4	1,3	–

Примечание: норма весенней относительной влажности воздуха – 53,7%

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Весенние пожары возникают и распространяются в момент распускания почек деревьев, когда почки хорошо засмолены, что способствует быстрому развитию лесных пожаров.

Летние пожары. В 2010–2022 гг. аномалия летней температуры за исследуемый период составила $+1,5 \pm 0,5$ °С. Относительная влажность воздуха составила $63,7 \pm 1,8$ %, увеличилась на 0,3% по сравнению с 1979–1999 гг.

Динамика летних пожаров на территории республики такова, что за 2010–2022 гг. их количество возросло с 8 до 244. За летнее время исследуемого периода на территории Тывы был зарегистрирован 881 пожар, а огнём пройдено 248 393,3 га. В среднем за лето регистрировалось 68 пожаров, при этом в год выгорало 20 699 га.

В период 2010–2022 гг. в среднем за год зафиксировано 68 летних пожаров, при этом площадь, пройденная пожарами, составляет в среднем 19 107,2 га, из них 15 712 га (82,2%) – лесные пожары. В том числе площадь, пройденная верховыми пожарами, составляет 7,3% и низовыми устойчивыми пожарами средней интенсивности – 70%. Пожарный максимум отмечен в 2015 г. с наибольшей площадью пожаров 106 733,9 га, пройденной лесными пожарами – 78 805,3 га. Весной 2015 г. наблюдалась аномалия температуры воздуха – $+2,3$ °С к максимальному значению и низкая относительная влажность воздуха 52,1% (при норме в летнее время – 62,6%).

Анализ пожаров показывает, что площади летних пожаров меньше по сравнению с весенними пожарами.

Также на лето приходится 46,2% от числа возникающих пожаров, 57,5% – по площади, и 51,5% – лесных гарей. Основные причины возникновения летних пожаров представлены в таблице 7.

Из приведённых данных следует, что основные причины, определяющие пожароопасную обстановку, – антропогенные и природные (грозы).

В среднем, в 61,6% случаев причиной возникновения летних пожаров послужили сухие грозы (высокая степень пожарной опасности). Грозовой активностью отличился 2020 г., и причинами 92,3% летних пожаров этого года были грозы.

По вине населения в 2010–2022 гг. в среднем возникло 27,2% пожаров. В 2012 г. преобладающей причиной лес-

ных пожаров являлось неосторожное обращение с огнём населения, посещавшего лес (т. е. в этом году на долю антропогенных пожаров пришлось 92% от общего количества летних пожаров).

Площадь летних пожаров зависит от относительной влажности воздуха. В июле относительная влажность уменьшилась на 0,7%. Максимальные значения площади, пройденных огнём, территорий отмечены в 2015 г., когда летом наблюдалась максимальная аномалия температуры воздуха при снижении относительной влажности воздуха в 2013–2015 гг.

Количество летних пожаров за период 2010–2022 гг. коррелирует с температурой летнего периода ($r = 0,74$), площадь пожаров отрицательно кор-

Таблица 7 / Table 7

Причины возникновения летних лесных пожаров / Causes for the occurrence of the summer wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °С	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	76,7	20	1,3	62,9
2011	53,8	46,2	1,5	65
2012	28,6	66,1	1,6	64
2013	42,5	47,5	1	61,6
2014	75,6	20,5	1,5	61,6
2015	57	34,4	2,6	61,7
2016	30,8	0	1,3	68,4
2017	78,9	17,8	2,1	64,6
2018	80,3	16,9	2	63,5
2019	25	37,5	1,3	62,2
2020	92,3	15,4	0,9	66
2021	80	13,3	1,4	66,6
2022	79,1	17,4	—	—

Примечание: норма летней относительной влажности 62,6%.

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

релирует с относительной влажностью воздуха ($r = -0,49$). Причиной около 30% пожаров стали сухие грозы.

Анализ времени возникновения пожаров растительности показывает разные интервалы времени суток. В результате сформированы 3 временных кластера. К первому кластеру отнесены пожары с 06:00 до 12:00 (18,3%), ко второму – с 12:00 до 18:00 (с наибольшим числом пожаров – 65,8%), к третьему кластеру – с 18:00 до 21:00 (15,9%). Условия, наиболее провоцирующие возникновение пожаров, складываются с 12:00 до 18:00 – при максимальной температуре (+37–47 °С) и низкой относительной влажности воздуха (40–15%). В связи с этими факторами количество возгораний достигает 15 случаев в сутки.

На основе результатов обработки данных построена карта пространственного распределения площадей, пройденных огнём, в летний период (июнь–август) на территории республики за 2010–2020 гг. (рис. 3). На рисунке видно, что летние пожары (с 12:00 до 18:00) в основном сосредоточены возле населённых пунктов и на доступной в транспортном отношении части Республики.

Результаты кластерного анализа суточного распределения пожаров показывают, что ~70% пожаров возникают и быстрее распространяются во второй половине дня. В летнее время преобладают устойчивые низовые пожары и развиваются в лиственных и смешанных лесах. При сильной засухе не только в разнотравных, но

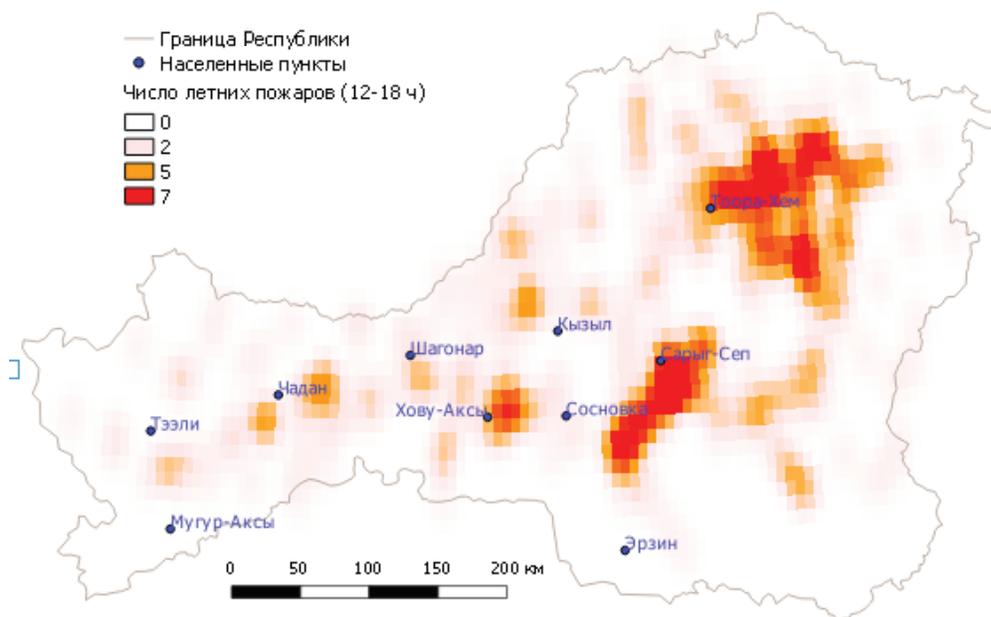


Рис. 3 / Fig. 3. Пространственное распределение летних пожаров (12:00–18:00) в 2000–2020 гг. / Spatial distribution of summer fires (12:00–18:00) in 2000–2020.

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

разнотравно-зеленомошных и зеленомошных лесах пожары проникают в подстилку и переходят в устойчивую форму.

В восточной части республики 40% зарегистрированных пожаров произошли на территории Тоджинского и Каа-Хемского лесничеств, 20% – в лесничествах центральной части. Большинство из них пришлось на леса. Площадь лесных гарей составила 97% от общей площади пожаров, и 16% относится к верховым.

Осенние пожары. Осенний пожароопасный сезон также отличается сухой и ясной погодой. Осенью выпадают 30–40 мм осадков. В период 2010–2022 гг. аномалия осенней температуры за исследуемый период составила $4,0 \pm 0,6$ °С. Относительная влажность

воздуха – $69,4 \pm 4,2\%$ и увеличилась на 3% по сравнению с 1979–1999 гг.

За период 2010–2022 гг. зафиксированы 306 пожаров растительности (количество возросло с 1 до 102 в 2014 г.) (табл. 8). Площадь, пройденная пожарами, составляет 41 650,5 га, из них 24 492,3 га (58,8%) – лесные пожары. В среднем за осень регистрировалось 35 пожаров, при этом в среднем в год выгорало 3 471 га.

На осень приходится 16,1% от всех возникающих пожаров, 5,7% пожаров по площади распространения – за весь пожароопасный сезон, а площадь лесных гарей за осеннее время – 10,5%. Площадь, пройденная верховыми пожарами, составляет 4% и низовыми устойчивыми пожарами средней интенсивности – ~60%.

Таблица 8/ Table 8

Причины возникновения осенних пожаров / Causes for the occurrence of the autumn wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °С	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	40,0	20,0	1,1	67,5
2011	0,0	100	1,9	65,7
2012	25,5	72,3	2,0	70,6
2013	0,0	50,0	2,1	62,4
2014	87,1	4,0	1,7	63,9
2015	82,4	11,8	1,2	65,6
2016	40,0	50,0	2,7	71,1
2017	42,9	28,6	1,8	75,0
2018	0,0	0,0	2,2	74,0
2019	0,0	0,0	0,5	73,8
2020	50,0	50,0	1,5	71,7
2021	0,0	0,0	1,1	71,8
2022	81	12,7	—	—

Примечание: норма осенней относительной влажности 66,1%.

Источник: составлена автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Из приведённой таблицы видно, что в годы с большей аномалией температуры воздуха и при относительной влажности воздуха ниже нормы преобладают пожары от сухих гроз.

По вине населения возникают 30,7% зафиксированных пожаров. Особенно это заметно в годы, когда относительная влажность превышает климатическую норму (норма осенней относительной влажности – 66,1%). Например, в 2016 г. 50% осенних пожаров возникли по вине населения, когда относительная влажность была выше нормы на 4,4%.

На долю осенних пожаров от естественных причин приходится 34,5% пожаров. Площадь осенних пожаров за период 2010–2022 гг. отрицательно коррелирует с относительной влажностью воздуха ($r = -0,39$).

Заключение

Потепление климата на территории Республики отчётливо выражается в росте среднегодовой температуры воздуха на $1,6 \pm 0,6$ °С. Во время исследуемого периода с 2000 по 2022 гг. аномалия весенней температуры составила +1,9 °С, отмечено уменьшение относительной влажности на 5,5% и рост

количества пожаров с 16 до 142 случаев. Пройденная пожарами площадь составила 147 865,7 га. При росте летней температуры на 1,5 °С количество пожаров возросло с 8 до 244 случаев. Пройденная пожарами площадь составила 248 393,3 га. При росте осенней температуры на 4,0 °С количество пожаров возросло с 1 до 102 случаев. Пройденная площадь пожарами составила 41 650,5 га, из них 24 492,3 га (58,8%) – лесные пожары. В среднем весной выгорало 12 322 га, летом – 20 699 га, осенью – 3 471 га.

Данные о фактической горимости растительности показывают, что причиной возникновения пожаров в большинстве случаев является человеческий фактор (при сборе даров природы не соблюдались правила обращения с огнём), а разгораются они в связи с установившимися аномальными погодно-климатическими условиями.

Таким образом, проведённый анализ статистических данных за 2000–2022 гг. Республики Тыва показывает тенденцию к росту количества и площади пожаров. Наиболее пожароопасный сезон – весна. Динамика площади пожаров характеризуется стабильным увеличением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 324 с.
2. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. М.: Л., 1948. 224 с.
3. Куулар Х. Б. Потепление климата в Республике Тыва по данным наземных исследований // Природные ресурсы, среда и общество. 2021. № 1. С. 62–67.
4. Макунина Н. И. Растительность лесостепи Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Гео, 2016. 183 с.
5. Пономарёв Е. И., Харук В. И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // Сибирский экологический журнал. 2016. № 1. С. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104
6. Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В. Н. Смагина, С. А. Ильинской, Д. И. Назимовой и др. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.

7. Швецов Е. Г. Исследование влияния мощности теплоизлучения лесных пожаров на степень повреждения лесов на территории юга средней Сибири по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 136–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-136-146
8. Шешуков М. А., Позднякова В. В. Лесопожарное районирование территории лесного фонда Республики Тыва. Хабаровск: ФБУ «ДальНИИЛХ», 2012. 61 с.
9. Climate warming impacts on distributions of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed zones and seed mass across Russia in the 21st century / E. I. Parfenova, N. M. Tchebakova, N. A. Kuzmina, S. R. Kuzmin // Forests. 2021. Vol. 12. № 8. DOI: 10.3390/f12081097
10. Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia / Q. Sun, R. Baxter, A. Burrell, K. Barrett, J. Kaduk, E. Kukavskaya, L. Buryak et al. // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. № 12. DOI:10.3390/rs13122247
11. Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia / E. Ponomarev, N. Yakimov, T. Ponomareva, O. Yakubailik, S. G. Conard // Atmosphere. 2021. № 12. DOI: 10.3390/atmos12050559
12. Fire-induced changes in soil and vegetation in the forest-tundra of Western Siberia / O. Sizov, L. Brodt, A. Soromotin, N. Prikhodko, R. Heim // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 223. DOI: 10.1051/e3sconf/202022303001
13. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of geocryological conditions in boreal landscapes of the southern cryolithozone using thermal infrared remote sensing data: a case study of the northern part of the Yenisei Ridge // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. № 2. Art. 291. DOI: 10.3390/rs15020291
14. Patterns of mega-forest fires in east Siberia will become less predictable with climate warming / M. Natole, Y. Ying, M. Stessin, A. Buyantuev, A. Lapenis, V. Buyantuev // Environmental Advances. 2021. Vol. 4. P. 100041.
15. Phenological shifts compensate warming-induced drought stress in southern siberian scots pines / A. Arzac, I. Tychkov, A. Rubtsov, M. A. Tabakova, R. Brezhnev, N. Koshurnikova, A. Knorre et al. // European Journal of Forest Research. 2021. Vol. 140. № 6. P. 1487–1498.
16. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate Change and Wildfires in Russia // Contemporary Problems of Ecology. 2013. № 6. P. 50–61.
17. Spatial classification of moisture-sensitive pine and larch tree-ring chronologies within Khakass-Minusinsk depression South Siberia Trees / L. V. Belokopytova D. F. Zhirnova, E. A. Babushkina, D. M. Meko, E. A. Vaganov // Structure and Function. 2021. Vol. 35. № 6. P. 2133–2139.

REFERENCES

1. Volokitina A. V., Sofronov M. A. *Klassifikatsiya i kartografirovaniye rastitel'nykh goryuchikh materialov* [Classification and mapping of plant combustible materials]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2002. 324 p.
2. Ivanov N. N. *Landshaftno-klimaticheskaya zona zemnogo shara* [Landscape and climatic zones of the globe]. Moscow, Leningrad, 1948. 224 p.
3. Kuular H. B. [Climate warming in the Republic of Tyva according to ground-based research]. In: *Prirodnyye resursy, okruzhayushchaya sreda i obshchestvo* [Natural resources, environment and society], 2021, no. 1, pp. 62–67.
4. Makunina N. I. *Rastitelnost lesostepi Zapadno-Sibirskoy oblasti i Altaye-Sayanskoy gornoj oblasti* [Vegetation of the forest-steppe of the West Siberian Plain and the Altai-Sayan mountain region]. Novosibirsk, Geo Publ., 2016. 183 p.
5. Ponomarev E. I., Kharuk V. I. [Burnability of forests of the Altai-Sayan region in the conditions of observed climate changes]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2016, no. 1, pp. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104

6. Smagina V. N., Ilyinskaya S. A., Nazimova D. I. et al, eds. *Типы лесов гор Южного Сибири* [Types of forests in the mountains of Southern Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 336 p.
7. Shvetsov E. G. [Study of the influence of the power of heat radiation from forest fires on the degree of damage to forests in the south of central Siberia using satellite data]. In: *Sovremennyye problemy rentgenovskogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2022, vol. 19, no. 5, pp. 136–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-136-146
8. Sheshukov M. A., Pozdnyakova V. V. *Lesopozharnoye rayonirovaniye territorii lesnogo fonda Respubliki Tyva* [Forest fire zoning of the territory of the forest fund of the Republic of Tyva]. Khabarovsk, FBU “DalNIILH” Publ., 2012. 61 p.
9. Parfenova E. I., Tchebakova N. M., Kuzmina N. A., Kuzmin S. R. Climate warming impacts on distributions of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed zones and seed mass across Russia in the 21st century. In: *Forests*, 2021, vol. 12, no. 8. DOI: 10.3390/f12081097
10. Sun Q., Baxter R., Burrell A., Barrett K., Kaduk J., Kukavskaya E., Buryak L. et al. Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia. In: *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no 12. DOI:10.3390/rs13122247
11. Ponomarev E., Yakimov N., Ponomareva T., Yakubailik O., Conard S. G. Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia. In: *Atmosphere*, 2021, no. 12. DOI: 10.3390/atmos12050559
12. Sizov O., Brodt L., Soromotin A., Prikhodko N., Heim R. Fire-induced changes in soil and vegetation in the forest-tundra of Western Siberia. In: *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 223. DOI:10.1051/e3sconf/202022303001
13. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of geocryological conditions in boreal landscapes of the southern cryolithozone using thermal infrared remote sensing data: a case study of the northern part of the Yenisei Ridge. In: *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 2, Art. 291. DOI:10.3390/rs15020291
14. Natole M., Ying Y., Stessin M., Buyantuev A., Lapenis A., Buyantuev V. Patterns of megafire forest fires in east Siberia will become less predictable with climate warming. In: *Environmental Advances*, 2021, vol. 4, p. 100041.
15. Arzac A., Tychkov I., Rubtsov A., Tabakova M. A., Brezhnev R., Koshurnikova N., Knorre A. et al. Phenological shifts compensate warming-induced drought stress in southern siberian scots pines. In: *European Journal of Forest Research*, 2021, vol. 140, no. 6, pp. 1487–1498.
16. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate Change and Wildfires in Russia. In: *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, no. 6, pp. 50–61.
17. Belokopytova L. V., Zhirnova D. F., Babushkina E. A., Meko D. M., Vaganov E. A. Spatial classification of moisture-sensitive pine and larch tree-ring chronologies within Khakass-Minusinsk depression South Siberia Trees. In: *Structure and Function*, 2021, vol. 35, no. 6, pp. 2133–2139.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Куулар Хулермаа Болат-ооловна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоинформатики и моделирования процессов Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: k-k-188@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Khulermaa B. Kuular – PhD (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Geoinformatics and Process Modeling, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, Russian Academy of Sciences (Siberian Branch);
e-mail: k-k-188@list.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Куулар Х. Б. Горимость растительности на землях лесного фонда Республики Тыва в условиях изменяющегося климата // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 70–85.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85

FOR CITATION

Kuular Kh. B. Fire danger of the vegetation on the lands of the forest fund of the Tyva Republic in a changing climate. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 70–85.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА И РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Научная статья

УДК 504:75:05

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-86-105

ЭНЕРГЕТИКА ВЕЛИКОБРИТАНИИ: ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПОЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НА ПУТИ К НОРМАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Булохов А. В.¹, Романова Э. П.²

¹ Институт Океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук, 117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36, Российская Федерация;
E-mail: vincenrtrmsne@rambler.ru; ORCID: 0009-0006-9081-1908

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация;
E-mail: rom_ep@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.08.2023

После доработки 15.11.2024

Принята к публикации 26.01.2024

Аннотация

Цель. Выявить исторические предпосылки, сыгравшие ключевую роль в изменении процесса функционирования энергетической отрасли Великобритании.

Процедура и методы. Освещается проблематика энергетического перехода Великобритании от конвенциональных источников энергии к возобновляемым. В работе использованы методика исторического исследования и стандартный статистический метод – поэтапный анализ исторических документов и дальнейшая работа с современными базами статистических данных (официальные правительственные ресурсы¹, в частности, статистические релизы по определённым историческим периодам (*historical data sets*), ресурсы организаций, созданных для отслеживания объёмов выбросов (*EPER – The European Pollutant Emission Register*), качества атмосферного воздуха, благополучия и здоровья населения Великобритании (*Department for Environment, Food & Rural Affairs*).

Результаты. Детально рассмотрено развитие энергетической отрасли Великобритании за период с середины XIX в. по настоящее время. Были выделены ключевые события, после которых происходили наиболее важные изменения в функционировании всей отрасли

© СС BY Булохов А. В., Романова Э. П., 2024.

¹ Информационный веб-сайт государственного сектора Соединенного Королевства, созданный Правительственной цифровой службой для обеспечения единой точки доступа к правительственным услугам Её Величества: [сайт]. URL: gov.uk (дата обращения: 12.12.2023).

(внедрение новых технологий, переход на новые виды топлива и т. д.). Показано, что открытие углеводородных бассейнов Северного моря в 1960-х гг. не повлияло на изменение потребляемого топлива на ТЭЦ. Только приватизация теплоэнергетики, а в дальнейшем заметное повышение налогов на «грязные» виды топлива вынудили собственников перейти на более дешёвый природный газ и более простые в эксплуатации газовые электростанции, а также способствовали бурному развитию альтернативных источников энергии. Проанализированы основные экологические нормативы, вводимые парламентом, как инструмент борьбы с изменяющимся климатом. Освещены основные и наиболее важные события в области экологического законодательства страны, шедшие параллельно с индустриальным развитием. Представлен ряд причин возникновения кризисной ситуации 2021 г., события которого показали, что полностью уйти от традиционных энергетических установок пока не представляется возможным даже в такой развитой и подготовленной стране, как Великобритания.

Теоретическая и/или практическая значимость. Рассмотрено не только развитие отрасли, но и прослежена взаимосвязь её эволюции с направленной работой законодательских структур и организаций, определены принципы принятия важнейших для этой отрасли решений. В свою очередь, анализ этих решений и статистики по выработке электроэнергии и изменению структуры потребления топлива показывает, насколько продуктивны такие решения, как можно использовать этот важный опыт при схожих потенциальных изменениях энергетической структуры в России.

Ключевые слова: теплоэнергетика, каменный уголь, природный газ, теплоэлектростанция, экологическая политика, энергетический переход, альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ, в частности, Кондратьевой Татьяне Игоревне за помощь в написании статьи и советы по поиску нужной информации.

Original Research Article

UK ENERGY: POLITICAL AND ECONOMIC SOLUTIONS ON THE WAY TO NORMALIZATION THE ECOLOGICAL CONDITIONS

A. Bulokhov¹, E. Romanova²

¹ Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Science,
Nakhimovsky prospekt 36, Moscow 117997, Russian Federation;
E-mail: vincentrmsne@rambler.ru; ORCID: 0009-0006-9081-1908

² Lomonosov Moscow State University,
Leninsky Gory 1, Moscow 119234, Russian Federation;
E-mail: rom_ep@rambler.ru

Received 25.08.2023

Revised 15.11.2024

Accepted 26.01.2024

Abstract

Aim. To analyze historical background and main events, which determines the way of functioning and evolution of the energy system of Great Britain.

Methodology. The paper covers the problems of energy transition of Great Britain from conventional to renewable energy sources, the main methodology can be defined as standard statistical approach and method of historical research. Mainly, the aim is to undertake step by step analysis of official historical and statistical data. Such official data can be downloaded from government resources, for example, historical data sets for certain period (gov.uk), from resources, providing statistics for pollutants (EPER – The European Pollutant Emission Register), or resources, providing statistics for levels of atmospheric pollution and human wellness (Department for Environment, Food & Rural Affairs).

Procedure and Methods. The time period of the historical development of thermal power industry in the UK – from the mid-19th century to the present was analyzed in details. The main events through industrial evolution, such as new technologies and types of fuel, which determines the way of functioning and evolution of the energy system of Great Britain, were highlighted. As shown in the article, the discovery of the hydrocarbon basins of the North Sea in 60s did not affect the change in fuel consumption in the field of thermal energy. Only the privatization of this sphere forced the owners to switch to cheaper natural gas and easier-to-operate gas power plants, and forces the rise of renewable energy. The main and most important events in the field of environmental legislation of the country, which went parallel with industrial development, and was targeted against climate change, are highlighted. It is shown that the UK can rightfully be a pioneer in the widespread use of the most environmentally friendly sources of electricity. It is shown that the current structure of fuel consumption, as well as the structure of electricity generation by fuel types, differs significantly even from the state of twenty years ago.

The article also gives a number of reasons for the crisis situation of 2021. The events of this year have shown that it is not yet possible to completely abandon traditional power plants, even in such a developed and prepared country as the United Kingdom.

Research implications. Not only the development of the energy sector is considered, but also the interrelation of its evolution with the directed work of law-making structures and organizations is traced, the principles of making important decisions for the sector are defined. Also, analysis of these important solutions and energy and fuel consumptions statistics shows, are these solutions reasonable, and if they can be useful and suitable in connection to similar evolution of energy system in Russia.

Keywords: thermal power industry, coal, natural gas, thermal power plant, environmental policy, energy crisis, renewable energy, alternative energy, renewable resources

Acknowledgments. Thanks to members of laboratory of Phisycal Geography of the World of Moscow State University – to Kondratyeva Tatyana Igorevna, for assistance in writing of this article and searching usefull information.

Введение

Высокие темпы развития антропогенной деятельности XIX–XX вв. привели к пониманию, что природная среда не сможет безвозмездно обеспечивать это развитие в дальнейшем и ухудшение качества её состояния напрямую скажется на человеке. В свете этих опасений во второй половине

XX в. было введено в обиход выражение «устойчивое развитие» (*sustainable development*), подразумевающее под собой развитие нынешнего поколения не во вред поколениям будущим. Курс устойчивого развития государств, в частности, раздел, посвящённый экологической безопасности и глобальному изменению климата, включает в

себя поиск наиболее эффективных решений, в т. ч. в области функционирования энергетической отрасли.

Высокая актуальность данной темы заключается в том, что энергетика, являясь ключевой стратегической отраслью многих развитых и развивающихся стран, по-прежнему является одним из ключевых поставщиков загрязняющих веществ в окружающую среду, усиливающих в т. ч. и парниковый эффект. Согласно ежегодным отчётам Европейского агентства по окружающей среде (*EEA Europe Environment Agency*) на долю электроэнергетики, преимущественно теплоэнергетики, в европейских странах приходится в среднем до 30–40% объёмов выбросов газообразных загрязнителей (в пересчёте на CO₂экв)¹. Переход от конвенциональных к возобновляемым источникам энергии, постепенное снижение доли ископаемых видов топлива в энергетике – это те условия, при которых возможно снизить антропогенное воздействие на окружающую среду, замедлить процесс изменения глобального климата.

В этом плане показателен пример Великобритании. К 2025 г. в рамках принятого парламентом курса по декарбонизации экономики (*Net zero strategy*) Великобритания планирует полностью отказаться от угольных электростанций. В 2017 г. здесь впервые в своей истории электроэнергия вырабатывалась за счёт других видов топлива в течение целого дня, а в мае 2019 г. – в течение целой недели. Для страны, в которой почти 120 лет уголь был практически основным видом то-

плива на электростанциях, это довольно уверенный и решительный шаг, к которому общество шло длительное время. Среди работников этой сферы даже ходило выражение «Уголь по проводам» (*Coal by wires*). К 2020 г. выработка электроэнергии за счёт каменного угля на электростанциях снизилась до 2–3%. На первый план вышли природный газ (39%), возобновляемые источники энергии (26%) и атомная энергетика (20%)².

Накопленный этой страной уникальный опыт в области перехода к возобновляемым источникам энергии, а также применение в энергетической отрасли более экологически чистых технологий и топлива, может быть полезно многим другим странам, в т. ч. и России, где на долю ТЭС в настоящее время приходится около 67% выработки электроэнергии³.

Теоретической базой работы послужили наработки ряда российских учёных. Е. А. Высторобец [2], И. Г. Ковалев [5], М. И. Кривогуз [6], В. К. Ломакин [7] и А. М. Сумин [10] обращают внимание, что актуальность изучения процесса успешной эволюции энергетической и экологической сфер Великобритании, как пример для остальных развивающихся стран, в настоящее время остаётся высокой, требующей детального рассмотрения.

¹ EEA greenhouse gases – data viewer, period: 1990–2020. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer> [дата обращения: 09.02.2023].

² Ежегодный правительственный отчет, Digest of Energy Statistics, (DUKES) 2020 URL: <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistics-dukes-2020> [дата обращения: 09.02.2023].

³ Основные характеристики российской электроэнергетики, Министерство Энергетики РФ (Main characteristics of the Russian electric power industry, Ministry of Energy of the Russian Federation), Табл. 3, 2020. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> [дата обращения: 09.02.2023].

В частности, ими предложена периодизация развития сферы энергетики в свете политических решений, даёт характеристика каждого этапа. Авторами детально проанализировано изменение ресурсной базы ТЭК Великобритании на современном этапе. Проведён сравнительный анализ экологической политики ряда европейских стран, в т. ч. России и Великобритании, и указаны основные различия в подходах к формированию экологических законодательных актов.

Особенности развития электроэнергетической системы Великобритании

Заметное распространение по стране предприятий, производящих электроэнергию (т. н. *Powerhouses*), произошло во второй половине XIX в. Среди первых крупных электростанций можно выделить *Holborn Viaduct Power Station* (иногда называемая *Edison Electric Light Station*) построенная в Лондоне в 1882 г., или *Deptford Power Station* (1891 г.). Стоит отметить, что на тот момент ещё не существовало общего стандарта и потребителям предоставлялись на выбор либо постоянный ток, либо переменный¹.

Трёхфазная система электроснабжения, изобретённая в конце XIX в., сразу нашла своё широкое применение в Великобритании благодаря инженеру-электротехнику Ч. Мерцу. Взяв данную систему за основу, Мерц в 1901 г. создал электростанцию *Neptune Bank*

Power Station в г. Ньюкасл-на-Тайне и к 1912 г. вокруг этой станции образовал сеть электроснабжения, ставшую на тот момент одной из наиболее совершенных и обширных во всей Европе.

В 1925 г. Британское правительство обратилось к лорду Вейеру, промышленнику из Глазго, с просьбой решить проблему «фрагментарности» электрической системы всей страны или, по сути, необходимости создать единую систему. В 1926 г. был подготовлен «*Electricity Act 1926*», документ, содержащий рекомендации к созданию электрической сети для страны. Как итог этого документа, была создана «*Central Electricity Board*», которая начала формировать в Великобритании первую, единую и синхронизированную электрическую сеть переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 132 кВ. Из 438 разноплановых электростанций для этой сети осталось только 140 наиболее крупных (практически все они были угольными). Остальные были упразднены или перестроены в подстанции. В 1938 г. Британия стала обладательницей одной из наиболее развитых и завершённых на тот момент систем электроснабжения в Европе. Интересно, что этот процесс шёл параллельно с программой ГОЭЛРО в молодом Советском Союзе и инженеры обеих стран иногда тесно сотрудничали [1].

Следующим важным событием в сфере электроэнергетики Великобритании стал акт о национализации и централизованном управлении объектов сети электроснабжения «*Electricity Act 1947*». Согласно этому документу в стране были национализированы свыше 500 объектов электроэнергетики, после чего они были соотнесены по

¹ Guidance note «20th-Century Coal and Oil-Fired Electric Power Generation», Introductions to Heritage Assets, Jonathan Clarke, 2015. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/iha-20thcentury-coal-oil-fired-electric-power-generation/> [дата обращения: 09.02.2023]

14 региональным отделениям (т. н. *Regional Electricity Board*) и подчинялись главному отделению.

Основная парадигма создания энергетических объектов наметилась на второй половине XX столетия – «*Доминанта промышленного ландшафта*» – ввод в строй особо мощных угольных теплоэлектростанций (рис. 1). К началу 1950-х гг. сформировалась стратегия, обуславливающая выбор мест под будущее строительство таких электростанций. В её основе было несколько главных факторов: возможность создавать энергетические установки мощностью 2000–3000 МВт, территориальная близость к угольным бассейнам для низкой стоимости транспортировки угля и передача электроэнергии на дальние расстояния. При этом потери в ходе передачи энергии будут мень-

ше, если поднимать напряжение самой сети. Поэтому к 1953 г. в стране начинает создаваться сеть под напряжение в 275 кВ, а в 1958 г. – под напряжение в 400 кВ, максимальное для сети Великобритании на сегодняшний день. Стоит отметить, что судоходные каналы и реки по-прежнему являлись важными транспортными артериями для подвоза угля, обуславливающими будущее место строительства электростанций, наряду с железными дорогами [15].

Именно в этот период в Великобритании проявились проблемы экологической сферы, в частности, такое явление, как сильные и неоднократные смоги. Каменный уголь часто содержит примеси серы, и при его сжигании высвобождается некоторое количество соединений диоксида серы. При сжигании на ТЭС миллионов тонн



Рис. 1 / Fig. 1. Электростанция Эгбороу / Eggborough power station

Источник: Geographical [Электронный ресурс]. URL: <https://geographical.co.uk/nature/energy/item/2203-exit-strategy> (дата обращения: 12.12.2023)

угля ежегодно в атмосферу поступал огромный объём SO_2 – сотни тысяч тонн. А на тот момент на теплоэлектростанциях страны ещё не устанавливались т. н. скрубберы – очистные установки в самих трубах, улавливающие соединения SO_x , (а также NO_x , твёрдые частицы $\text{PM}_{2,5}$ и PM_{10} и т. д.). Поступление в атмосферу SO_2 , вкуче с особенностями климата, способствовало появлению сильных смогов и, как следствие, вызывало у населения ряд респираторных заболеваний. Эти проблемы требовали решения.

Атомная эра для Великобритании (не как решение экологических проблем) стартовала в 1954 г. с момента подключения к сети атомного реактора *Calder Hall*, являвшегося частью оборонного предприятия. В 1966 г. в строй была введена первая полноценная британская атомная электростанция *Sizewell-A* в г. Саффолке, мощностью 580 МВт.

К довольно знаковому событию можно отнести усовершенствование одного из силовых агрегатов угольной станции *Hams Hall «C»* в 1967 г. с целью возможности работы на природном газе. К 1971 г. электростанция была полностью переоборудована для смешанной работы и на угле, и на газу. С 1979 г. на ряде других электростанций начинают использоваться газовые турбины. В дальнейшем именно такие газовые электростанции станут основными тепловыми электростанциями страны.

В 1989 г., согласно «*The Electricity Act 1989*», отрасль электроэнергетики была приватизирована и передана частным компаниям, а государственное регулирование её функционирования всё чаще производилось введением нало-

гов или льгот для тех или иных технологий. С этого момента наблюдается уже существенное изменение структуры потребления топлива на теплоэлектростанциях: в связи с появлением более универсальных и эффективных технологий при создании газовых ТЭС, более простой инфраструктурой при их обеспечении газом, угольные ТЭС стали активно выводиться из эксплуатации или подвергаться переоборудованию. Возросшая в конце XX в. значимость природоохранных организаций и всеобщая экологизация общества, наряду с чисто экономическими причинами, коренным образом повлияли на отношение к традиционным источникам энергии, в первую очередь, к каменному углю. Развитие технологий также позволяло перейти к практической реализации идей о «зелёной», альтернативной, энергетике [13].

Изменения в структуре потребления топлива для производства электроэнергии

Исторически сложилось, что для паровых машин, а в дальнейшем для паротурбинных силовых установок, вырабатывающих электричество, каменный уголь являлся единственным наиболее подходящим технологически видом топлива. К моменту ввода в строй первых электростанций угледобывающая промышленность Великобритании была в числе лидирующих [8]. Максимум добычи национально-го угля пришёлся на 1913 г. – 292 млн тонн¹. Таких же дешёвых и относитель-

¹ Historical coal data: coal production, availability and consumption 1853 to 2020, 2021. URL: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/historical-coal-data-coal-production-availability-and-consumption> [дата обращения: 09.02.2023].

но легко добываемых альтернатив для энергетики на тот момент не было.

Несмотря на то, что до 1950–1960-х гг. на теплоэлектростанциях использовался исключительно уголь, а практически на всём протяжении XX в.

наблюдался рост потребления угля для выработки электроэнергии, сама его добыча постепенно сокращалась (рис. 2). Ежегодное сокращение количества работников угольной промышленности, как и закрытие самих шахт,

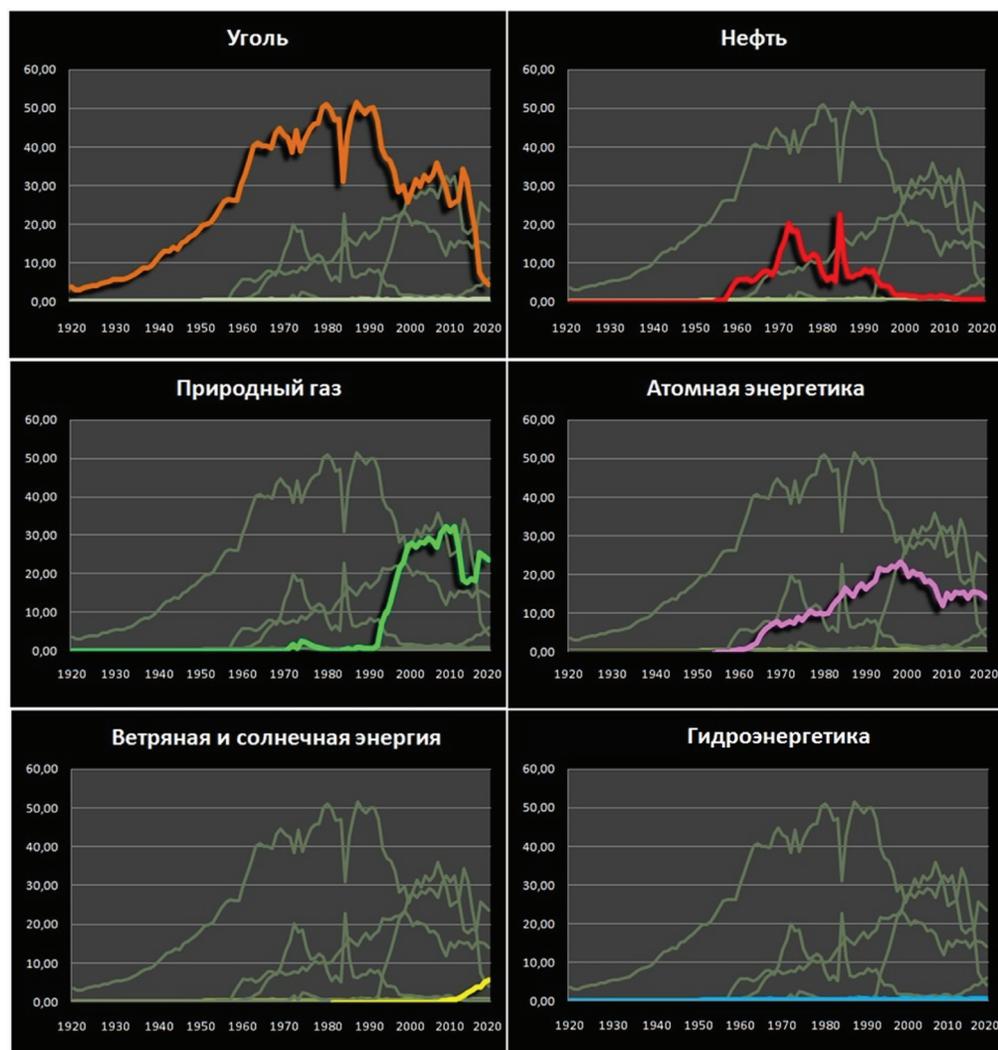


Рис. 2 / Fig. 2. Серия графиков, отражающая баланс использования основных видов топлива для выработки электроэнергии в 1920–2018 гг. (шкала дана в мегатоннах в нефтяном эквиваленте) / A series of graphs showing the balance of use of the main fuels for electricity generation in the period 1920–2018 (the scale is given in megatons in oil equivalent)

Источник: Historical electricity data, Digest of United Kingdom Energy Statistics [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/historical-electricity-data> (дата обращения: 12.12.2023)

приводившее к забастовкам в 1970-х гг., в основном носило экономический характер. В определённый момент любую угольную шахту из-за полной выработки ближайших пластов становилось нецелесообразно продолжать разрабатывать или усложнять её конструкцию. Со временем целесообразность функционирования всей отрасли стала вызывать вопросы. Лишь электроэнергетика, сталеплавильная отрасль и непосредственно отопление жилья по-прежнему напрямую зависели от угля. Начиная с 1970 г., Великобритания закупала уголь у других стран, что также сильно повлияло на собственную добычу. Окончательные решительные шаги против национальной добычи угля были сделаны в 1980-х гг. после неудачной забастовки рабочих 1984 г., в парламенте Великобритании поняли, что сопротивление Национального профсоюза горняков сдадо свои позиции, и были закрыты 20 крупных шахт. Упразднение отрасли стало вопросом времени и, по сути, зависело от создания новых вакансий в других отраслях для населения, задействованного в процессе добычи угля. Последняя шахта *Kellingley Colliery* была закрыта в 2015 г. Тем самым в стране закончилась эра добычи угля закрытым способом [3].

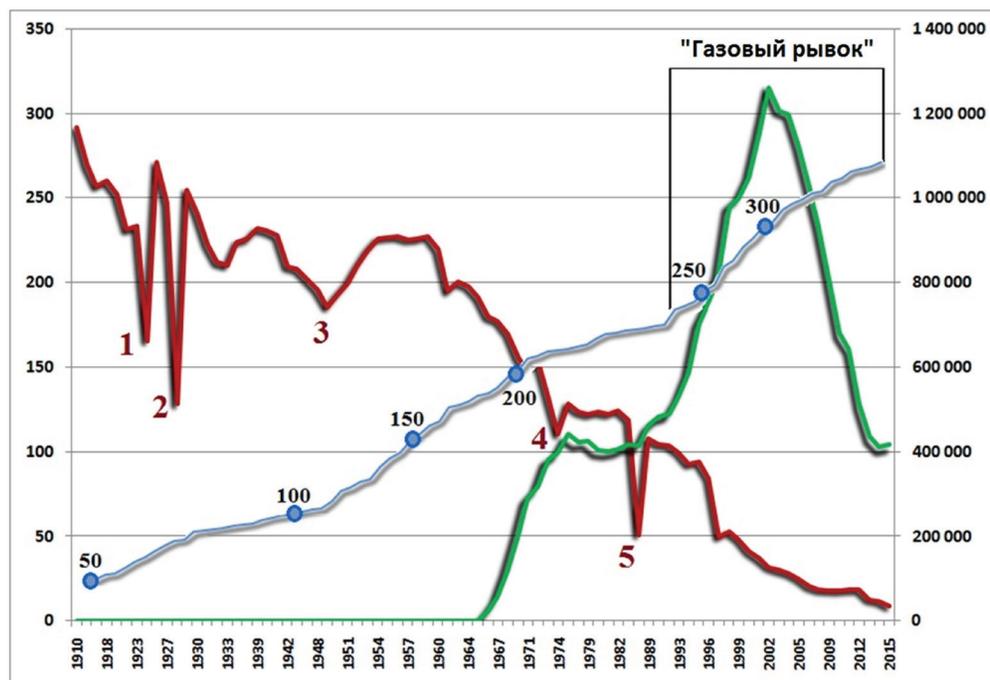
В это же время, в 1983 г., произошёл первый крупный спад выработки электричества на угольных станциях (рис. 3). Несмотря на некоторое количество импортного угля, забастовки шахтёров всё же привели к трудностям. Как видно из графиков на рисунке 2, вызванный забастовками спад был возмещён благодаря переходу ряда электростанций на нефть. Газовых электростанций на тот момент было

мало, а атомная энергетика, как правило, имеет очень стабильный уровень выработки электроэнергии, который не может быть резко увеличен. Вскоре потребление угля снова возросло до прежних значений, ещё почти на 10 лет. Тем не менее с середины 1990-х гг. в плане производства электроэнергии на угле начался резкий и уже бесповоротный спад. К 2020 г. в Великобритании осталось всего 4 активные угольные электростанции.

Добыча природного газа началась в 1967 г. в пределах южной части континентального шельфа Великобритании (газоносный бассейн *West Sole*). В первые же годы эксплуатации месторождения природный газ быстро вытеснил с внутреннего рынка импортный и коксовый газ (получаемый при коксовании каменного угля). Этот процесс начался с 1968 г., и к 1975 г. практически повсеместно в стране уже использовался природный газ с шельфа (но не на электростанциях) [11].

Очевидный успех в сфере разработки и добычи природного газа в пределах южного сектора Северного моря способствовал дальнейшей разведке залежей центрального и северного секторов. Здесь были открыты огромные нефтяные поля. Начиная с 1975 г., нефть и попутный газ начали поступать по трубопроводам на прибрежные терминалы Великобритании с центрального и северного секторов Северного моря. Таким образом, с конца 1970-х гг. до 2000 г. наблюдалось постоянное ежегодное увеличение объёма добываемого природного газа (достигнутый максимум – 115 млрд м³ в год)¹.

¹ Gas Production from the UK Continental Shelf: An Assessment of Resources, Economics and



Условные обозначения:

- Объёмы добычи каменного угля, млн т
- Объёмы добычи природного газа, млн м³
- Количество постоянно функционирующих теплоэлектростанций, ед.

Цифрами на красной линии показаны наиболее важные события, когда добыча угля приостанавливалась:

- 1,2 – забастовки рабочих 1920-х гг.;
- 3 – Вторая мировая война;
- 4 – энергетический кризис 1970-х гг.;
- 5 – забастовки профсоюзов угледобывающей отрасли

Рис. 3 / Fig. 3. Объёмы добычи каменного угля, природного газа и количество постоянно функционирующих теплоэлектростанций в Великобритании, 1910–2015 гг. / Volumes of production of hard coal, natural gas and the number of permanently functioning thermal power plants in the UK, 1910–2015

Источник: составлено авторами по Energy Technology [сайт].

URL: <https://aenert.com> (дата обращения: 09.02.2023)

Несмотря на огромные объёмы добываемого природного газа, на процессе производства электроэнергии это никак не отразилось. Лишь при-

Regulatory Reform, The Oxford Institute for Energy Studies, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oxfordenergy.org/wp-content/uploads/2019/07/Gas-Production-from-the-UK-Continental-Shelf-NG-148.pdf> (дата обращения: 09.02.2023).

ватизация энергетических компаний к 1990 г. способствовала бурному росту газовых электростанций, т. н. «газовый рывок» или «Dash for gas» (рис. 3). За последнее десятилетие XX в. были построены 36 таких станций. В основном они строились по технологии CCGT (Combined cycle gas turbine), опробованной ещё в 1979 г. Такие теплоэлектро-

станции обладают большим КПД (до 50% против 35% у классических паротурбинных установок).

Начало развития технологий по освоению и использованию альтернативных источников энергии относится к 1970 г., на что положительно повлиял также и мировой нефтяной кризис 1973–1974 гг.¹. Начиная с 1990 г., правительство Великобритании стало активно поддерживать инфраструктуру нетрадиционных возобновляемых источников энергии – ветро- и солнечные электростанции, а также производство биотоплива [4].

Первый британский наземный ветряной парк был введён в эксплуатацию в 1991 г. в Корнуоле (*Delabole wind farm*). Здесь было установлено 10 ветроэнергетических установок. Первый британский морской ветряной парк (по сути, экспериментальный, было установлено 2 ветроэнергетические установки) был введён в эксплуатацию в 2000 г. (*Blyth Offshore Wind Farm*). Но уже спустя несколько лет начинают создаваться проекты ветряных парков в разных районах акватории, в основном прилегающей к восточному побережью Великобритании. За 20 лет было введено в общей сложности 11 тысяч ветроэнергетических установок, наземных и морских, с общей установленной мощностью 13 и 10 ГВт соответственно, и их доля в общей структуре выработки электроэнергии составляет 10–15% (в зависимости от метеорологических условий конкретного года)².

¹ Renewable Energy in the UK: Past, Present and Future. 2019. David Elliott. The Open University, Milton Keynes, UK.

² Wind powered electricity in the UK, 2020 (Energy Trends: March 2020, special feature article - Wind powered electricity in the UK) [Элек-

История преобразования солнечной энергии в электрическую в Великобритании началась с 2006 г. На настоящий момент в стране насчитывается 1170 установок общей мощностью 8,7 ГВт (около 4–5% от общей мощности).

Современная структура выработки электроэнергии по типу топлива в 2020 г. представлена на рисунке 4.

Как видно из рисунка, лидерами по выработке энергии по типу топлива являются природный газ (35–40%), атомная энергия (20%), а также альтернативные и возобновляемые источники энергии (в сумме до 30%). Потребление угля и нефти снизилось на порядок, и составляет 3% и 1% соответственно.

Экологическая политика

Бурное развитие энергетической системы страны к середине XX столетия и, прежде всего, повсеместный ввод в строй мощнейших угольных электростанций напрямую влияли на состояние окружающей среды. Стало очевидным, что проблемы с загрязнением атмосферы в городах при таком развитии будут только обостряться, и постепенно появилось понимание о необходимости новых и эффективных регулирующих актах со стороны государства.

Стоит отметить, что совершенствование экологических норм и законов, тем более в последние несколько десятилетий, ведётся особенно активно. В связи с чем охватить все изданные парламентом Великобритании акты в

тронный ресурс]. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/875384/Wind_powered_electricity_in_the_UK.pdf (дата обращения: 09.02.2023).

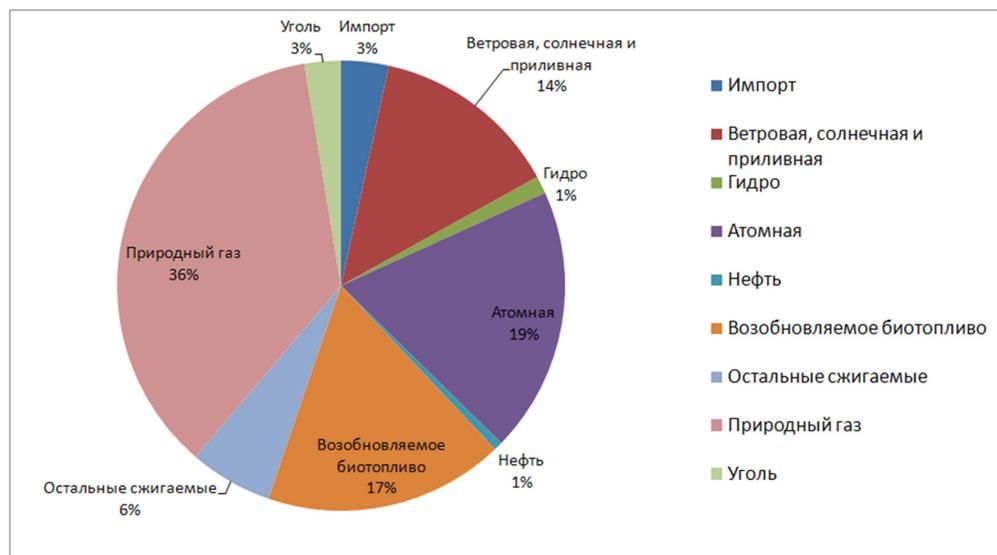


Рис. 4 / Fig. 4. Структура выработки электроэнергии в Великобритании по типу топлива в 2020 г. / Breakdown of electricity generation in the UK by fuel type in 2020

Источник: Ежегодный правительственный отчет Digest of Energy Statistics, (DUKES) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistics-dukes-2020> (дата обращения: 09.02.2023)

одной статье кажется невыполнимой задачей. Поэтому мы остановимся на наиболее значимых, повлекших за собой существенные изменения в жизни энергетической отрасли и самого общества.

Вообще, такие акты и постановления известны в истории Англии ещё с XIV в. Они были направлены в большей степени на непосредственное благополучие жителей и не затрагивали «охрану» самой окружающей среды в современном понимании. К примеру, запрет на сжигание каменного угля в пределах населённых пунктов или замена угля на древесину как попытка снизить проблемы с респираторными заболеваниями. В 1853 г. был выпущен закон «О борьбе с вредными запахами» (*Smoke Nuisance Abatement (Metropolis) Act*). Он предусматривал возможность работать совместно ин-

спекторам «Королевской комиссии по ядовитым парам» и представителям полиции, чтобы контролировать деятельность предприятий с доменными печами и работу паровых судов в пределах крупных городов. В 1863 г. вышел так называемый «Щелочной закон» (*Alkali Act*), который обязан своему появлению народным искам и возмущениям, возникшим после повсеместного распространения предприятий, производящих щелочи и кислоты разных видов без каких-либо очистных сооружений. Согласно этому закону все предприятия обязаны были улавливать до 95% паров кислот, поступавших в городской воздух. Впоследствии, в начале 1880-х гг., этот закон дополнился требованиями к производству серной кислоты, удобрений и доменных печей на коксующемся

угле¹. Это был период, предшествующий теплоэнергетической эре.

Знаменитый «Лондонский смог» 1952 г. вызвал сильный резонанс, наконец, не только в английском обществе, но и в кругах экологических организаций по всему миру. Хотя именно этот смог был самым крупным и длительным за всю историю наблюдений и даже вызвал большое количество жертв среди людей с респираторными заболеваниями, но такое явление было не в новинку. Термин «*Peasouper*» (гороховый суп) появился ещё в XX в. – желтоватый или зеленоватый туман, вызванный определёнными, часто встречающимися погодными условиями и наличием в воздухе частиц сажи, диоксида серы. Однако смог 1952 г. предопределил появление спустя 4 года закона о «Чистом воздухе 1956 года» (*Clean air act 1956*). Данный закон предписывал населению и промышленникам ограничить использование каменного угля в черте крупных городов, а также наличие льгот при переходе на другие, более чистые виды топлива.

Данный закон не был разовой мерой – его переиздавали со значительными расширениями в 1968 г. и в 1993 г.

Начиная с 1950-х гг., особую актуальность в сфере загрязнения атмосферы Европы приобрела проблема *трансграничного переноса* газообразных загрязнений. Так, скандинавские страны (Норвегия, Швеция и Финляндия) обнаружили в своих озёрах усиленные процессы асидификации, что стало следствием выпадения здесь кислотных осадков, принесённых со

стороны Великобритании. В ФРГ появились проблемы с деградацией и отмиранием лесных насаждений. В дальнейшем, с 1970-х гг., эти страны приняли активное участие в организации международных экологических конференций. Так, в 1970-х гг. был основан «Клуб 30 процентов», клуб ряда стран-участниц, поставивших между собой задачи по сокращению выбросов SO_2 на 30% в период с 1980 по 1993 г. Однако сама Великобритания не вступила в этот клуб.

В 1979 г. в Женеве заинтересованными странами Европы была подписана Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на дальние расстояния. Она вступила в силу в 1983 г. Согласно этой Конвенции к 1985 г. был подготовлен протокол (Хельсинский протокол), предписывающий сокращение выбросов диоксида серы SO_2 на 30% к 1993 г., и как следствие – сокращение объёмов, переносимых на дальние расстояния.

Общественность, уже осведомлённая об опасности экологических проблем, начала требовать от управляющих органов Европейского сообщества (предшественника Европейского Союза) решения возникшей ситуации. Так, к 1984 г. была подготовлена директива по сокращению выбросов от крупных тепловых предприятий LCPD (*Large Combustion Plant Directive 88/609/EEC*) [12]. Данная директива предписывала планы по снижению выбросов от стационарных объектов (теплоэлектростанций мощнее 50 МВт) диоксида серы SO_2 на 60% и снижению соединений NO_x на 40%.

Великобритания, в которой на тот момент на угольных станциях вырабатывалось не менее 80% электроэнер-

¹ The Royal Commission on Environmental Pollution, 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wired.com/2011/07/0718britain-royal-commission-air-pollution/> (дата обращения: 09.02.2023).

гии, отнеслась к данной директиве достаточно прохладно. Было очевидно, что, например, Франция, в которой большая часть электроэнергии производится на АЭС, приняла условия этой директивы с большим энтузиазмом. В Великобритании же, конечно, атомная энергетика также развивалась, однако меньшими темпами, постоянно сталкиваясь с рядом проблем. До 1970-х гг. выработка электроэнергии на АЭС практически отсутствовала, но уже в 2000-х гг. этот показатель приблизился к 25% от общей выработки по стране.

Таким образом, для Европы – и Великобритании в частности – 1970-е гг. стали некоей отправной точкой в формировании общей законодательной базы в сфере экологии.

В 2005 г. в пределах ЕС начинает функционировать Система торговли квотами на парниковые газы (EUETS – *European Union Emissions Trading Scheme*), в основе которой заложена схема «*Cap and trade*» («ограничение и торговля»). Определяется максимальный ежегодный объём выбросов, который распределяется между отраслями и предприятиями в пределах ЕС. В случае превышения каким-либо предприятием обозначенного допустимого объёма это предприятие может приобрести сертификаты – или кредиты – на дополнительные выбросы парниковых газов у предприятий, у которых, наоборот, объём выбросов оказался меньше допустимого¹.

Отличительной чертой современной внешней политики Великобритании является стремление показать остальному миру лидирующее положение в сфере экологии и борьбы с глобальными климатическими изменениями. Темпы декарбонизации экономики страны, особенно за последнее десятилетие, наиболее высокие в общемировом масштабе. О своих намерениях по сокращению выбросов представители комиссий заявляют на каждом международном экологическом саммите. Одной из важнейших стратегий в области экологической политики Великобритании в последнее время можно назвать «*Net-Zero Strategy*» – стратегия полного сокращения выбросов парниковых газов².

В 2008 г. парламент Великобритании абсолютным большинством (463 – «за» и 3 – «против») принял базовый «Закон об изменении климата» (*Climate Change Act 2008*). Согласно этому закону была поставлена цель провести «декарбонизацию» экономики – уменьшить выбросы парниковых газов на 50% к 2025 г. в сравнении с уровнями 1990 г., и на 80–100% – к 2050 г. (также в сравнении с 1990 г.) [14]. Сделать это планировалось преимущественно за счёт вытеснения угольных электростанций альтернативными источниками энергии.

Уникальность этого закона состоит в том, что, по сути, он заставил всю

(дата обращения: 09.02.2023).

¹ EU Emissions Trading System (EU ETS) [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (дата обращения: 09.02.2023); The UK's Net Zero Strategy: The 11 Questions It Must Answer. Tim Lord. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://institute.global/policy/uks-net-zero-strategy-11-questions-it-must-answer>

² The UK's Net Zero Strategy: The 11 Questions It Must Answer. Tim Lord. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://institute.global/policy/uks-net-zero-strategy-11-questions-it-must-answer> (дата обращения: 09.02.2023); UK net zero target, Marcus Shephard, 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.instituteforgovernment.org.uk/explainers/net-zero-target> (дата обращения: 09.02.2023).

экономику страны работать на декарбонизацию. Естественно, это повлекло за собой трудности, которые местами ударили по кошельку обычных граждан, но со временем самый дешёвый киловатт электроэнергии стал производиться именно от альтернативных источников энергии. Здесь есть и минусы – это не самые стабильные погодные условия, что не позволит полностью перевести Великобританию на альтернативные источники энергии (кризис 2021 г. отчасти доказал это).

Одним из важнейших итогов принятия этого закона стало формирование «Углеродного бюджета» (*Carbonbudgets*). В частности, на каждые последующие 5 лет с момента принятия закона был рассчитан максимально возможный объём CO₂-эквивалента, выбираемого предприятиями Великобритании в атмосферу (табл. 1).

В 2021 г. Великобритания приняла участие в 26-й конференции Объединённых Наций по изменению климата «COP-26» в г. Глазго. Это была очередная конференция рамочной Конвенции ООН по изменению климата (РКИК), осуществляющей деятельность с 1992 г. Знаменитый

Киотский протокол стал первым итогом работ этой конвенции. Непосредственно на COP-26 премьер-министр Великобритании Б. Джонсон озвучил достижения страны за период существования РКИК в области экологической политики, а также продуктивного экономического роста в симбиозе с существенным перераспределением бюджета в сторону развития зелёных технологий. В частности, основными тезисами доклада были:

- декарбонизация экономики Великобритании идёт наибольшими темпами среди остальных стран;
- включение в законодательную базу механизмов для достижения программы Net Zero к 2050 г. стало реальностью;
- Великобритания является одним из лидеров в области ветроэнергетики;
- прямая государственная поддержка разработок месторождений ископаемых видов топлива будет прекращена;
- Великобритания удвоит международную финансовую помощь в области климатической политики и технологий развивающимся нациям на 5 лет с 2025 г.;

Таблица 1 / Table 1

Периоды, расчётные и достигнутые объёмы выбросов в атмосферу CO₂-эквивалента / Periods, estimated and achieved volumes of CO₂ equivalent)

Период	Углеродный бюджет	Сокращение по сравнению с уровнями 1990 г.
2008–2012	3,018 МтCO ₂ e	25%
2013–2017	2,782 МтCO ₂ e	31%
2018–2022	2,544 МтCO ₂ e	37% к 2020
2023–2027	1,950 МтCO ₂ e	51% к 2025
2028–2032	1,725 МтCO ₂ e	57% к 2030

Источник: Climate Change Act 2008 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents> (дата обращения: 09.02.2023)

– продажа и производство новых бензиновых и дизельных автомобилей будут прекращены;

– планируется увеличить территории под посадки лесонасаждений до 30 тыс. га в год с 2025 г.;

– планируется увеличить количество рабочих мест в «низкокабронных» секторах до 460 тыс. к 2025 г., а более амбициозные планы – 2 млн в 2030 г.¹

Энергетический кризис

Осенью 2021 г. новостные порталы особенно пристально освещали ситуацию Великобритании: страна оказалась на пороге энергетического кризиса. Повышение стоимости электроэнергии по сравнению с предыдущим 2020 г. в среднем по стране достигало 250%. Ряд небольших компаний, осуществляющих поставку энергии потребителям, обанкротились и закрылись, автоматически передав свои задачи и проблемы более крупным компаниям.

Характер причин, способствовавших возникновению такой ситуации, частично природный и независимый от государства, частично экономический.

Во-первых, это отложенные последствия многократных локдаунов в связи с пандемией COVID-19. Спустя год мировые правительства начали восстанавливать экономику, что вызвало перераспределение запросов и, соответственно, поставок природного газа. Активизировался рынок стран-

поставщиков газа Ближнего Востока с Китаем, тем самым создав дефицит газа для Европы. Также сократились поставки газа со стороны Российской Федерации².

Структура импорта природного сжиженного газа Великобритании: Катар – 48%, США – 27%, РФ – 12%, Тринидад и Тобаго – 6%, остальные – 7%³.

Во-вторых, период, предшествующий кризису, был антирекордным с точки зрения силы ветра, необходимой для ветряков⁴. Несколько недель этот сектор вырабатывал лишь 5% электроэнергии от общего количества, вместо среднестатистических 20%. Естественно, эти 15% необходимо было возместить другими видами топлива, прежде всего, природным газом.

В-третьих, один из силовых кабелей, соединяющих Великобританию и Францию, вышел из строя (пожар), и импорт электроэнергии прекратился до марта 2022 г.⁵

Зима 2020–2021 гг. на территории Британских островов также выдалась

¹ PM: Glasgow Climate Pact keeps critical 1.5C global warming goal alive [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/news/pm-glasgow-climate-pact-keeps-critical-15c-global-warming-goal-alive> (дата обращения: 09.02.2023).

² What caused the UK's energy crisis? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theguardian.com/business/2021/sep/21/what-caused-the-uks-energy-crisis> (дата обращения: 09.02.2023).

³ Ежегодный правительственный отчет Digest of Energy Statistics, (DUKES) 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistics-dukes-2020> (дата обращения: 09.02.2023).

⁴ What caused the UK's energy crisis? 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theguardian.com/business/2021/sep/21/what-caused-the-uks-energy-crisis> (дата обращения: 09.02.2023).

⁵ Fire shuts one of UK's most important power cables in midst of supply crunch, 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theguardian.com/business/2021/sep/15/fire-shuts-one-of-uk-most-important-power-cables-in-midst-of-supply-crunch> (дата обращения: 09.02.2023).

довольно холодной, что выразилось в повышенном истощении собственных запасов сжиженного газа на хранилищах страны.

Стоит добавить, что события 2022 г., когда произошёл частичный разрыв рыночных отношений между Великобританией (как и Европой в целом) и Россией, повлекли за собой не меньшие последствия, нежели энергетический кризис. В поиске новых торговых партнёров в Великобритании ожидается изменение структуры потребляемого топлива для выработки электроэнергии [9].

Заключение

Анализ исторического развития энергетической отрасли и решений, принятых парламентом Великобритании в области экологической политики, позволяет определить, какие предпосылки лежали в основе необходимости пересмотра функционирования энергетики страны.

Установлено, что довольно протяжённое время, почти весь XX в., в энергетической отрасли Великобритании не происходило кардинальных изменений ни в технологическом смысле, ни с точки зрения потребляемого топлива. С момента ввода в эксплуатацию первых теплоэлектростанций структура потребления топлива оставалась неизменной – первую и основную позицию занимал каменный уголь (90–100%). Даже разработка нефтегазоносных бассейнов Северного моря в 1960–1970-х гг. не оказала существенного влияния на эту структуру.

Только приватизация энергетической отрасли и последующее усиленное использование технологии CCGT в 90-х гг. XX в. способствовало переходу на природный газ (в т. ч. импортный).

Участившиеся явные экологические проблемы, которые притягивали внимание общественности и предавались огласке СМИ во второй половине XX в., способствовали актуализации вопроса влияния энергетики на окружающую среду. В связи с чем существенно усилилась роль природоохранных организаций. Вопросы безопасности окружающей среды стали подниматься на уровне парламентских слушаний, а в законодательство для регулирования деятельности предприятий энергетики стали активно вноситься поправки и дополнения.

В сфере природоохранной политики на начальных этапах Великобритании шла несколько обособленным путём, что выражалось как в частичных принятиях соглашений международных конференций, так и в частичных отказах их ратифицировать. На современном этапе уже на законодательном уровне разработана система налогов для «грязных», старых, энергетических установок и льгот для развития альтернативных источников энергии. Более того, планируется окончательное прекращение государственной поддержки при добыче ископаемых видов топлива. Ближайшие задачи, которые ставит перед собой Британский парламент – добиться нулевых выбросов CO₂. Реализация этой задачи кажется вполне возможной – уровни выбросов CO₂ уже снижены на 50% по сравнению с 1990-м г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буранок С. О. План ГОЭЛРО в оценке прессы США и Великобритании 1920–1929 годов // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 1. С. 171–179.
2. Высторобец Е. А. Экологическое законодательство РФ, Великобритании, Канады и Нидерландов (сравнительно-правовой анализ): дис. ... канд. юрид. наук. М., 2003. 263 с.
3. Жигалин Т. А. Анализ политики консервативного правительства Маргарет Тетчер (1979–1990) (на основе англоязычных материалов) // Вестник научного общества студентов, аспирантов и молодых ученых. 2019. № 2. С. 58–72.
4. Козеняшева М. М., Голованова А. Е. Производство и потребление возобновляемых источников энергии стран ЕС (на примере Великобритании, Германии и Швеции) // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018 Т. 8. № 10А. С. 413–424.
5. Ковалев И. Г. Экономика и современное государственно-политическое устройство Великобритании. М.: Перо, 2011. 586 с.
6. Кривогуз М. И. Энергетика и экономический рост в промышленно развитых странах (на примере Великобритании): дис. ... канд. экон. наук. М., 2003. 187 с.
7. Ломакин В. К. Британия в мировой экономике. М.: Юнити-Дана, 2010. 407 с.
8. Матвеев А. К. Угольные бассейны и месторождения зарубежных стран. М.: Изд-во МГУ, 1979. 311 с.
9. Охошин О. В. Стратегия энергетической безопасности Великобритании // Научно-аналитический вестник ИЕ РАН. 2022. № 6. С. 97–105.
10. Сумин А. М. Энергетика как определяющий фактор энергетической политики и энергетической безопасности Великобритании // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 3. С. 1–32.
11. Webber C. The Evolution of the Gas Industry in the UK, the International Gas Union's Gas Market Integration Task Force, 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://members.igu.org/old/gas-knowhow/publications/igu-publications/mag/april10/pages%20198-220.pdf> (дата обращения: 03.04.2024).
12. Ramus A. C. The Large Combustion Plant Directive: An Analysis of European Environmental Policy. Oxford Institute for Energy Studies, 1991. 34 p.
13. Elliott D. Renewable Energy in the UK: Past, Present and Future (Energy, Climate and the Environment). Palgrave Macmillan, 2019. 322 p.
14. Baker F. Is the United Kingdom's hydrogen strategy an effective low carbon strategy? // International Journal of Energy Production and Management. 2022. Vol. 7. № 2. P. 164–175.
15. Clarke J. 20th Century Coal and Oil-Fired Electric Power Generation, Introductions to Heritage Assets, published by Historic England, 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/iha-20thcentury-coal-oil-fired-electric-power-generation/heag056-electric-power-generation-iha> (дата обращения: 03.04.2024).

REFERENCES

1. Buranok S. O. [GOELRO Plan in the assessment of the press of the USA and Great Britain 1920–1929]. In: *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara Scientific Bulletin], 2018, vol. 7, no. 1, pp. 171–179.
2. Vystorobets E. A. *Ekologicheskoye zakonodatelstvo RF, Velikobritanii, Kanady i Niderlandov (sravnitel'no-pravovoy analiz): dis. ... kand. yurid. nauk* [Environmental legislation of the Russian Federation, Great Britain, Canada and the Netherlands (comparative legal analysis): dis. ... cand. legal Sci.]. Moscow, 2003. 263 p.
3. Zhigalin T. A. Analysis of the policy of the Conservative government of Margaret Thatcher (1979–1990) (based on English-language materials). In: *Vestnik nauchnogo obshchestva stu-*

- dentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Bulletin of the scientific society of students, graduate students and young scientists], 2019, no. 2, pp. 58–72.
4. Kozenyasheva M. M., Golovanova A. E. [Production and consumption of renewable energy sources in EU countries (on the example of Great Britain, Germany and Sweden)]. In: *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: yesterday, today, tomorrow], 2018, vol. 8, no. 10A, pp. 413–424.
 5. Kovalev I. G. *Ekonomika i sovremennoye gosudarstvenno-politicheskoye ustroystvo Velikobritanii* [Economics and modern state-political structure of Great Britain]. Moscow, Pero Publ., 2011. 586 p.
 6. Krivoguz M. I. *Energetika i ekonomicheskyy rost v promyshlennom razvitiy SSHA (na primere Velikobritanii): dis. ... kand. ekon. nauk* [Energy and economic growth in industrialized countries (using the example of Great Britain): Dr. Sci. thesis in Economical sciences.] Moscow, 2003. 187 p.
 7. Lomakin V. K. *Britaniya v mirovoy ekonomike* [Britain in the world economy]. Moscow, Unity-Dana Publ., 2010. 407 p.
 8. Matveev A. K. *Ugolnyye basseyny i mestorozhdeniya zarubezhnykh stran* [Coal basins and deposits of foreign countries]. Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1979. 311 p.
 9. Okhoshin O. V. [Energy security strategy of Great Britain]. In: *Nauchno-analiticheskyy vestnik IYe RAN* [Scientific-analytical bulletin of the Institute of Energy of the Russian Academy of Sciences], 2022, no. 6, pp. 97–105.
 10. Sumin A. M. [Energy as a determining factor in energy policy and energy security of Great Britain]. In: *Aktualnyye problemy nefti i gaza* [Current problems of oil and gas], 2019, vol. 3, pp. 1–32.
 11. Webber C. *The Evolution of the Gas Industry in the UK, the International Gas Union's Gas Market Integration Task Force, 2010*. Abstract at: <http://members.igu.org/old/gas-knowhow/publications/igu-publications/mag/april10/pages%20198-220.pdf> (accessed: 03.04.2024).
 12. Ramus A. C. *The Large Combustion Plant Directive: An Analysis of European Environmental Policy*. Oxford Institute for Energy Studies, 1991. 34 p.
 13. Elliott D. *Renewable Energy in the UK: Past, Present and Future (Energy, Climate and the Environment)*. Palgrave Macmillan, 2019. 322 p.
 14. Baker F. Is the United Kingdom's hydrogen strategy an effective low carbon strategy? In: *International Journal of Energy Production and Management*, 2022, vol. 7, no 2, pp. 164–175.
 15. Clarke J. *20th Century Coal and Oil-Fired Electric Power Generation, Introductions to Heritage Assets, published by Historic England, 2015*. Abstract at: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/iha-20thcentury-coal-oil-fired-electric-power-generation/heag056-electric-power-generation-iha> (accessed: 03.04.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Булохов Антон Васильевич – научный сотрудник лаборатории физико-геологических исследований им. А. П. Лисицына Института океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук;
e-mail: vincenrmsne@rambler.ru

Романова Эмма Петровна – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: rom_ep@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton V. Bulokhov – Junior Scientist, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science;

e-mail: vincentrmsne@rambler.ru

Emma P. Romanova – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Physical Geography of the World and Geocology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

e-mail: rom_ep@rambler.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Булохов А. В., Романова Э. П. Энергетика Великобритании: экономические и политические решения на пути к нормализации экологической обстановки // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 86–105.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-86-105

FOR CITATION

Bulokhov A. V., Romanova E. P. UK energy: political and economic solutions on the way to normalization the ecological conditions. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 86–105.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-86-105

Научная статья

УДК: 911.9

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-106-119

РЕФОРМА СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЁРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тихий В. И.¹, Филатов А. Н.²

¹ Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95, Российская Федерация;
E-mail: tikhivi@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6666-588X

² Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95, Российская Федерация;
E-mail: anfilat1975@mail.ru

Поступила в редакцию 10.11.2023

После доработки 29.01.2024

Принята к публикации 09.02.2024

Аннотация

Цель. Оценка реализации реформы по обращению с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) в Российской Федерации (РФ) в целом и на уровне отдельно субъекта РФ – Орловской области.

Процедура и методы. Исследовательскими методами стали экономико-географический анализ логистических аспектов системы обращения с ТКО и изучение эффективности правовых норм, регулирующих данную систему.

Результаты. Доказана целесообразность актуализации федерального законодательства, классифицирующего отходы, и необходимость разработки и утверждения норм права, стимулирующих процессы сортировки и утилизации ТКО.

Теоретическая и/или практическая значимость. Раскрыт ряд проблем, снижающих эффективность реформирования системы обращения с ТКО на федеральном уровне. В частности, обращается внимание на необходимость юридически однозначных определений относимых к ТКО отходов в Федеральном классификационном каталоге отходов (ФККО). Указывается на потребность принятия норм законодательства, стимулирующих углубление сортировки ТКО и развитие утилизационных производств. Представлены конкретные предложения по логистической оптимизации территориальной схемы обращения с отходами на уровне отдельного региона (Орловской области).

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы (ТКО), реформирование системы обращения с ТКО, сортировка отходов, логистическая оптимизация, стимулирование переработки ТКО

Original Research Article

REFORM OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN THE RUSSIAN FEDERATION: GENERAL PROBLEMS OF IMPLEMENTATION AND ECONOMIC AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF THE ORYOL REGION

V. Tikhii¹, A. Filatov²

¹ Oryol State University,
ul. Komsomolskaya 95, Orel 302026, Russian Federation;
E-mail: tikhii@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-6666-588X

² Oryol State University,
ul. Komsomolskaya 95, Orel 302026, Russian Federation;
E-mail: anfilat1975@mail.ru

Received 10.11.2023

Revised 29.01.2024

Accepted 09.02.2024

Abstract

Aim. To assess the implementation of the reform of solid municipal waste management in the Russian Federation (RF) as a whole and at the level of a separate constituent entity of the Russian Federation – the Oryol region.

Procedure and methods. The research methods were the economic and geographical analysis of the logistical aspects of the MSW management system and the study of the effectiveness of the legal norms governing this system.

Results. Problems that reduce the effectiveness of reforming the MSW management system at the federal level have been studied.

Research implications. Disclosure of the main problems that reduce the effectiveness of reforming the MSW management system, and the development of proposals that can optimize this system at the level of a particular region. In particular, attention is drawn to the need for legally unambiguous definitions of waste classified as MSW in the Federal Classification Catalog of Waste (FKKO). The need to adopt legislative norms that stimulate the deepening of MSW sorting and the development of recycling industries is pointed out. Specific proposals for logistical optimization of the territorial waste management scheme at the level of a separate region (Oryol region) are presented.

Keywords: solid municipal waste (SMW), reforming the MSW management system, waste sorting, logistics optimization, stimulation of MSW recycling.

Введение

Реформирование системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) является одной из составляющих национального проекта «Экология». Исторически сложившаяся модель обращения с ТКО, предусматривающая захоронение на полигонах свыше 90% отходов, не отвечает совре-

менным экономическим и природоохранным стандартам [4; 7; 9]. В связи с этим целями реформы являются минимизация захоронения отходов и развитие отрасли по переработке утильных фракций ТКО. Достижение указанных целей требует анализа и решения ряда проблем, которые выявились в начальный период реформирования.

Анализ ситуации в системе обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) определил необходимость кардинальных изменений управленческих, экономических и экологических основ данной системы в Российской Федерации.

Успешный опыт развитых стран выявляет следующие тенденции в переработке ТКО [11; 14; 15]:

- максимальное первичное разделение ТКО потребителями товаров;
- сокращение доли ТКО, размещаемых на полигонах;
- внедрение «замкнутых» рециклинговых схем за счёт переработки утильных фракций в новые изделия;
- термическая утилизация «несортируемых» отходов с получением тепловой и электрической энергии;
- экологическое просвещение и воспитание, включающее систему мер от отдельных школьных дисциплин до высоких штрафов на нарушение норм обращения с ТКО.

В разработке своей стратегии реформирования системы обращения с ТКО Российская Федерация использовала отдельные элементы зарубежного опыта, учитывая при этом собственную социально-экономическую и культурную специфику [12].

В частности, стратегия не предполагает глубокую первичную сортировку ТКО населением – разделение отходов на утильные и «несортируемые» фракции должно, главным образом, обеспечиваться мусоросортировочными комплексами (МСК) [6]. Кроме того, сжигание части ТКО, широко распространённое в Швеции, Австрии, Японии, Дании, не принято в качестве приоритетной технологической схемы [3]. Строительство крупных мусоросжига-

тельных заводов пока не стало распространённой практикой за пределами столичного региона. Причина – крайне высокая стоимость данных заводов (до 15–20 млрд руб.) и ограниченные возможности рентабельного сбыта генерируемой тепловой и электрической энергии (в силу дешевизны традиционных энергоресурсов). Кроме того, анализ зарубежного опыта указывает на наличие негативного воздействия мусоросжигательных заводов на экосистемы и здоровье населения. Пиролиз полимерных фракций может сопровождаться образованием ряда токсичных соединений, среди которых наибольшую опасность представляют диоксины и фураны. На территориях, прилегающих к мусоросортировочным заводам, нередко отмечается повышение онкологической заболеваемости, увеличение частоты патологий, обусловленных нарушениями генома и подавлением иммунной системы [1; 2; 8; 9; 12].

Ориентирами российской стратегии, реализуемой с 2019 г., стали показатели, достижение которых планируется к 2030 г.¹:

- направление 100% ТКО на МСК;
- снижение доли размещаемых на полигонах отходов с 97% до 50%;
- переработка (утилизация) не менее 1/3 отходов в новые предметы потребления, тепловую и электрическую энергию;
- постепенное внедрение отдельного накопления отходов (РНО) гражданами.

Ключевыми, законодательно закреплёнными изменениями в системе обращения с ТКО стали:

¹ Паспорт федерального проекта «Комплексная система обращения с ТКО» [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3ApBZM> (дата обращения: 24.03.2023).

– разработка и утверждение субъектами Федерации территориальных схем, отражающих логистические, технологические и количественные параметры обращения с ТКО (размещение контейнерных площадок, маршруты мусоровозов, масса ТКО, пропорции сортировки и размещения на полигонах);

– введение института региональных операторов для централизации управленческих и платёжных процессов;

– принятие региональными органами государственной власти тарифов для региональных операторов (плата за 1м³ ТКО);

– определение нормативов накопления ТКО (объём ТКО, образуемых различными категориями лиц за год) и платы за услугу региональных операторов (путём умножения тарифа на норматив накопления);

– обязательность платежей региональным операторам для всех образателей ТКО.

Для содействия процессу реформирования системы обращения с ТКО и обеспечения координации с регионами в 2019 г. была создана публично-правовая компания «Российский экологический оператор» (ППК «РЭО»).

Реформирование системы обращения с ТКО предполагает вовлечение в данный процесс уполномоченных органов власти разных уровней, региональных операторов, хозяйствующих субъектов, обеспечивающих обращение с отходами, и общественности. В связи с тем, что реформа затрагивает экономические, правовые и природоохранные сферы жизни российского общества, процесс реформирования сопровождается активной нормотвор-

ческой деятельностью, публичной дискуссией и появлением аналитических материалов, подготовленных уполномоченными ведомствами и отдельными экспертами. Это позволило опираться на разнообразные источники информации при подготовке данной статьи.

Среди указанных источников особое значение имеет сайт Российского экологического оператора (ППК «РЭО»), содержащий правовые сведения, публикующий новости отрасли обращения с отходами и результаты мониторинга процесса реформирования. Для изучения отраслевой и региональной проблематики в сфере обращения с ТКО использовались материалы научно-практического журнала «ТБО» и связанного с ним интернет-портала¹.

Авторы статьи активно взаимодействовали с органом государственной исполнительной власти, обеспечивающим организацию процесса обращения с ТКО в Орловской области (Департаментом ЖКХ, ТЭК и энергосбережения Орловской области) и региональным оператором – ООО «УК “Зелёная Роща”». Это позволило лучше понять проблемы реформирования системы обращения с ТКО в конкретном регионе.

Проблемы новой системы обращения с ТКО

Уже в первом полугодии 2019 г. выявилась недостаточная проработанность конкретных механизмов реформирования. В частности, определив полномочия региональных операторов по сбору платежей, федеральный законодатель не представил им инстру-

¹ ТБО: Отраслевой ресурс. URL: <https://www.solidwaste.ru> (дата обращения 24.03.2023).

ментов для получения абонентской базы образователей ТКО – граждан и юридических лиц. В результате, региональные операторы, рискуя нарушить Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных», разными путями собирали базы данных у ресурсонабжающих организаций, управляющих компаний, налоговых органов. С учётом региональной специфики данные действия были в разной степени успешными и почти во всех субъектах вызвали недовольство населения, характеризующееся позицией «кто такие региональные операторы и как они получили наши персональные данные для начисления платы за мусор?». Недовольство усиливалось дополнительными факторами:

- в сравнении с дореформенным периодом «плата за мусор» выросла на 10–20%;

- значительная часть жителей частного сектора и сельских поселений не платила за обращение с ТКО, сжигая, компостируя отходы или формируя свалки. Данной категории граждан «плата за мусор» показалась «несправедливой».

Указанные проблемы привели к рискам банкротства региональных операторов в 20–25 субъектах Федерации. Неполная и некорректная абонентская база, и отказ части населения «платить за мусор» по соображениям «несправедливости» данной платы обусловили дефицитность бюджетов многих региональных операторов.

Другой проблемой стала недостаточная экономическая обоснованность тарифов региональных операторов, утверждаемых региональными органами государственной власти на основе анализа издержек всех стадий

обращения с ТКО. Указанная проблема не является уникальной – при утверждении тарифов на все коммунальные услуги идёт поиск «баланса» между экономическими реалиями и социально-политическими приоритетами. В ряде субъектов опасение вызвать недовольство населения привело к установлению тарифов, не позволяющим региональным операторам нормально финансировать деятельность по обращению с ТКО.

В частности, в 2019–2020 гг. в крайне сложном финансовом положении оказывались региональные операторы Вологодской, Новосибирской и Челябинской областей, республик Дагестан, Башкортостан, Чувашия. Только в 2020 г. Правительством РФ были выделены 8,9 млрд руб. на покрытие дефицита бюджета и ликвидацию кассовых разрывов 20 региональных операторов¹.

Определяя сферу полномочий региональных операторов, федеральный законодатель логично ограничил их компетенцию организацией обращения с ТКО. Однако классификацию отходов, утверждённую Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО), нельзя признать полностью подходящей для практической хозяйственной деятельности.

Блок ФККО, классифицирующий виды ТКО, помимо отходов из жилищ, включает такие отходы, как «мусор и смёт уличный», «отходы от уборки кладбищ, колумбариев», «растительные отходы при уходе за зелёными насаждениями». В связи с этим реги-

¹ В РЭО исключили системный риск банкротства мусорных операторов // РБК: [сайт]. URL: <https://www.rbc.ru/business/03/03/2021/603d32f89a794708bc168750> (дата обращения: 24.03.2023).

ональным операторам было непросто наладить логистику обращения со смётом, преимущественно состоящим из песка и частиц почвы и мусором с кладбищ, содержащим фрагменты памятников, мемориальные символы, венки. Указанные виды отходов практически не подлежат сортировке, а их сбор и вывоз требует использования специальной техники, а не типовых мусоровозов.

Наибольшая проблема обусловлена неоднозначностью интерпретации категории «растительные отходы при уходе за зелёными насаждениями». Практически во всех регионах возникли конфликты по вопросу наличия у региональных операторов обязательств по уборке с контейнерных площадок веток и стволов снесённых деревьев, ботвы. В ряде субъектов региональные операторы организуют вывоз данных отходов, но сформировалась и другая практика: растительные отходы вывозятся юридическими лицами, содержащими земельный участок, на котором расположена контейнерная площадка (управляющими компаниями, органами местной власти). В Самарской и Ульяновской областях региональных операторов обязали обеспечить вывоз растительных отходов судебными решениями. Сам факт рассмотрения в судах функциональных полномочий региональных операторов свидетельствует о существенных пробелах правового регулирования на федеральном уровне.

Неурегулированность этого вопроса отрицательно сказывается на облике контейнерных площадок (особенно частного сектора и сельских поселений) и дополняет негатива оценке «мусорной реформы».

Невозможность учесть при нормотворчестве все аспекты предстоящей хозяйственной деятельности – нормальное и объективное явление. Однако вызывает сожаление, что за 4 года реформирования системы обращения с отходами, несмотря на многочисленные сигналы от регионов, вопрос отнесения (или не отнесения) к ТКО стволов, веток и ботвы, фактически размещаемых на площадках, не получил решения. Письма Минприроды России, содержащие позицию данного министерства, не имеют статуса обязательного для исполнения правового акта¹.

Анализируя ход реформирования системы обращения с ТКО, можно отметить, что перспективы широкого внедрения сортировки отходов и значительного сокращения доли мусора, размещаемого на полигонах, были оценены чрезмерно оптимистично. Возможность эксплуатации полигонов, не внесённых в Государственный реестр объектов размещения отходов (по причинам неполного соответствия санитарно-экологическим нормам), была последовательно продлена Постановлениями Правительства РФ – сначала до 1 января 2023 г., затем до 1 января 2026 г. Это индикатор того, что во многих субъектах Федерации пока не удаётся обеспечить эффективную сортировку отходов и минимизировать объёмы остатков сортировки, подлежащих захоронению.

¹ Об отнесении образующихся в процессе содержания зеленых насаждений отходов к ТКО. Письмо Минприроды России от 21.07.2020 № 08-25-53/18336 // СПС Консультант Плюс: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133136/ (дата обращения: 24.03.2023).

Примечательно, что многие эффективные МСК, обеспечивающие отбор значительной массы вторичных материальных ресурсов (ВМР), производящие компост и RDF-топливо, столкнулись со сложностями реализации своей продукции. Перспективы существенного сокращения объёма захоронения отходов связывались именно с производством RDF-топлива (Refuse Derived Fuel), состоящего из измельчённых и прессованных частиц горючих компонентов ТКО (картон, текстиль, бумага, древесина, резина, кожа). Предполагалось что RDF-топливо может получить широкое распространение как технологическое топливо (в цементной и металлургической промышленности) и вспомогательное топливо для генерации электрической и тепловой энергии. Однако характерная для внутреннего рынка дешевизна природного газа не способствовала активному развитию рынка RDF-топлива.

В зависимости от рыночной конъюнктуры, спрос на данный вид топлива, утильные виды пластика и технический грунт (компост) меняется. Парадокс состоит в том, что увеличение глубины сортировки и обработки ТКО с неизбежным ростом переменных издержек, может не сопровождаться адекватным ростом выручки. Иногда предприятия, способствующие достижению целевых показателей реформы обращения с отходами, оказываются в проигрышном положении в сравнении с хозяйствующими субъектами, производящими захоронение отходов по утверждённому тарифу.

Данная ситуация подтверждает, что реформирование системы обращения с ТКО должно во многом осуществляться «с конца» экономико-техно-

логических цепочек. «Невидимая рука рынка» не всегда может обеспечить реализацию экологически благоприятного сценария.

Проблемы и перспективы реформирования системы обращения с ТКО в Орловской области

Отмеченные выше проблемы характерны и для Орловской области. Специфика субъекта заключается в том, что региональный оператор располагает средствами, собираемыми в рамках самого низкого в ЦФО тарифа – 506,5 руб./м³ ТКО. При этом удельные издержки хозяйствующих субъектов, обеспечивающих транспортирование, сортировку и захоронение отходов, не отличаются от издержек в других регионах (в силу сопоставимых цен на спецтехнику, запасные части, ГСМ, лизинговые услуги). В данных обстоятельствах предприятиям сложно не только аккумулировать инвестиционные средства для модернизации, но и обеспечивать текущий цикл работы.

Орловская область – один из немногих субъектов Федерации, обеспечивающих отправку 100% ТКО на МСК. Однако эффективность 4 действующих МСК различна: только комплекс АО «ЭкоСити» обеспечивает отбор 60% ТКО (с учётом селекции ВМР, производства RDF-топлива и компоста). 3 других МСК отбирают ВМР, масса которых не превышает 12–16% от массы поступивших ТКО, после чего 84–88% отходов отправляются на полигоны. При этом данные МСК, получая гарантированную тарифную составляющую за сам факт сортировки ТКО (от 568 до 798 руб./т), не планируют увеличить глубину обработки

отходов в условиях отмеченной выше непредсказуемости рынка ВМР и альтернативного топлива.

Приказ департамента строительства, ТЭК, ЖКХ, транспорта и дорожного хозяйства Орловской области от 16 сентября 2019 г. № 443 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Орловской области» учитывал сложившуюся в дореформенный период инфраструктуру – 4 МСК и 2 полигона. При этом в условиях отсутствия инвестиций в создание новых объектов обращения с ТКО и модернизацию действующих, указанный приказ утвердил логистическую схему с рядом нерациональных решений:

- наличие низкоэффективных МСК;
- протяжённые и затратные маршруты вывоза ТКО и остатков их сортировки;
- продолжение эксплуатации полигонов с малыми резервными мощностями.

Очевидно, что оптимальная территориальная схема должна строиться на основании экономико-географического анализа, базирующегося на «стандартных» теориях рационального размещения объектов.

Применительно к системе обращения с ТКО пространственное решение должно состоять в минимизации суммы тонно-километров оборота ТКО и остатков их сортировки. Фактически должен реализовываться «гравитационный» принцип: густонаселённые территории (основные продуценты отходов) «притягивают» МСК и полигоны. Разумеется, с учётом санитарно-экологических приоритетов данное

притяжение не может быть географически предельным.

Действующая территориальная схема Орловской области (рис. 1) характеризует территориальную организацию обращения с ТКО. Отходы, производимые в муниципальных образованиях, распределённых по 4 технологическим зонам, поступают на МСК, производящие извлечение утильных фракций. Остатки сортировки, не имеющие перспектив использования, направляются на полигоны для захоронения.

Данная схема имеет ряд нерациональных логистических решений. По причине закрытия в 2018 г. Орловского городского полигона остатки сортировки ТКО перевозятся с МСК АО «ЭкоСити» на полигон г. Мценска на расстояние свыше 50 км. С учётом того, что масса остатков сортировки достигает 60 тыс. т/год, формируются нерациональные издержки, включаемые в тариф регионального оператора и, в конечном счёте – в плату населения и юридических лиц.

Другой нерациональный аспект – функционирование не крупного и малоэффективного МСК ООО «Экоград», принимающего на сортировку минимальное количество ТКО (менее 3% регионального объёма) из малонаселённых административных районов запада Орловской области. При этом данному МСК установлен сравнительно высокий тариф на обработку 1 т ТКО (798 руб.) для компенсации постоянных издержек при минимальном обороте. Остатки сортировки с данного комплекса также вывозятся на полигон г. Мценска на расстояние свыше 50 км.

Для оптимизации системы обращения с ТКО в Орловской области целесообразно (рис. 2):

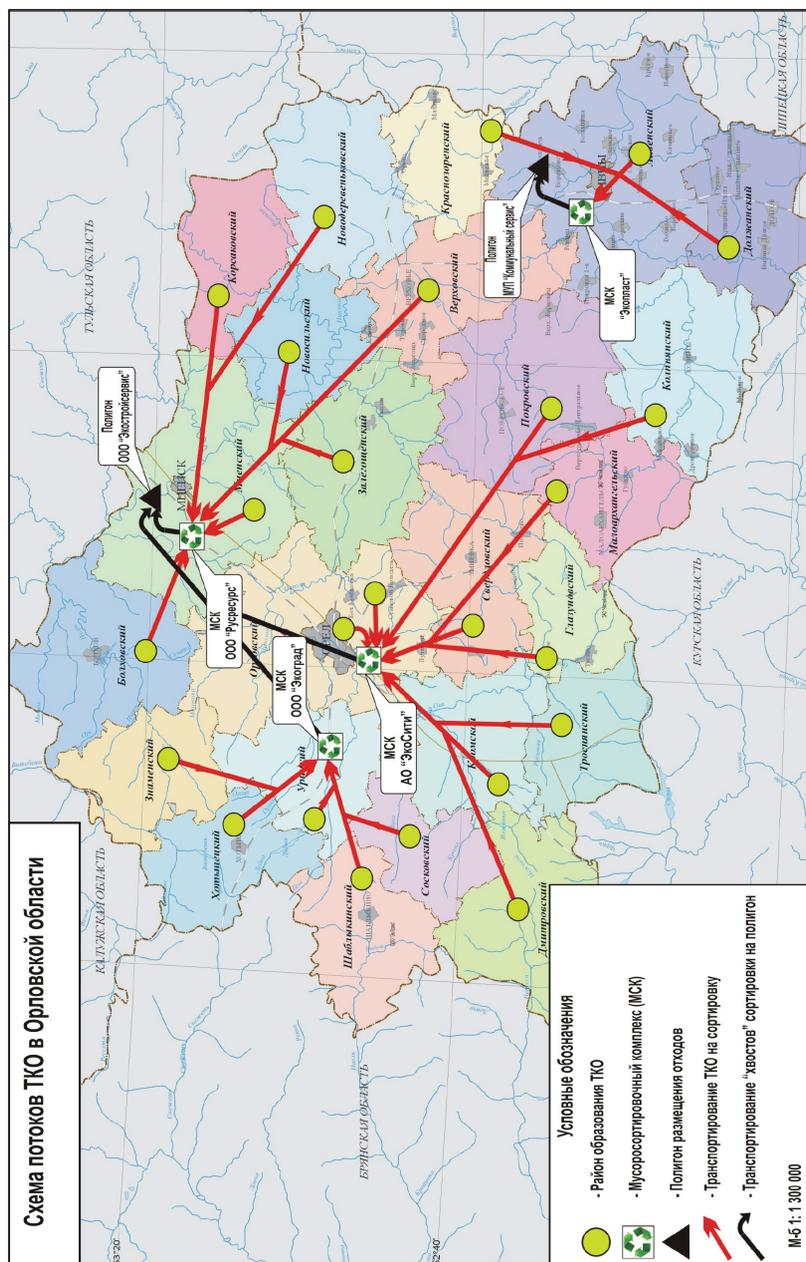


Рис. 1. / Fig. 1. Действующая схема потоков ТКО в Орловской области / The current scheme of MSW flows in the Oryol region.

Источники: составлено авторами по материалам территориальной схемы обращения с отходами Орловской области¹

¹ Приказ Департамента строительства, топливно-энергетического комплекса, жилищно-коммунального хозяйства, транспорта и дорожного хозяйства Орловской области «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Орловской области» [Электронный ресурс]. URL: <https://orel-region.ru/index.php?head=17&part=19&docid=14716> (дата обращения: 05.01.2024).

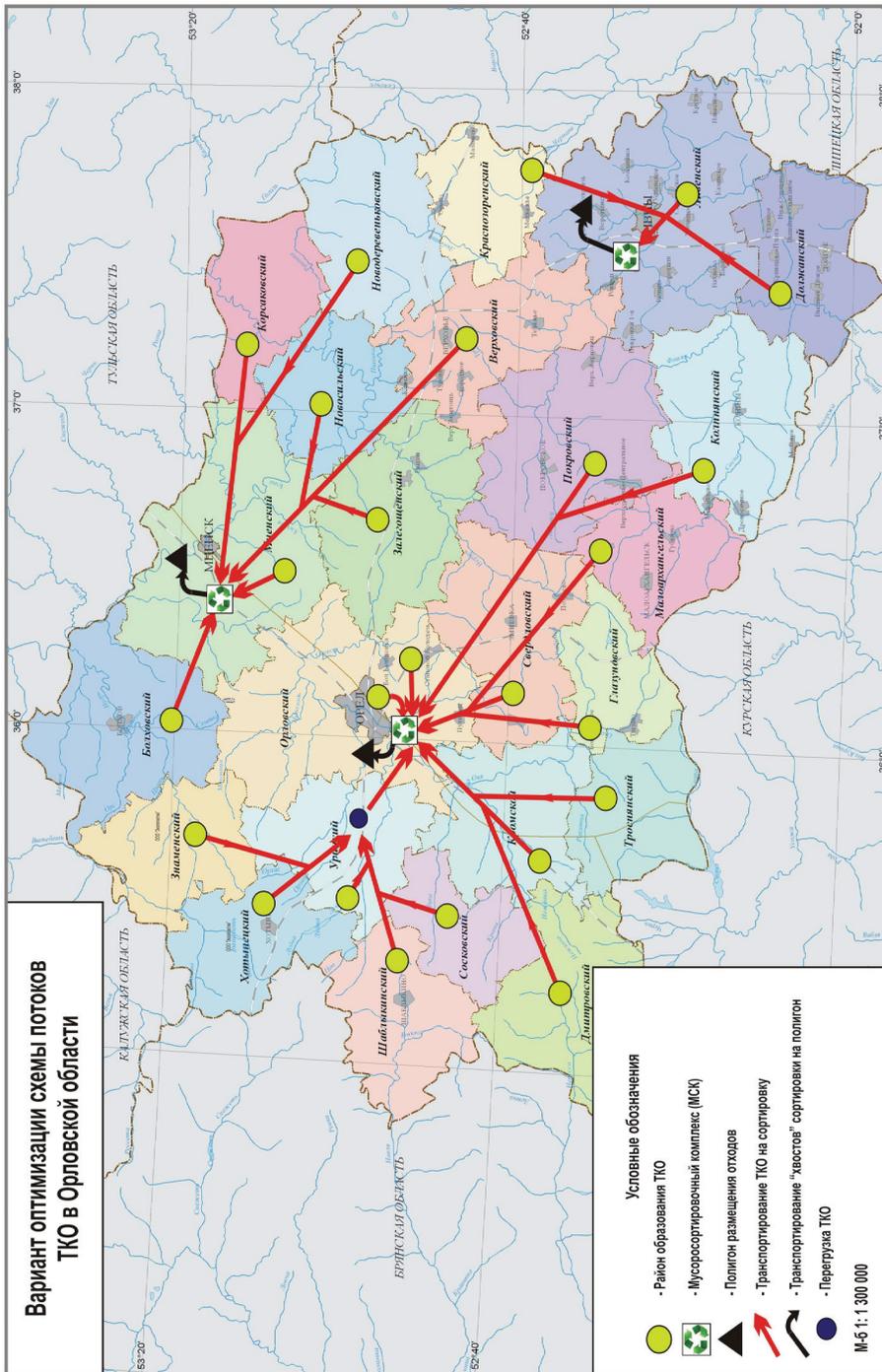


Рис. 2 / Fig. 2. Вариант оптимизации схемы потоков ТКО в Орловской области / Option for optimizing the scheme of MSW flows in the Oryol region. Источник: составлено авторами

– открыть на удалении 3–4 км от г. Орла (в Орловском муниципальном округе) новый полигон, отвечающий санитарно-экологическим требованиям. При этом необходимо руководствоваться гидрогеологическими изысканиями, которые позволят определить участки, в пределах которых изолирующие свойства пород и водный режим будут способствовать минимизации экологического ущерба. Подходы к подобным изысканиям представлены в ряде работ отечественных учёных [5; 10; 12; 13];

– направить на данный полигон остатки сортировки с МСК АО «ЭкоСити»;

– прекратить функционирование МСК «Экоград» с созданием на его месте перегрузочной площадки (для перегрузки ТКО с мусоровозов в крупные машины, характеризующиеся меньшими удельными издержками транспортировки);

– вывозить ТКО с перегрузочной площадки на МСК АО «ЭкоСити».

Оптимизация территориальной схемы (даже с учётом инвестиций в новый полигон) может стать фактором сдерживания роста тарифа на обращение с ТКО, что крайне важно в нынешних условиях.

Заключение

По итогам исследования установлено, что работа региональных операторов по обращению с ТКО затрудняется несовершенством федеральной нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы формирования абонентской базы и классификации отходов.

Повышение степени сортировки ТКО, процента отбора ВМР, объёмов производства RDF-топлива и компо-

ста не будет достигнуто без использования действенных инструментов правового и экономического стимулирования. В противном случае хозяйствующие субъекты не получают мотивацию нести дополнительные издержки, связанные с «углублением» процесса обработки отходов. Необходимо принять государственные меры, обеспечивающие спрос на ВМР и продукты их переработки. Таковыми могут являться:

– сниженные ставки налога на прибыль для предприятий, утилизирующих ВМР;

– преференции при государственных закупках для юридических лиц, использующих в производстве значимую долю ВМР;

– субсидии хозяйствующим субъектам, использующим альтернативное (RDF) топливо и технический грунт;

– создание региональных технопарков, реализующих полный цикл обращения с ТКО (сортировка, производство продукции из ВМР, термическая утилизация, выпуск альтернативного топлива, компоста, стройматериалов).

На уровне субъектов Федерации необходимо провести экономико-географический анализ рациональности территориальных схем обращения с ТКО. Руководствуясь целями минимизации транспортных издержек и природоохранными приоритетами, следует проанализировать сложившуюся инфраструктуру и логистические потоки. По итогам данного анализа целесообразно рассмотреть вопрос корректировки региональных территориальных схем обращения с ТКО.

Кроме того, с учётом опыта практической деятельности необходимо

внести изменения в Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» в части уточнения видов отходов, являющихся ТКО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анахов С. В., Пыкин Ю. А. Моделирование процессов плазменной инсenerации в технологии утилизации и обезвреживания отходов [Электронный ресурс] // Техносферная безопасность. 2019. № 1. URL: https://uigps.ru/userfiles/ufiles/nauka/journals/ttb/TB22_1/18.pdf (дата обращения 28.08.2023).
2. Диоксины: высокая экологическая опасность / В. Ю. Васенова, Ю. С. Бутов, Н. И. Измерова, Г. Д. Селицкий // Российский медицинский журнал. 2013. № 5. С. 47–49.
3. Ёлкина Л. Г., Вильданова Л. В. Управление обращением отходов: отечественный и зарубежный опыт [Электронный ресурс] // Национальная ассоциация ученых. 2022. № 75. URL: <https://archive.national-science.ru/index.php/nas/article/view/604> (дата обращения 24.03.2023).
4. Калюжина Е. А., Самарская Н. С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3 URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_47_kalugina.pdf_2486.pdf (дата обращения 24.03.2023).
5. Инженерно-геологическое районирование Центрального федерального округа России по условиям размещения предприятий и полигонов утилизации твёрдых бытовых отходов / И. В. Козлякова, И. А. Кожевникова, Н. Г. Анисимова, П. В. Иванов // Сергеевские чтения. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 20: Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии / отв. ред. В. И. Осипов. М.: РУДН, 2018. С. 74–77.
6. Латыпова М. В. Анализ развития системы обращения с твердыми коммунальными отходами в России: проблемы и перспективы с учетом европейского опыта // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2018. № 4. Т. 14. С. 741–758.
7. Мамин Р. Г. Инновационные механизмы управления отходами. М.: МГСУ, 2018. 530 с.
8. Марченко А. Н. Гигиенические аспекты обращения с отходами производства и потребления и сохранение здоровья населения региона // Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 141–146.
9. Осипов В. И. Управление твёрдыми коммунальными отходами как федеральный проект // Геоэкология. Инженерная геология, гидроэкология, геокриология. 2019. №3. С. 3–11.
10. Осипов В. И., Мамаев Ю. А., Козлякова И. В. Территориальное размещение полигонов твёрдых коммунальных отходов // Вестник Российской Академии наук. 2020. Т. 90. № 6. С. 560–566.
11. Пиняев В. Е., Чернышев Д. А. Регулирование деятельности по обращению с отходами – опыт Европейского Союза [Электронный ресурс] // Наукoведение: интернет-журнал. 2014. Вып. 4. <https://naukovedenie.ru/PDF/04EVN414.pdf> (дата обращения 24.03.2023).
12. Татаренко В. И., Петрова Н. В., Лоницкая Д. Н. Мусорная реформа: новые подходы к формированию и возникающие проблемы // Московский экономический журнал, 2020. № 6. С. 169–182.
13. Челядинова Е. Ю., Курбатова А. И. Современные подходы к проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 7. С. 35–38.

14. Шилкина С. В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России [Электронный ресурс] // Отходы и ресурсы: интернет-журнал. 2020. № 1. Т. 7. URL: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf> (дата обращения: 29.05.2023).
15. Gardiner R., Hajek P. Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus – A case of EU regions // Waste Management. 2020. Vol. 114. P. 124–135.

REFERENCES

1. Anakhov S. V., Pykin Yu. A. [Modeling of plasma incineration processes in waste disposal and disposal technology]. In: *Tekhnofernaya bezopasnost* [Technospheric safety], 2019, no. 1. Abstract at: https://uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/ttb/TB22_1/18.pdf (accessed: 28.08.2023).
2. Vasenova V. Yu., Butov Yu. S., Izmerova N. I., Selisky G. D. [Dioxins: high environmental hazard]. In: *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal], 2013, no. 5, pp. 47–49.
3. Yolkina L. G., Vildanova L. V. [Waste management: domestic and foreign experience]. In: *Natsionalnaya assotsiatsiya uchenykh* [National Association of Scientists], 2022, no. 75. Abstract at: <https://archive.national-science.ru/index.php/nas/article/view/604> (accessed: 28.08.2023).
4. Kalyuzhina E. A., Samarskaya N. S. [Ecological features of the impact of solid waste landfills on the state of the environment in the areas of their location]. In: *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2014, no. 3. Abstract at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_47_kalugina.pdf_2486.pdf (accessed: 28.08.2023).
5. Kozlyakova I. V., Kozhevnikova I. A., Anisimova N. G., Ivanov P. V. [Engineering-geological zoning of the Central Federal District of Russia according to the conditions of location of enterprises and landfills for recycling solid household waste]. In: Osipov V. I., red. *Sergeyevskiy chteniya. Vyp. 20: Obrashcheniye s otkhodami: zadachi geokologii i inzhenernoy geologii* [Sergeevskie readings. Vol. 20: Waste management: tasks of geoecology and engineering geology]. Moscow, RUDN Publ., 2018, pp. 74–77.
6. Latypova M. V. [Analysis of the development of the municipal solid waste management system in Russia: problems and prospects taking into account European experience]. In: *Natsionalnyye interesy: priority i bezopasnost* [National interests: priorities and safety], 2018, no. 4, vol. 14, pp. 741–758.
7. Mamin R. G. *Innovatsionnyye mekhanizmy upravleniya otkhodami* [Innovative waste management mechanisms]. Moscow, MGSU Publ., 2018. 530 p.
8. Marchenko A. N. [Hygienic aspects of handling production and consumption waste and preserving the health of the population of the region]. In: *Meditsina truda i ekologiya cheloveka* [Occupational Medicine and Human Ecology], 2015, no. 3, pp. 141–146.
9. Osipov V. I. [Management of municipal solid waste as a federal project]. In: *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidroekologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydroecology, geocryology], 2019, no. 3, pp. 3–11.
10. Osipov V. I., Mamaev Yu. A., Kozlyakova I. V. [Territorial location of solid municipal waste landfills]. In: *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2020, vol. 90, no. 6, pp. 560–566.
11. Pinyaev V. E., Chernyshev D. A. [Regulation of waste management activities – the experience of the European Union]. In: *Naukovedeniye: internet-zhurnal* [Science: online journal], 2014, vol. 4. Abstract at: <https://naukovedenie.ru/PDF/04EVN414.pdf> (accessed: 28.08.2023).
12. Tatarenko V. I., Petrova N. V., Lonitskaya D. N. Garbage reform: new approaches to formation and emerging problems. In: *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2020, no. 6, pp. 169–182.

13. Chelyadinova E. Yu., Kurbatova A. I. [Modern approaches to the design, operation and reclamation of solid municipal waste landfills]. In: *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International scientific research journal], 2018, no. 7, pp. 35–38.
14. Shilkina S. V. [Global trends in waste management and analysis of the situation in Russia]. In: [Waste and resources: online journal], 2020, no. 1, vol. 7. Abstract at: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf> (accessed: 28.08.2023).
15. Gardiner R., Hajek P. Municipal waste generation, R&D intensity, and economic growth nexus – A case of EU regions. In: *Waste Management*, 2020, vol. 114, pp. 124–135.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тихий Владимир Иванович – кандидат географических наук, заведующий кафедрой географии, экологии и общей биологии Института естественных наук и биотехнологии Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева;
e-mail: tikhiivi@yandex.ru

Филатов Александр Николаевич – кандидат географических наук, доцент кафедры географии, экологии и общей биологии Института естественных наук и биотехнологии Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева;
e-mail: anfilat1975@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir I. Tikhii – PhD (Geography), Assoc. Prof., Departmentally Head, Department of Geography, Ecology and General Biology, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Oryol State University named after I. S. Turgenev;
e-mail: tikhiivi@yandex.ru

Alexander N. Filatov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Geography, Ecology and General Biology, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Oryol State University named after I. S. Turgenev;
e-mail: anfilat1975@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Тихий В. И., Филатов А. Н. Реформа системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами в Российской Федерации: общие проблемы реализации и экономико-географический анализ на примере Орловской области // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 106–119.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-106-119

FOR CITATION

Tikhii V. I., Filatov A. N. Reform of the municipal solid waste management system in the Russian Federation: general problems of implementation and economic and geographical analysis on the example of the Oryol Region. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 106–119.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-106-119

ГЕОГРАФИЯ НАСЕЛЕНИЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 911

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-120-136

ДОМИНАНТА КОНФЕССИОНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА ФИНЛЯНДИИ: КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Балабейкина О. А.¹, Афанасьев Д. А.²

¹ Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191123, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30/32, Российская Федерация;
E-mail: olga8011@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-9520-8880

² Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
191123, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30/32, Российская Федерация;
E-mail: de.ph@yandex.ru; ORCID: 0009-0003-4176-180X

Поступила в редакцию 15.11.2023

После доработки 28.11.2023

Принята к публикации 26.01.2024

Аннотация

Цель. Представить комплексную характеристику Евангелическо-лютеранской церкви Финляндии (ЕЛЦФ), которая является доминантой конфессионального пространства страны. Один из смысловых акцентов – территориальная дифференциация показателей, отражающих структурные изменения в рассматриваемой религиозной организации на современном этапе.

Процедура и методы. Эмпирические данные были собраны на официальном интернет-сайте ЕЛЦФ, которая, будучи государственной структурой, в обязательном порядке осуществляет их учёт и опубликование в открытом доступе. Полученные количественные сведения были обработаны с помощью расчётного инструментария, традиционного для регионально-конфессиональных исследований.

Основными методами, используемыми в работе, выступили: картографический, описательный, математико-статистический. С целью выявления степени региональной дифференцированности изменений, которым подверглась доминанта конфессионального пространства Финляндии в последние десятилетия, применялся расчёт индекса Рябцева (он позволяет оценить отклонение соотношений фиксируемого фактического набора компонентов двух структур от максимально возможной величины расхождения). На основе полученных количественных данных сделаны выводы о характере существенных изменений внутри доминанты современного конфессионального пространства Финляндии.

© СС ВУ Балабейкина О. А., Афанасьев Д. А., 2024.

Обобщён статистический материал, который ранее в исследованиях по конфессиональной тематике не вовлекался.

Результаты. Отражены показатели отрицательной динамики численности прихожан Евангелическо-лютеранской церкви Финляндии в последние десятилетия. Подтверждается снижение степени активности их религиозно обусловленного поведения. Выявлена территориальная дифференциация в степени проявления активности мажоритарной религиозной организации.

Теоретическая и/или практическая значимость. Впервые представлена апробация институционально-территориального подхода к конфессиональным исследованиям применительно к доминанте религиозного пространства Финляндии. Полученные результаты могут быть задействованы на практике при выработке стратегии религиозно-государственных отношений на национальном и региональном уровнях. Особенно с учётом фиксируемого снижения доверия к мажоритарной религиозной организации России – Русской православной церкви.

Ключевые слова: геоконфессиональное пространство, диоцез, Евангелическо-Лютеранская Церковь Финляндии, епархии, церковный приход

Original Research Article

THE DOMINANT CONFESSIONAL SPACE IN FINLAND: A COMPREHENSIVE CHARACTERISTIC

O. Balabeykina¹, D. Afanasyev²

¹ Saint-Petersburg State University of Economics,
nab. kanala Griboyedova 30/32, St. Petersburg 191123, Russian Federation;
E-mail: olga8011@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-9520-8880

² Saint-Petersburg State University of Economics,
nab. kanala Griboyedova 30/32, St. Petersburg 191123, Russian Federation;
E-mail: de.ph@yandex.ru; ORCID: 0009-0003-4176-180X

Received 15.11.2023

Revised 28.11.2023

Accepted 26.01.2024

Abstract

Aim. Is to present a comprehensive characterisation of the Evangelical Lutheran Church of Finland (ELCF), which is the dominant confessional space of the country. One of the semantic emphases is the territorial differentiation of indicators reflecting structural changes in the religious organisation under consideration at the present stage.

Procedure and methods. The empirical data were collected on the official website of the ELCF, which, being a state structure, obligatorily records and publishes them in the public domain. The obtained quantitative data were processed with the help of calculation tools, traditional for regional-confessional studies.

The main methods used were cartographic, descriptive, and mathematical and statistical. In order to identify the degree of regional differentiation of the changes that the dominant of the confessional space of Finland has undergone in recent decades, the calculation of the Ryabtsev index was used (it allows us to estimate the deviation of the ratios of the fixed actual set of components of the two structures from the maximum possible amount of discrepancy).

On the basis of the quantitative data obtained, conclusions have been drawn about the nature of significant changes within the dominant character of the contemporary confessional space in Finland. The statistical material, which has not been previously involved in research on confessional topics, is generalised.

Results. The indicators of the negative dynamics of the number of parishioners of the Evangelical Lutheran Church of Finland in recent decades are reflected. A decrease in the degree of activity of their religiously conditioned behavior is confirmed. The territorial differentiation in the degree of manifestation of the activity of the majority religious organization is revealed.

Research implications. For the first time, the approbation of the institutional-territorial approach to confessional research in relation to the dominant religious space of Finland was presented. The results obtained can be used in practice in the development of a strategy for religious-state relations at the national and regional levels. Especially taking into account the recorded decrease in confidence in the majority religious organization of Russia - the Russian Orthodox Church.

Keywords: dioceses, Evangelical Lutheran Church of Finland, geo-confessional space, parishes

Введение

Актуальность обращения к вопросу, связанным с изучением географического пространства, остаётся высокой даже на фоне секулярных тенденций, особенно заметных среди населения европейских государств. Религии, исповедания которых придерживаются значительная доля населения стран или регионов, оказывают существенное влияние на культурную, социальную, экономическую составляющие их функционирования [9]. Такое может осуществляться посредством вероучительной доктрины, формируя ментальные установки, во многом определяющие модель демографического поведения людей, структуру потребления продуктов питания, способы проведения досуга и т. д.

Значимая роль в формировании социально-экономической составляющей функционирования регионов отводится и религиозным организациям. Современная практика зарубежных государств говорит об их весьма заметной просветительской, благотворительной, хозяйственной, культурной деятельности, ориентированной

не только на своих адептов, но и на самые разные группы населения, независимо от вероисповедания. В некоторых странах и регионах на официальном уровне за религиозными организациями сохраняется особый статус, наделяющий их полномочиями и обязанностями, дублирующими государственные функции.

В перечне таковых, наряду с Великобританией, Данией, Эстонией и др., значится Республика Финляндия. На фоне действующего закона, позволяющего гражданам страны сохранять религиозную индифферентность или иметь принадлежность к любой зарегистрированной религиозной организации, две из них – национальная Евангелическо-лютеранская церковь (ЕЛЦФ) и Финская православная церковь в силу исторических факторов наделены особым статусом, хотя представлены последователями вероучения в очень разных долях.

Лютеранство в государстве лидирует по численности адептов и духовенства, количеству объектов культовой-культурной инфраструктуры, степени выраженности проявлений деятель-

ности в сфере социальной ответственности. При этом выступающая как доминанта конфессионального пространства страны ЕЛЦФ в динамике последних десятилетий утрачивает свои позиции. Происходящие в её структуре процессы, характерные в целом для всех стран Северной Европы и отражающие секулярные тенденции в обществе, требуют пристального рассмотрения и научного осмысления на основе актуальных данных.

Цель данного исследования – представить комплексную характеристику мажоритарной религиозной организации Финляндии, в качестве которой выступает национальная Евангелическо-лютеранская церковь.

Эмпирическую основу работы составили статистические сведения, широко представленные на официальном сайте ЕЛЦФ¹. Особый статус религиозной организации предопределяет их опубликование в открытом доступе. Ценно то, что количественные данные, отражающие численность и долю адептов представлены в динамике более 30 последних лет. Приходы ЕЛЦФ, кроме расположенных в крупнейших городах, большей частью совпадают в границах с муниципалитетами, поэтому ещё одним источником исходной информации послужил официальный статистический портал Финляндской Республики².

Полученные сведения были обработаны с помощью картографического метода, анализа и синтеза, а также научного инструментария, принятого

в регионально-конфессиональных исследованиях. В частности, для выявления структурных сдвигов внутри ЕЛЦФ использовался расчёт индекса Рябцева.

Раскрытие заявленной темы требует обращения к работам узкотематической направленности и разного охвата объектно-предметного содержания. Во-первых, это труды, в которых уделяется внимание понятию «геоконфессиональное пространство» и рассматриваются проявления его функционирования на примере отдельных стран и регионов. К таковым относятся работы С. А. Горохова [4], В. С. Дементьева [6], А. Г. Манакова [10; 11], С. Г. Сафронова [13] и др.

Поскольку заявленная цель исследования – представление комплексной характеристики доминанты конфессионального пространства, что подразумевает разные аспекты, то обязательно обращение к содержанию трудов, где отражаются проявления религиозной принадлежности населения в экономике [5], в социальных и политических процессах [16; 19; 20].

В силу общности институционально-организационной и цивилизационной основы геоконфессионального пространства теоретически значимыми являются результаты научных работ, где полигоном тематического исследования выбраны страны с христианской мажоритарной религиозной организацией [2; 15].

Не обойтись и без имеющегося эмпирического опыта, отражённого в трудах, посвящённых непосредственно религиям Финляндии. Объектно-предметная сосредоточенность на ЕЛЦФ как доминанте конфессионального пространства Финляндии была

¹ Evangelisk-Luterska kyrkan i Finland [Электронный ресурс]. URL: <https://evl.fi/sv/> (дата обращения: 22.10.2023).

² Statistikcentralen [Электронный ресурс]. URL: https://www2.stat.fi/index_sv.html (дата обращения: 22.10.2023).

объективирована в исследование отечественными специалистами несколько лет назад [1]. Но сведения относятся к периодам, ограниченным 2015 г., а перечень методов исследования конфессионального геопространства, результативность которых позволяет объективно судить о процессах, происходящих в его пределах, в содержании весьма ограничен.

Прочие исследования посвящены узким вопросам, связанным с деятельностью ЕЛЦФ [8; 12] или историей её становления [3; 7]. Трудов комплексного характера, основанных на институционально-территориальном подходе, среди них не обнаруживается.

Конфессиональное пространство страны – целостная система, поэтому, имея объектно-предметную сосредоточенность на его доминанте, важно обращаться к фактическим сведениям, отражённым в научных работах, тематика которых связана с прочими его компонентами, например, исламом [14; 18].

На основе анализа содержания тематических работ можно констатировать, что в отечественном научном обороте представлены труды, предметно и содержательно отражающие характеристики ЕЛЦФ. Но в силу динамичности процессов, отражающих изменения, происходящие в структуре конфессионального пространства Финляндии, сохраняется актуальность исследований, выполненных на основе новейших данных.

Лютеранство в Финляндии: краткая ретроспектива

Лютеранство как христианская конфессия, вероисповедания которой стало придерживаться население Фин-

ляндии, укоренилось посредством общереформационных процессов начала XVI в., активно проходивших в Северной Европе.

На фоне политической окраски, приданной Реформации, например, в Англии, Королевство Швеция приняло новые церковно-реформационные идеи с высокой степенью доктринально-идеологической осознанности [3, с. 17–18]. Финляндия на тот момент была частью Шведского королевства, и, имея прямую хозяйственную, политическую, культурную зависимость от него, воспринимала прямое влияние трансформаций и в церковной жизни. Начало распространению реформационной вероучительной доктрины христианства среди финнов было положено в 1520 г., а в 1527 г. Швеция первой в мире объявила лютеранство государственной религией.

На заседании Упсальского синода 1536 г. решением было принято обязательное распространение в Швеции и Финляндии лютеранских богослужебных книг. Реформация на территории Суоми была в целом воспринята без особого сопротивления, что обусловлено рядом социокультурных и экономических причин. Исключение составляет недолгий период контрреформации конца XVI в., но слабая попытка возродить латинскую религиозную традицию не увенчалась успехом.

Будучи в своей основе епископальной, лютеранская церковь сохранила структуру территориального деления, оставшуюся в наследство от католичества. Пределы Римско-католической епархии Финляндии с центром в Турку совпадали с границами её в составе Швеции. К началу XVI в. это были следующие территории: Финляндия (фин.

Varsinais Suomi), Сатакунда, Нюланд, Тавастланд, Западные Карелия и Саво-лак, Аландские острова [1, с. 151].

В 1554 г. последовали первые изменения и в церковно-административном делении: ставшая лютеранской, но до этого времени единая епископия Финляндии была разделена на 2 с центрами в Турку и Выборге, но с подчинением их глав архиепископу Уппсалы и шведскому монарху. Новая учреждённая епархия существенно уступала древней по площади и числу приходов (24 и 78 соответственно).

В условиях клерикального государства, когда членство в национальной Евангелическо-лютеранской церкви было обязательным, принадлежность к приходам была (и остаётся) территориально детерминированной, а документация, подтверждающая акты гражданского состояния, осуществлялась низовыми структурами религиозной организации. Соответственно, число приходов национальной ЕЛЦФ постепенно возрастало вместе с заселением территории и увеличением численности населения. Так, на начало XVIII в. в пределах Финляндии числилось 350 лютеранских приходов, а спустя почти 100 лет – уже 503 [1, с. 153].

Включение Великого княжества Финляндского в состав Российской империи не повлекло за собой коренных трансформаций в структуре конфессионального пространства его территории. Лютеранство так и оставалось ведущей христианской конфессией для коренного населения. Попыток директивного насаждения православия российскими императорами не предпринималось.

Впервые в истории Финляндия стала суверенным государством в конце

1917 г., и одним из способов манифестации нового статуса стали изменения в религиозной сфере. Этот период ознаменован фактами диверсификации культово-культурных объектов: православные храмы переоборудовались и передавались лютеранским приходам, либо закрывались для использования зданий по иному назначению.

Наиболее существенные изменения в религиозной жизни Финляндии, закреплённые уже на правовом уровне, связаны с принятием в 1923 г. закона о свободе совести, действующим до сих пор. Тогда граждане Финляндии получили легитимную возможность не только выхода из членства ЕЛЦФ, но и право не состоять ни в одной из религиозных организаций в принципе. Вопреки возможным ожиданиям, нововведения не повлияли на ослабление позиций лютеранства.

В 1923 г. последовала и реорганизация территориально-административного деления ЕЛЦФ в пользу разукрупнения его региональных единиц. К началу XX вв. лютеранские приходы Финляндии объединялись в 3 епархии с центрами в Турку, Порвоо (епископия была переведена туда в 1723 г. из Выборга, ставшего российским) и Куопио (епископия была учреждена в 1851 г.).

В ходе преобразований из состава Порвоо была выделена епархия Тампере. По сей день особенностью первой из названных епархий остаётся её экстерриториальность. В подчинении епископу Порвоо пребывают не финноязычные лютеранские приходы страны. Они распространены дисперсно, но имеют концентрацию вдоль побережий Финского и Ботнического заливов, а также на Аландских островах.

В 1923 г. получила основание самая северная и крупная по площади епархия ЕЛЦФ – Оулу, образованная путём перенесения епископской кафедры из Куопио. А самостоятельный диоцез Куопио был выделен в 1939 г. До советско-финляндской войны восстановили и историческую Выборгскую епархию ЕЛЦФ.

Очередные изменения церковно-административного деления последовали после окончания Второй мировой войны. Из оказавшегося на территории СССР Выборга центр епархии перенесли в приграничный финский город Миккели. Уже во второй половине 1950-х гг. были выделены диоцезы Лапуа и Хельсинки, а в 2004 г. – Эспоо. На окончание 2023 г. ЕЛЦФ в церковно-административном плане состоит из 9 епархий. При этом центральная архиепископия с епископской кафедрой в Турку с 1998 г. в своём составе имеет викариатство. Глава архиепархии Турку осуществляет представительские, надзорные и руководящие функции в ЕЛЦФ.

Евангелическо-лютеранская церковь Финляндии: современное состояние

Республика Финляндия является одной из стран Северной Европы, где национальная лютеранская церковь сохранила особый правовой статус, хотя её связи с государством к рубежу I и II тысячелетий существенно ослабли. Эти же процессы с некоторыми нюансами наблюдаются в Норвегии и Швеции применительно к их национальным лютеранским Церквам. По сути, ЕЛЦФ является государственной организацией, которой делегированы функции регистрации брака, вменён в обязанность

уход за кладбищенскими территориями, предоставляются некоторые привилегии в сфере школьного образования.

Членство в национальной лютеранской церкви регистрируется на добровольной основе и влечёт за собой для её адепта выполнение обязательств по содержанию религиозной организации. Таковые реализуются путём целевых налоговых отчислений с полученных доходов. Ставка церковного налога варьируется в пределах 1–2% в зависимости от прихода. Лица, переехавшие на проживание за границу, как правило, не перечисляют денежные средства в пользу ЕЛЦФ, за исключением случаев, когда они продолжают получать доходы в Финляндии. В первый год членства в религиозной организации церковный налог не взимается. С дохода среднего уровня годовая сумма отчисления в пользу ЕЛЦФ составляет 356 евро, а с одного адепта в среднем она составляет 247 евро (по данным на 2021 г.)¹.

В начале 2023 г. 3,6 млн граждан Финляндии были зарегистрированы в качестве членов ЕЛЦФ, что составляет 65,1% от численности населения страны и позволяет религиозной организации оставаться доминирующей². Для сравнения приводятся данные, отражающие положение конфессиональной доминанты Финляндии в ретроспективе: в 1950 г. в ней состояло 97,5% населения; в 1980 г. – 90,3%; в 1990 г. – 87,9%; в 2000 г. – 85,0; в 2010 г. – 78,2%.

¹ Evangelisk-Luterska kyrkan i Finland [Электронный ресурс]. URL: <https://evl.fi/sv/fakta-om-kyrkan/kyrkan-i-siffror/kyrkans-ekonomi/kyrkoskatt/> (дата обращения: 22.10.2023).

² Evangelisk-Luterska kyrkan i Finland [Электронный ресурс]. URL: <https://evl.fi/sv/fakta-om-kyrkan/kyrkan-i-siffror/kyrkans-statistik/> (дата обращения: 22.10.2023).

В динамике последних десятилетий значение этого показателя в абсолютном и относительном выражении снижается особенно существенно (табл. 1, рис. 1).

Помимо абсолютного числа адептов ЕЛЦФ в целом по стране и на уровне отдельных диоцезов, в приведённой ниже таблице по результатам авторских расчётов зафиксирована также доля членов рассматриваемой религиозной организации в структуре населения на 2000 г. и 2022 г., полученная для всех диоцезов, кроме Порвоо, в силу его специфики.

На основании полученных данных в относительных величинах были выяв-

лены объёмы потерь членов ЕЛЦФ, составившие за 22 года XXI в. почти 20%.

При том, что на региональном уровне численные сокращения последователей ЕЛЦФ касаются всех епископий, фиксируется некоторая дифференциация. Епархия Хельсинки, как и приграничная Эспоо, отличались наименьшей, хоть в целом высокой долей лютеран в структуре населения, ещё по данным на самое начало XXI в. Этим же церковным структурам коснулись и максимальные потери адептов ЕЛЦФ, выраженные в относительном значении. Столичный диоцез единственный, где доля лютеран менее половины в структуре населения.

Таблица 1 / Table 1

Численность прихожан по ЕЛЦФ и ее отдельным епископиям, тыс. чел. (2000–2023 гг.) / Number of parishioners in the ELCF and its individual bishoprics, thousand pers. (2000–2023)

Епископия	2000 г. / доля членов ЕЛЦФ в общей чис- ленности населения, %	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2022 г. / доля членов ЕЛЦФ от общей численности населения, %	2023 г.	Изменения, доля членов ЕЛЦФ от общей численности населения, % (2000–2022)
Порвоо	267,9/нет данных	263,0	255,6	242,8	227,2	221,0/нет данных	219,3	-
Эспоо	410,6/78,8	429,3	426,8	413,7	392,3	382,1/56,9	380,2	-21,8
Хельсинки	555,5/68,3	546,5	520,2	499,2	474,9	455,0/45,6	452,2	-22,7
Куопио	449,6/86,2	432,7	407,0	381,2	350,8	338,1/70,1	334,6	-16,1
Лапуа	468,4/87,7	465,3	451,4	431,8	404,6	392,1/71,6	389,1	-16,2
Миккели	596,2/87,7	577,7	539,8	498,2	448,9	428,6/69,1	423,7	-18,6
Оулу	562,6/89,0	560,5	545,2	525,8	498,6	485,3/73,5	482,2	-15,4
Тампере	525,2/85,0	529,9	518,6	497,6	473,2	461,4/65,8	460,1	-19,2
Турку	568,8/84,9	560,9	535,8	508,7	472,8	456,9/66,2	453,8	-18,7
Всего	4405/85,0	4366	4200	3999	3743	3620/65,1	3595	-19,9

Источник: составлено авторами на основе данных Ev. Luth. Kyrkan i Finland / Kyrkans statistik [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=186> (дата обращения: 22.10.2023); Statistikcentralen [Электронный ресурс]. URL: https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/sv/StatFin/StatFin__vaerak/statfin_vaerak_pxt_11ra.px/table/tableViewLayout1/ (дата обращения: 22.10.2023)

Диоцезы Евангелическо-лютеранской церкви Финляндии (2022 г.)

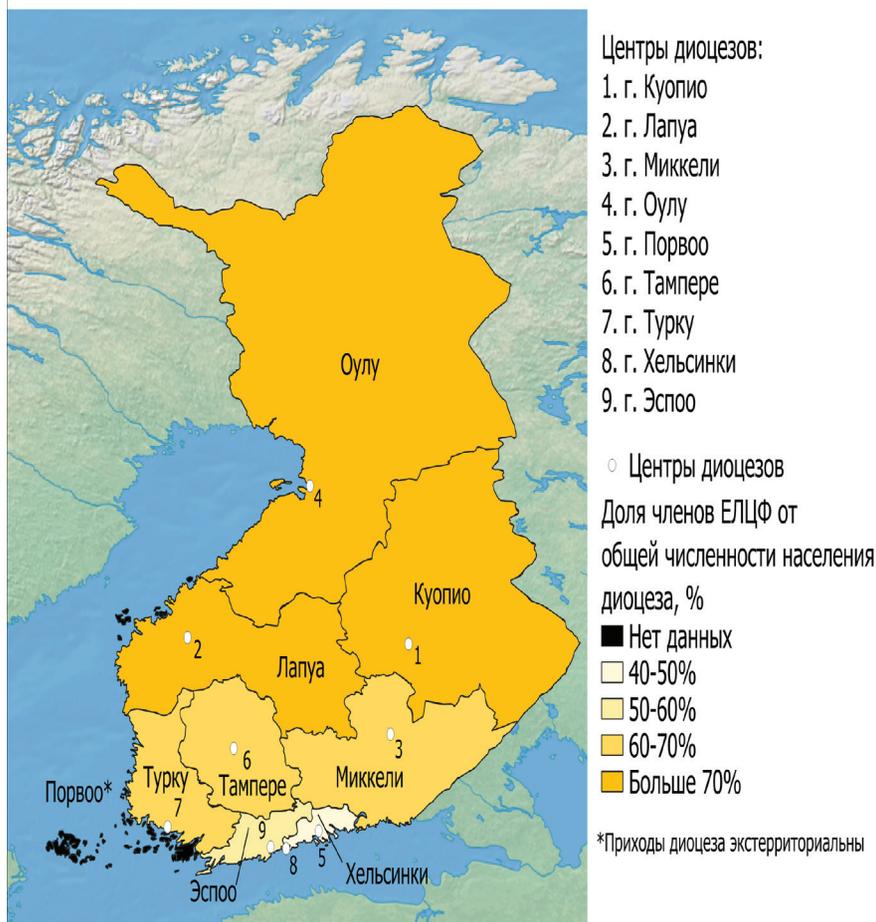


Рис. 1 / Fig. 1. Диоцезы Евангелическо-лютеранской церкви Финляндии в 2022 г. / Dioceses of the Evangelical Lutheran Church of Finland in 2022

Источник: составлено авторами на основе таблицы 1

Объяснение находится в высокой доле мигрантов – носителей нетрадиционных для коренного населения Финляндии религиозных культур, характерной для столичного региона и крупных городов.

Сокращение числа прихожан и снижение степени отражается на церковно-административном делении. В ЕЛЦФ, как и во всех епископальных религиозных организациях, оно ие-

рархично. Помимо региональных – епископий (епархий, диоцезов), оно представлено пробствами (пресвитериями) и церковными приходами (таксоны районного и локального уровней соответственно).

Приходы, где и сосредоточена культурная, богослужбная и социальная деятельность религиозной организации, могут быть автономными или при определенных условиях образовывать

союзы. В зависимости от количества зарегистрированных прихожан они подразделяются на малые (до 5 тыс.), средние (5–15 тыс.) и крупные (более 15 тыс.). Более всего прихожан сосредотачивают в себе последние (табл. 2).

Имеющиеся за последние 5 лет данные позволяют проследить слабую

тенденцию уменьшения количества крупных и малых приходов в пользу средних (табл. 3). Общее число приходов ЕЛЦФ по данным на начало 2023 г. составляет 354¹.

¹ Evangelisk-Luterska kyrkan i Finland [Электронный ресурс]. URL: <https://evl.fi/sv/> (дата обращения 22.10.2023).

Таблица 2 / Table 2

Совокупность прихожан в разных типах приходов ЕЛЦФ, чел. / Aggregate parishioners in different types of ELCF parishes, pers.

Год	Малые (<5000 чел.)	Средние (5001–15000 чел.)	Крупные (>15000 чел.)
2018	397374	1286527	2126449
2019	388394	1295342	2108568
2020	371841	1286275	2085667
2021	387670	1340204	1962124
2022	373021	1301310	1946308

Источник: Ev. Luth. Kyrkan i Finland / Kyrkans statistik [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/> (дата обращения: 22.10.2023)

Таблица 3 / Table 3

Число приходов ЕЛЦФ (2002–2022 гг.) / Number of ELCF parishes (2002–2022)

Диоцез	2002	2007	2012	2016	2022	Изменения за 2002–2022 гг., число / доля, %
Порвоо	81	75	64	56	45	36/44
Эспоо	24	24	24	19	19	5/20
Хельсинки	39	39	33	33	29	10/25
Куопио	68	59	54	52	44	24/35
Лупуа	64	56	47	45	36	28/43
Миккели	63	54	50	39	36	27/42
Оулу	79	63	60	60	62	17/21
Тампере	74	61	55	48	37	37/50
Турку	94	83	61	56	46	48/51
Всего в стране	586	514	448	408	354	232/39

Источник: составлено авторами на основе данных Statistikcentralen [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=27> (дата обращения: 22.10.2023)

В целом, за последние 20 лет ЕЛЦФ утратила 232 прихода, что составляет 39% от их общего количества по данным на 2002 г. Низовые единицы рассматриваемой религиозной организации ликвидировались как таковые, либо объединялись с приграничными приходами. Расположенные на территории приходов храмы в последнем случае продолжают функционировать по назначению, но подчиняются другой местной церковной администрации. Этим отчасти объясняется асимметрия данных, поскольку на первый взгляд представляется, что темпы закрытия приходов в 2 раза опережают динамику сокращения прихожан.

Факт преобразований в ЕЛЦФ в последние годы очевиден. Но понять, насколько существенно их проявление в территориальном разрезе, помогает применение научного инструментария.

Для определения степени проявления структурных изменений внутри ЕЛЦФ за 22 года XXI в. был выполнен расчёт индекса Рябцева, числовое значение которого отражает, насколько сильно произошедшие преобразования различаются между сопоставляемыми структурами (в данном случае – диоцезах ЕЛЦФ) за период:

$$I_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_2 - d_1)^2}{\sum_{i=1}^n (d_2 + d_1)^2}} \quad (1)$$

где:

d_1 и d_2 – значения признаков (удельных весов признаков) в двух сопоставляемых структурах;

i 1,2,3... n – число градаций в структурах.

Чаще всего этот индекс применяется в исследованиях, требующих выявления степени структурных изменений в какой-либо отрасли экономики. Но и в сфере изучения функционирования социальных институтов тоже был апробирован. Область допустимых значений индекса Рябцева колеблется от 0 до 1 и очень просто интерпретируется (максимальное результирующее значение говорит о самых крупных структурных сдвигах) (табл. 4).

Выраженные в абсолютных и относительных данных количественные потери адептов ЕЛЦД за начало XXI в. представляются довольно существенными. Но следует отметить, что они проявляются равномерно, территориальная дифференциация невысокая. Это подтверждается результирующим значением индекса Рябцева – 0,038. Но общую и для прочих стран Северной Европы отрицательную динамику числа прихожан ЕЛЦФ в XXI в. отрицать не приходится [17].

Помимо количественных показателей, отражающих в динамике количество адептов и приходов ЕЛЦФ, об изменениях, происходящих в ней, свидетельствуют и проявления религиозно обусловленного поведения прихожан. В первую очередь, речь идёт об участии в религиозных обрядах, сакраменталиях и таинствах, сопровождающих рождение, брак, смерть, т. е. о крещении, венчании, церковном отпевании. Сведения о числе таковых, совершаемых за год, представлены на официальном сайте ЕЛЦФ за период 2012–2022 гг. (табл. 5).

В рассматриваемый 10-летний период фиксируется резкое, более чем в 2 раза, сокращение количества крещений и церковных браков, хотя послед-

Таблица 4 / Table 4

Структурные изменения в ЕЛЦФ (2000 – начало 2023 г.) по результатам расчёта индекса Рябцева / Structural changes in the ELCF (2000 – early 2023) based on the results of the Ryabtsev index calculation

Епархия	Число прихожан в епархиях, % от общего количества по стране		$(d_2 - d_1)^2$	$(d_2 + d_1)^2$	Индекс Рябцева
	2000	2023	1	2	
Порвоо	6,08	6,10	0,00	148,39	0,038
Эспоо	9,32	10,58	1,57	395,88	
Хельсинки	12,61	12,58	0,00	634,45	
Куопио	10,21	9,31	0,81	380,77	
Лапуа	10,63	10,82	0,04	460,43	
Миккели	13,54	11,79	3,06	641,14	
Оулу	12,77	13,41	0,41	685,67	
Тампере	11,92	12,80	0,76	611,11	
Турку	12,91	12,62	0,08	652,06	
Всего	100	100	6,74	4609,91	

Источник: составлено авторами на основе данных Ev. Luth. Kyrkan i Finland / Kyrkans statistik [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=239> (дата обращения: 22.10.2023)

Таблица 5 / Table 5

Религиозные обряды, сакраменталии и таинства в ЕЛЦФ, 2012–2022 гг. / Religious rites, sacramentals and ordinances in the ELCF, 2012–2022

Религиозный обряд, кол-во	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Крещение	44024	42629	40758	39007	36691	25558	23159	22588	20986	23197	21893
Отпевание	47707	47954	48713	49040	47416	39927	41066	43751	44831	46052	51746
Венчание	14425	12160	11632	11412	10895	7700	7417	6714	6151	5574	6615

Источник: Ev. Luth. Kyrkan i Finland / Kyrkans statistik [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=27> (дата обращения: 22.10.2023)

ние в Финляндии легитимны. К тому же для членов ЕЛЦФ все обряды и таинства совершаются безвозмездно. Очевидно проявление секуляризации в современном обществе.

Возросшее число церковных отпеваний отражает половозрастную структуру населения Финляндии, в которой высока доля пожилых людей,

а они в большей степени склонны придерживаться религиозных традиций. К тому же ЕЛЦФ несёт ответственность за кладбищенские территории, содержание которым обеспечивается за счёт целевых налоговых средств, поэтому ею предоставляются участки под захоронения своих адептов.

Отдельный интерес представляет анализ данных, отражающих число конфирмаций. Участниками этого обрядово-культурного действия могут быть лица, достигшие подросткового возраста, т. к. его суть – подтверждение осознанного исповедания вероучения. Конфирмации предшествует подго-

товка в виде краткого курса обучения доктринальным основам лютеранства. Данные по количеству конфирмационных групп имеются в открытом доступе за ограниченный период (до 2016 г.), а затем на официальном сайте ЕЛЦФ декларируется количество конфирмантов (табл. 6).

Таблица 6 / Table 6

Конфирмации в ЕЛЦФ, 2002–2022 гг. / Confirmations to the ELCF, 2002–2022

Диоцез	Группы для конфирмации, шт.				Конфирманты, чел.					
	2002	2007	2012	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Порвоо	164	172	168	156	2939	2745	2920	2728	2708	2837
Эспоо	220	272	259	260	6161	6147	6341	5994	6354	6230
Хельсинки	234	280	252	237	5281	5326	5514	5116	5672	5286
Куопио	254	252	221	218	4381	4323	4402	4057	4101	3979
Лупуа	242	261	244	246	5175	4948	5409	4865	5754	5347
Миккели	217	220	217	208	4012	3981	5578	5084	5406	5333
Оулу	300	309	287	277	6907	7017	7375	7150	7356	7442
Тампере	317	357	348	337	7529	7504	6357	6159	6367	6361
Турку	303	317	300	287	6021	5890	5994	5730	5866	5683
Всего	2251	2440	2296	2226	48406	47881	49890	46883	49584	48498

Источник: Ev. Luth. Kyrkan i Finland / Kyrkans statistik [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirkontilastot.fi/viz.php?id=27> (дата обращения: 22.10.2023)

В целом, количество конфирмуемых стабильно, что подтверждает сохранение культурообразующей роли ЕЛЦФ для населения.

Ведение религиозной организацией статистического учёта демографических событий имеет и утилитарную сторону. Лица, у которых члены семьи имели или сохраняют регистрацию в любой из двух государственных Церквей, имеют право заказать выдачу подтверждающих документов с целью создания семейной родословной, предоставления по наследственному делу и т. д. Осуществляется эта услуга на приходах.

Помимо общих сведений о конкретном человеке, по запросу собирается и указывается информация о его перемещениях между приходами, выездами за пределы Финляндии на длительные сроки, супругах, детях и родителях.

На возмездной основе ЕЛЦФ обладает правом выдавать членам приходов документы о регистрации по адресу проживания (10 евро); выписки из регистра крещений, свидетельства о рождении на нескольких языках и свидетельства о браке (по 20 евро)¹.

¹ Evangelisk-Luterska kyrkan i Finland [Электронный ресурс]. URL: <https://evl.fi/sv/onlinetjanster/bestall-ambetsbevis/avgifter-for-ambetsbevis/> (дата обращения: 22.10.2023).

На фоне общего возросшего интереса к составлению семейной родословной возможности, предоставляемые церковной статистикой Финляндии, где, в отличие от России, она имеет высокую степень сохранности, очень ценны.

Заключение

На сегодняшний день Евангелическая церковь Финляндии, несмотря на фиксируемую отрицательную динамику численности её адептов, количества церковно-административных единиц низового уровня и проявлений религиозно-обусловленного поведения, сохраняет статус мажоритарной религиозной организации. Но, если наметившиеся тенденции сохранятся и ЕЛЦФ утратит свои позиции доминанты, в обозримой перспективе изменения в конфессиональном пространстве можно будет назвать трансформационными. Первыми их проявлениями фиксируются низкие значения доли членов рассматриваемой религиозной организации в столичном диоцезе Хельсинки (менее половины) и примыкающем к нему пристольном Эспоо (чуть более половины).

Очевидно, что наибольшую роль как причины структурных изменений конфессионального пространства страны играют миграционные и секуляризационные процессы, поскольку в удалённых от центра регионах приверженность ЕЛЦФ сохраняется высокой. Столица и наиболее крупные города традиционно, в первую очередь, притягивают мигрантов – носителей ислама и отличных от лютеранства христианских конфессий.

На данный момент ещё не идёт речь об утрате культурообразующей роли национальной лютеранской Церкви Финляндии. Уровень её поддержки государством и населением высок, как и социальная значимость, определяемая, помимо прочего, делегированными официальной властью функциями.

Но результаты анализа актуальных статистических данных, отражающих функционирование ЕЛЦФ, не дают оснований для позитивных прогнозов относительно дальнейших изменений, ожидающих доминанту конфессионального пространства Финляндии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балабейкина О. А., Мартынов В. Л. Лютеранство в Финляндии: историческая география и современность // Балтийский регион. 2015. № 4. С. 150–161. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-4-9
2. Балабейкина О. А., Баранов Д. В., Янковская А. А. Римско-католическая церковь Чили: комплексная характеристика мажоритарной религиозной организации // Латинская Америка. 2023. № 2. С. 72–82. DOI: 10.31857/S0044748X0022951-5
3. Белокоз Е. Р., Павлова О. К. Реформация в Финляндии. Некоторые аспекты истории // Россия в глобальном мире. 2020. № 16–17. С. 16–30.
4. Горохов С. А., Дмитриев Р. В., Захаров И. А. Роль религиозной конверсии в трансформации глобального геопространства христианства // География в школе. 2020. № 4. С. 3–11.
5. Гравчикова А. А. Влияние религиозного разнообразия населения на социально-экономические показатели регионов Российской Федерации // Регионоведение. 2022. Т. 30. № 1. С. 55–75. DOI: 10.15507/2413-1407.118.030.202201.055-075
6. Дементьев В. С., Кроток Р. Н. Территориальное устройство Русской Православной Церкви в России в постсоветский период // Псковский регионалогический журнал. 2022. Т. 18. № 3. С. 56–70. DOI: 10.37490/8221979310021062-1

7. Исаев С. А. Реформация в Европе: разновидности реформационных движений // Петербургский исторический журнал. 2018. № 2. С. 97–122. DOI: 10.51255/2311-603X-2018-00029
8. Калинина Т. М. Финское религиозное образование: становление и развитие // Ежегодная богословская конференция Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета. 2022. № 32. С. 105–108.
9. Максимцев И. А., Межевич И. А., Разумовский В. М. Зарубежное регионоведение: вопросы теории и информационного обеспечения // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 5–1. С. 7–14.
10. Манаков А. Г., Суворков П. Э. Сдвиги в конфессиональном пространстве России в XVIII–начале XX в.: историко-географический анализ // Известия Русского географического общества. 2018. Т. 150. № 2. С. 3–15.
11. Манаков А. Г. Трансформация территориальной структуры конфессионального пространства России в XX–начале XXI в. // Географический вестник. 2019. № 2. С. 13–24. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-13-24
12. Пихкала Ю. Евангелическо-лютеранская Церковь Финляндии и ее экуменические отношения // Религия. Церковь. Общество. Исследования и публикации по теологии и религии. 2014. № 3. С. 374–382.
13. Сафронов С. Г. Территориальная структура и динамика современного конфессионального пространства России // Региональные исследования. 2013. № 4. С. 87–100.
14. Соколова Ф. Х., Шаврина М. С. Исламские диаспоры в Финляндии: динамика развития, процессы этнической самоорганизации и интеграции // Ислам в современном мире: внутрисударственный и международно-политический аспекты. 2018. Т. 14. № 2. С. 111–126.
15. Степанова Е. А. Секулярность в социально-культурном контексте: пример Дании // Вестник Санкт-Петербургского университета. Философия и конфликтология. 2019. Т. 35. Вып. 1. С. 209–221. DOI: 10.21638/spbu17.2019.117
16. Талалаева Е. Ю., Пронина Т. С. Этноконфессиональные иммигрантские гетто как проблема национальной безопасности в современном общественно-политическом дискурсе Дании // Балтийский регион. 2020. Т. 12. № 3. С. 55–71. DOI: 10.5922/2079-8555-2020-3-4
17. Трофимов С. В. Светское общество: мажоритарная религия в меньшинстве // Социология религии в обществе позднего модерна. 2019. Т. 8. С. 69–76.
18. Шкваров А. Г. Евреи и мусульмане в русской армии и флоте в Великом Княжестве Финляндском в XIX в. // Санкт-Петербург и страны Северной Европы. 2016. № 17. С. 23–29.
19. Kettell S. Social Capital and Religion in the United Kingdom // Faith-Based Organizations and Social Welfare. 2019. P. 185–203.
20. Peri R. N. Religion and fertility in Western Europe: trends across cohorts in Britain, France and the Netherlands // European Journal of population. 2016. № 2. P. 231–265.

REFERENCES

1. Balabeykina O. A., Martynov V. L. [Lutheranism in Finland: historical geography and modernity]. In: *Baltiyskiy region* [Baltic region], 2015, no. 4, pp. 150–161. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-4-9
2. Balabeykina O. A., Baranov D. V., Yankovskaya A. A. [The Roman Catholic Church of Chile: a comprehensive description of the majority religious organization]. In: *Latinskaya Amerika* [Latin America], 2023, no. 2, pp. 72–82. DOI: 10.31857/S0044748X0022951-5
3. Belokoz E. R., Pavlova O. K. [Reformation in Finland. Some aspects of history]. In: *Rossiya v globalnom mire* [Russia in the global world], 2020, no. 16–17, pp. 16–30.

4. Gorokhov S. A., Dmitriev R. V., Zakharov I. A. [The role of religious conversion in the transformation of the global geospace of Christianity]. In: *Geografiya v shkole* [Geography at school], 2020, no. 4, pp. 3–11.
5. Gravchikova A. A. [The influence of the religious diversity of the population on the socio-economic indicators of the regions of the Russian Federation]. In: *Regionologiya* [Regionology], 2022, vol. 30, no. 1, pp. 55–75. DOI: 10.15507/2413-1407.118.030.202201.055-075
6. Dementyev V. S., Krotok R. N. [Territorial structure of the Russian Orthodox Church in Russia in the post-Soviet period]. In: *Pskovskiy regionologicheskiy zhurnal* [Pskov Regionalological Journal], 2022, vol. 18, no. 3, pp. 56–70. DOI: 10.37490/8221979310021062-1
7. Isaev S. A. [Reformation in Europe: varieties of reform movements]. In: *Peterburgskiy istoricheskiy zhurnal* [St. Petersburg Historical Journal], 2018, no. 2, pp. 97–122. DOI: 10.51255/2311-603X-2018-00029
8. Kalinina T. M. [Finnish religious education: formation and development]. In: *Yezhegodnaya bogoslovskaya konferentsiya Pravoslavnogo Svyato-Tikhonovskogo gumanitarnogo universiteta* [Annual theological conference of the Orthodox St. Tikhon's Humanitarian University], 2022, no. 32, pp. 105–108.
9. Maksimtsev I. A., Mezhevich I. A., Razumovsky V. M. [Foreign regional studies: questions of theory and information support]. In: *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [News of the St. Petersburg State Economic University], 2019, no. 5–1, pp. 7–14.
10. Manakov A. G., Suvorkov P. E. [Shifts in the confessional space of Russia in the 18th – early 20th centuries: historical and geographical analysis]. In: *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [News of the Russian Geographical Society], 2018, vol. 150, no. 2, pp. 3–15.
11. Manakov A. G. [Transformation of the territorial structure of the confessional space of Russia in the 20th – early 21st centuries]. In: *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2019, no. 2, pp. 13–24. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-13-24
12. Pihkala J. [Evangelical Lutheran Church of Finland and its ecumenical relations]. In: *Religiya. Tserkov'. Obshchestvo. Issledovaniya i publikatsii po teologii i religii* [Religion. Church. Society. Research and publications on theology and religion], 2014, no. 3, pp. 374–382.
13. Safronov S. G. [Territorial structure and dynamics of the modern confessional space of Russia]. In: *Regionalnyye issledovaniya* [Regional studies], 2013, no. 4, pp. 87–100.
14. Sokolova F. Kh., Shavrina M. S. [Islamic diasporas in Finland: dynamics of development, processes of ethnic self-organization and integration]. In: *Islam v sovremennom mire: vnutrigosudarstvennyy i mezhdunarodno-politicheskiy aspekty* [Islam in the modern world: domestic and international political aspects], 2018, vol. 14, no. 2, pp. 111–126.
15. Stepanova E. A. [Secularity in the socio-cultural context: the example of Denmark]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Filosofiya i konfliktologiya* [Bulletin of St. Petersburg University. Philosophy and conflictology], 2019, vol. 35, iss. 1, pp. 209–221. DOI: 10.21638/spbu17.2019.117
16. Talalaeva E. Yu., Pronina T. S. [Ethno-confessional immigrant ghettos as a problem of national security in the modern socio-political discourse of Denmark]. In: *Baltiyskiy region* [Baltic region], 2020, vol. 12, no. 3, pp. 55–71.
17. Trofimov S. V. [Secular society: majoritarian religion in the minority]. In: *Sotsiologiya religii v obshchestve pozdnego moderna* [Sociology of religion in late modern society], 2019, vol. 8, pp. 69–76. DOI: 10.5922/2079-8555-2020-3-4
18. Shkvarov A. G. [Jews and Muslims in the Russian army and navy in the Grand Duchy of Finland in the 19th century]. In: *Sankt-Peterburg i strany Severnoy Yevropy* [St. Petersburg and Northern European countries], 2016, no. 17, pp. 23–29.

19. Kettell S. Social Capital and Religion in the United Kingdom. In: *Faith-Based Organizations and Social Welfare*, 2019, pp. 185–203.
 20. Peri R. N. Religion and fertility in Western Europe: trends across cohorts in Britain, France and the Netherlands. In: *European Journal of population*, 2016, no. 2, pp. 231–265.
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Балабейкина Ольга Александровна – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры региональной экономики и природопользования гуманитарного факультета Санкт-Петербургского государственного экономического университета;
e-mail: olga8011@yandex.ru

Афанасьев Денис Александрович – студент бакалавриата кафедры региональной экономики и природопользования гуманитарного факультета Санкт-Петербургского государственного экономического университета;
e-mail: de.ph@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Balabeykina – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Regional Economics and Nature Management, Faculty of Humanities, St. Petersburg State University of Economics;
e-mail: olga8011@yandex.ru

Denis A. Afanasyev – Bachelor's degree student, Department of Regional Economics and Nature Management, Faculty of Humanities, St. Petersburg State University of Economics;
e-mail: de.ph@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Балабейкина О. А., Афанасьев Д. А. Доминанта конфессионального пространства Финляндии: комплексная характеристика // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 120–136.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-120-136

FOR CITATION

Balabeikina O. A., Afanasyev D. A. The dominant confessional space in Finland: a comprehensive characteristic. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 120–136.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-120-136

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ И ТУРИЗМ

Научная статья

УДК 911.7

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-137-153

СВЯЩЕННЫЕ МЕСТА КАК ПАМЯТНИКИ НАСЛЕДИЯ И ОБЪЕКТЫ ТУРИЗМА: ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Григорьев Ал. А.

*Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена,
191186, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48, Российская Федерация;*

E-mail: aleksey.megalit@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8187-9851

Поступила в редакцию 12.09.2023

После доработки 22.01.2024

Принята к публикации 09.02.2024

Аннотация

Цель. Исследование священных мест как географических образований и как объектов наследия и туризма, разработка их классификации, изучение возникновения рассматриваемых объектов и трансформации.

Процедура и методы. Материалами исследования послужили полевые экспедиции автора и анализ данных других специалистов и путешественников. Основным методом исследования – систематизация данных, результатом которой явилась классификация священных мест, их частичное картографирование. Сравнительный метод позволил выявить связь объектов древнего ориентирования и священных мест, а также их трансформацию.

Результаты. Предлагается определение священных мест (почитаемых мест, святынь), подчёркивается роль духовной составляющей при их выделении. Выполнена классификация почитаемых мест, выделены религиозные (святые) места и священные места культуры. Все почитаемые места разделены на природные и природно-рукотворные (в которых доминирующая рукотворная часть неотрывна от природной, от места, на котором она возникла). По значимости, известности – на локальные, региональные, национальные и наконец, всемирные. Различаются также молодые и древние святыни. Определено, что с течением времени происходит трансформация древних священных мест. Новые священные места чаще всего возникают на месте старых, причём последние иногда целиком разрушаются.

Теоретическая и/или практическая значимость. Выполнена системная оценка священных мест. Показано, что большинство священных мест становится таковыми после того, как

они начинают использоваться для ориентирования в пространстве и во времени как необходимого условия для безопасной жизнедеятельности.

Ключевые слова: природные, природно-рукотворные святыни, священные места, трансформация, ориентирование, наследие, туризм

Original Research Article

SACRED PLACES AS HERITAGE MONUMENTS AND OBJECTS OF TOURISM: GEOGRAPHICAL ASPECTS

Al. Grigoriev

*Herzen State Pedagogical University of Russia,
nab. reki Moiki, 48, St. Petersburg 191186, Russian Federation;
E-mail: aleksey.megalit@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8187-9851*

Received 12.09.2023

Revised 22.01.2024

Accepted 09.02.2024

Abstract

Aim. The study of sacred sites as geographical formations, the development of their classification, to study the emergence of the sites in question and their transformation, the study of heritage and tourism objects.

Procedure and methods. The research materials were field expeditions of the author and data analysis of other specialists and travelers. The main method of research is the systematization of data, which resulted in the classification of sacred sites, their partial mapping. The comparative method made it possible to identify the connection between objects of ancient orientation and sacred sites, as well as their transformation.

Results. The definition of sacred places (also revered places, shrines) is proposed, the role of the spiritual component in their allocation is emphasized. The classification of revered places has been carried out, religious (holy) places and sacred places of culture have been identified. All revered places are also divided into natural and natural-man-made (in which the dominant man-made part is inseparable from the natural, from the place where it originated). Local, regional, national, and finally world-wide are distinguished by their significance and fame among the sacred places. Young and ancient shrines also differ. The appearance of sacred places took place in notable (non-ordinary) places. It was they who became landmarks, without which safe life was impossible. It is shown that the transformation of ancient sacred places took place over time. New sacred places most often arose in place of the old ones, and the latter were sometimes completely destroyed and sometimes not inherited.

Research implications. A systematic assessment of sacred sites has been carried out. It is shown that the majority of sacred sites become sacred after they are used to orientate in space and time as a prerequisite for safe living.

Keywords: natural, man-made shrines, sacred places, transformation, orientation, heritage, tourism

Введение

Согласно существующим философским представлениям под понятием «священное», а также «святое и сакральное» (к которым относятся рассматриваемые места), обычно подразумевается объект исключительной значимости и непреходящей ценности [3; 11; 13; 14]. Подчеркнём, речь идёт не об объектах, а именно о местах, включающих или не включающих рукотворные объекты, т. е. о географических феноменах с обязательной природной основой, священных, почитаемых местах или святынях. Главное в таких местах не эстетическая, не хозяйствен-

ная, не какая-либо другая ценность, а духовная составляющая (рис. 1). Причём далеко не всегда религиозная. Такие места объединяют людей духовно.

Среди многих высказываний-размышлений на эту тему особенно точно определение И. Гете: «Что свято? – То, что связует много душ». С этим согласен и Г. Гегель¹. Именно поэтому священные места не ограничиваются только всем известными и широко распространёнными религиозными феноменами. Об этом свидетельствует и банк данных особых мест, собранный автором, в т. ч. и по территории России (рис. 2, табл. 1).



Рис.1 / Fig. 1. Храм Покрова на Нерли на небольшом возвышении, незатопляемом паводком. Владимирская область / The Church of the Intercession on the Nerl is on a small hill, not flooded by flood. Vladimir region

Источник: Викимедиа: [сайт]. URL: <https://avatars.mds.yandex.net/i?id=2a0000018ead6b1aeb458de20912220af00d-1524622-fast-images&n=13> (дата обращения: 10.09.2023)

¹ Гегель Г. В. Ф. Собрание сочинений в 4 т. Т. 3: Эстетика / под ред. М. Лифшица., М.: Искусство, 1971. 340 с.

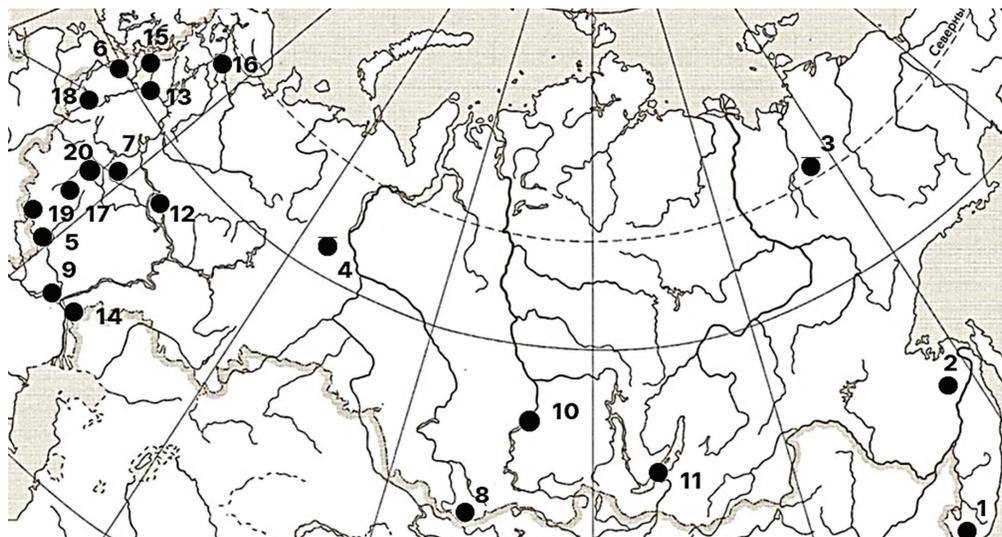


Рис. 2/ Fig. 2. Избранные священные места на территории России. Номера соответствуют названиям их местоположений (табл. 1) / Selected sacred places on the territory of Russia. The numbers correspond to the names of their locations (Table 1).

Источник: составлено автором

Таблица 1/ Table 1

Избранные священные места на территории России / Selected sacred places on the territory of Russia

№	Топоним	Геопространство	Координаты	Вид святыни	Гос. охрана
1	Пидан	гора, хребет Сихотэ-Алинь, Приморский край.	43°04' с. ш. 132°41' в. д.	древняя святыня (мегалиты)	нет охраны
2	Амурские столбы	хребет Сихотэ-Алинь. Хабаровский край	51° 04' с. ш. 138°10' в. д.	древняя святыня (мегалиты)	памятник природы
3	Кисиях	возвышенность, хребет Черского	67° 56' с. ш. 135°09' в. д.	св. религ. место (мегалиты)	памятник природы
4	Маньпупунёр	платообразная возвышенность, Республика Коми	62° 15' с. ш. 59° 17' в. д.	св. религ. место (мегалиты)	геол. памятник, часть заповедника
5	Дивногорье	платообразная возвышенность, Воронеж. обл.	50 58' с. ш. 39° 18' в. д.	св. религ. место, др. святилище	музей-заповедник
6	Петербург	Приневская низина, Ленинградская обл.	59° 57' с. ш. 30° 19' в. д.	св. место культуры	сосредоточие охр. пам., объект ЮНЕСКО
7	Москва	Московско-Окская равнина и Смоленско-Московская возвышенность	55° 45' с. ш. 37°37' в. д.	св. место культуры	сосредоточие охр. пам., объект ЮНЕСКО

№	Топоним	Геопространство	Координаты	Вид святыни	Гос. охрана
8	Уюк	Плоскогорье, Алтай, Республика Алтай	49° 18' с. ш. 87° 35' в. д.	св. место культуры и религии	природный парк, объект ЮНЕСКО
9	Волгоград (Сталинград)	Приволжская возвышенность и Сарпинская низменность, Волгоградская обл.	48°42' с. ш. 44° 30' в. д.	св. место культуры	сосредоточие охраняемых памятников
10	Красноярские столбы	Восточные Саяны, окраина г. Красноярск	55° 43' с. ш. 92° 46' в. д.	св. религ. место, др. святилище	нац. парк, объект ЮНЕСКО
11	Байкал	котловина между Лено-Ангарским плато и Забайкальскими хребтами	53° 13' с. ш. 107°45' в. д.	св. место культуры и религии	частичная охр., объект ЮНЕСКО
12	Светлояр	Волго-Ветлужская низменность, Нижегородская обл.	56 °49' с. ш. 45° 05' в. д.	св. место культуры и религии	памятник природы
13	Ладожское озеро	южная окраина возвышенности Балтийского щита	60° 50' с. ш. 31° 33' в. д.	св. место культуры	частичная охрана
14	Богдо	гора, Прикаспийская низменность, Астраханская обл.	48° 08' с. ш. 46° 49' в. д.	религиозное св. место	памятник природы, заповедник
15	Валаам	острова, Ладожское озеро, Республика Карелия и Ленинградская обл.	61° 22'с.ш. 30° 56' в. д.	св. место культуры и религии	статус охраны обсуждается
16	Соловки	архипелаг островов, Белое море, Архангельская обл.	65 01' с. ш. 35° 42' в. д.	св. место культуры и религии	статус охраны обсуждается, объект ЮНЕСКО
17	Куликово поле	Алаунские высоты, Тульская обл.	53° 36' с. ш. 38 °40' в. д.	св. место культуры	музей-заповедник
18	Пушкиногорье	Пушкинские горы, Великоорецкая равнина, Псковская обл.	57° 03' с. ш. 28° 55' в. д.	св. место культуры	музей-заповедник
19	Прохоровское поле	Средне-Русская возвышенность, Белгородская обл.	51° 01' с. ш. 36° 40' в. д.	св. место культуры	музей-заповедник
20	Бородинское поле	Смоленско-Московская возвышенность, Московская обл.	55° 31' с. ш. 35° 49' в. д.	св. место культуры	военно-истор. музей-заповедник

Источник: составлено автором

К ним относятся, например, места, где жили выдающиеся люди, которые своими знаниями, делами, душой духовно привлекали многих людей. Например, в Германии это места, связанные с жизнью И. Гёте, а в России – А. Пушкина или Л. Толстого. Священными могут быть места сражений, т. е.

земля, на которой пролилась кровь её защитников. Примером может служить «Невский пятачок» на левом берегу р. Невы и крепость Орешек на островке в истоке Невы (рис. 3).

Священными становятся места, связанные с возникновением на них какого-либо события религиозного ха-



Рис. 3 / Fig. 3. Крепость Орешек на островке в истоке р. Невы, место ожесточенных сражений, в т. ч. в петровское время и в период Великой Отечественной войны / Oreshek Fortress on an island at the source of the Neva River, the site of fierce battles, including during the Peter the Great period and the Great Patriotic War

Источник: Викимедиа: [сайт]. URL: <https://pic.rutubelist.ru/video/7a/a4/7aa491411b426f55cbdddf49aa502f8.jpg> (дата обращения: 10.09.2023)

рактера [11], например, явления Девы Марии. Таковыми являются многие озёра, источники и даже камни. Любое место, на котором построен храм или часовня, также считается священным. Причём с позиции религии такие места называются святыми. Философ Н. Бердяев справедливо утверждал: «существует не только священное предание церкви, но и священное предание культуры...» [1].

Таким образом, все священные места подразделяются на *места культуры (гражданские)* и *религиозные места*. Кроме того, они также дифференцируются на *природные* и *природно-рукотворные*. Среди природных священных мест выделяются озёра, реки,

горы (холмы), скалы, источники, рощи деревьев и отдельные деревья. Природно-рукотворные священные места включают в себя, в частности, поля сражений и монастыри, некоторые крепости и дворцово-парковые ансамбли, города и даже некоторые страны. При этом обязательным элементом природно-рукотворных священных мест является их природное окружение, земля, на которой они расположены. Примером дворцово-парковых ансамблей служат Версаль во Франции и Петергоф в России – как высшие создания культуры, духа народа.

Священные места подразделяются по своему масштабу и уровню восприятия. Самые небольшие по площади и

значимые для нескольких людей или даже для одного человека философ М. Элиаде [13] предложил называть священными местами личной вселенной. Это может быть могила предков или даже место первой любви. Выделяются *локальные, региональные, национальные и мировые* святыни. Пушкинские места в Псковской области принадлежат к национальным священным местам России. Гора Арарат в Турции, на которую, согласно Библии, приземлился Ноев ковчег, является мировой святыней. Черемнецкий монастырь на одноименном озере в Ленинградской области принадлежит к региональным святыням.

Среди священных мест выделяются города, причём не только по религиозным, но и по культурным соображениям: Рим и Мекка, Москва и Иерусалим, Лхаса и Севастополь. Столицы обычно считаются священными. К наиболее масштабным священным местам относятся и некоторые страны – Египет, Индия, Россия и др.

Не одинаков и возраст священных мест. Среди них есть совсем молодые, возникшие едва ли не на наших глазах, например, г. Сталинград (ныне Волгоград), расположенный на правом берегу Волги, известный Сталинградской битвой (1942–1943 гг.) Одному из главных центров становления Древней Руси – Киеву – по новейшим данным, около 1500 лет (по другим данным, – около 1200 лет).

Древнейшие священные места и их трансформация

В глубокой древности почитаемыми становились самые разнообразные природные места, отличающиеся от других своим своеобразием. Тако-

вы могли быть необыкновенные, не обычной формы скалы или дерева, происхождение которых связывали со сверхъестественными силами. Примером может служить огромный холм в виде башни в штате Вайоминг в США («Девилс-Тауэр», или «Башня дьявола»), которой издавна поклоняются индейцы.

Разумеется, со сверхъестественными силами связывались и различные динамичные явления, нередко приводящие к разрушению ландшафта, вызывающие заболевания и даже гибель людей. В Японии священной является гора – действующий вулкан – Фудзияма. Страшным бедствием для землян считается падение небесных тел, нередко сопровождающееся огнём от пожаров. Места их падения всегда считались связанными с божественными силами и нарекались священными.

В Древнем мире людей привлекали некоторые реки, озёра, горы, как приносящие людям пользу, так и поражающие их своей необычностью или вызывающие бедствия. Хотя и не сразу такие феномены рассматривались как места общения со сверхъестественными силами и постепенно становились почитаемыми.

Нередко на почитаемых природных местах создавались святилища, различные знаки (рисунки на скалах – петроглифы) и сооружения, которые закрепляли их почитание. Примером могут служить наскальные рисунки Саймалы-таш в горах Тянь-Шаня в Киргизии, созданные в III тысячелетии до н. э. Аборигены считают, что это священные послания предков.

Автор согласен с мнением, что многие древние священные места сначала использовались для ориентирования,

являлись основой жизнедеятельности, залогом безопасности [3; 4]. К ним относятся заметные природные феномены – холмы, скалы, озёра, реки на поворотах, рощи деревьев и даже отдельные деревья. Необыкновенные сами по себе или затронутые каким-либо внешним явлением (молнией, падением метеорита, непонятным чудесным явлением и т. п.). Ведь ориентирование, как в пространстве, так и во времени (по Солнцу), было присуще многим объектам [2; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14]. Подобные места нередко закреплялись какими-то рукотворными сооружениями, и именно они становились священными. Многие

мегалитические сооружения, а также каменные лабиринты, используемые для ориентирования, вместе с местом своего расположения становились священными. Один из самых известных – Стоунхендж в Англии.

Выявлено, что некоторые христианские святыни на территории Франции, сооружённые на месте расположения мегалитов (бывших также святилищами), маркируют так называемую Линию Путешественников (Линию Розы) [3]. Она располагается вдоль нулевого меридиана (рис. 2). В Западной Европе обнаружены сети в священных местах, в т. ч. мегалитах, навигационного назначения [14]. Такая же древняя сеть,



Рис. 4 / Fig. 4. «Линия путешественников», соединяющая древнейшие центры ориентирования по Солнцу, ныне маркированные церквями / The "Line of travelers" (in the image of the GOOGLE resource), connecting the oldest centers of orientation by the Sun, now marked with churches

Источник: составлено автором с использованием ресурса Google.Карты: [сайт].
URL: <https://www.google.ru/maps/> (дата обращения: 03.09.2023)

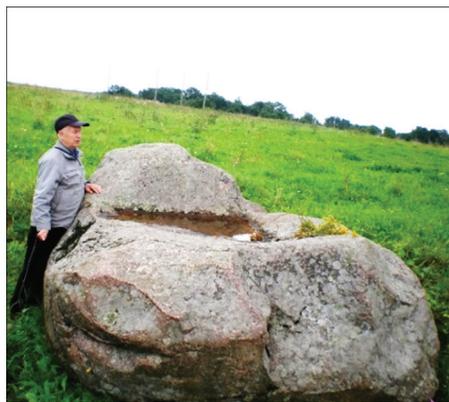
отчасти маркированная христианскими сооружениями (наследующими древние священные места), обнаружена в России [3].

Вспомним того же Н. Бердяева, который справедливо отмечал, что сама культура произошла от культа (т. е. от священных мест). А теперь доказывается, что большинство таких мест возникли там, где осуществлялось ориентирование в пространстве и во времени.

Со временем происходит трансформация священных мест, чаще всего связанная со сменой населения, другими идеологическими представлениями. Например, места с петроглифами в республике Карелия в Беломорье (Залавруга) и на западном берегу Онежского озера для современных обитателей (русских и карелов) этих древних священных мест (места с петроглифами по мере своего возникновения всегда становились почитаемыми) являются чуждыми. Впрочем, иногда бывает иначе. В Якутии на возвышенности Кисилях существует скопление

мегалитов, представленных преимущественно антропоморфными и зооморфными каменными изваяниями (рис. 5). Якуты, которые стали осваивать эту территорию и не имевшие к сооружению изваяний никакого отношения, тем не менее стали их почитать. Причём неизвестно, по каким соображением – поразились ли они необыкновенностью изваяний или же приняли «эстафету» поклонения непосредственно от их строителей, своих предшественников.

В Европе, в особенности в России, дохристианские священные (языческие) места обычно разрушались. В ряде случаев их стали называть «чёртовыми местами» (городищами), каких немало, например, на территории Русской равнины. Впрочем, нередко на бывших языческих почитаемых местах воздвигались православные святыни. Так, например, таковым местом является камень Св. Пятницы на берегу оз. Врево Ленинградской области (рис. 5А). Здесь на камне-мегалите, который, как было доказано, исполь-



А. Камень-мегалит Св. Пятницы, побережье оз. Врево, Ленинградская область

Б. Конь-камень, о. Коневец, Ладожское озеро

Рис. 5 / Fig. 5. Камни-мегалиты / Megalith stones

Источник: А – фото Г. Н. Параниной, Б – фото Д. В. Севастьянова

зовался для измерения времени, одно время существовала маленькая церковь, теперь разрушенная [3; 4].

На другом камне, «Конь-камень» на о. Коневец на Ладожском озере, которому поклонялись в дохристианское время, также была сооружена церковь (рис. 5Б). Примечательно, что в Мурманске на берегу р. Колы есть современный мегалит – огромный бетонный памятник защитникам советского Заполярья, находящийся на месте скопления доисторических мегалитов (сильно пострадавших от фашистской авиации).

Священные места как наследие

Священные места – часть нашего наследия, причём наиболее значимая, поскольку для народа духовная составляющая важнее материальной. Как природные, так и природно-рукотворные места несут информацию об освоении географического пространства, наиболее существенных и запоминающихся моментах его освоения. Именно о таких местах в первую очередь возникают предания, а сами места нередко отображаются в географических названиях.

Среди природных святынь, несомненно, выделяются реки. Ведь по их берегам, особенно на больших реках, селились люди, возникали города и религиозные центры. Некоторые реки – Рейн, Дунай или Волга – сыграли большую роль в формировании государств. Волга, будучи «кормилицей» людей и транспортной артерией, была центром объединения Русского государства, а во время Великой Отечественной войны (на большем своем протяжении) – защитным рубежом.

О происхождении древних петроглифов, ставших или не ставших почитаемыми, существуют разные гипотезы. Это просто рисунки с натуры и по ним можно изучать животный мир прошлого. Возможно, живые существа рисовались для совершения обрядов, позволяющих улучшить их добычу. Поскольку среди рисунков часто присутствуют изображения солнца и луны (как непосредственно, так и в виде символов – неких существ), предполагается, что такие места являются своего рода древними храмами поклонения Солнцу или Луне. Возможно, всё сказанное в той или иной степени верно, и именно в этом отношении такие места являются информаторами о древней культуре, особенностях освоения географического пространства.

Специфика отображения живых существ в наскальных изображениях (а их более 15 тыс.) на скалах возвышенности Тассилин-Аджер (Алжир) в центре пустыни Сахары позволила буквально перевернуть существующие представления о климатических, ландшафтных изменениях и особенностях освоения этого ныне пустынного региона. Там были обнаружены рисунки существ, свидетельствующие о более влажном климате, ландшафтах саванн – бегемоты, жирафы, слоны, крокодилы. Что также косвенно свидетельствовало о значительно более благоприятных возможностях для расселения человека, автора петроглифов.

В последние годы получены данные об использовании петроглифов для определения времени, календарных целей. Эту гипотезу, в частности, выдвинула Г. Паранина на основе изучения их ориентировки для Беломорских петроглифов [7; 8]. Умение доистори-

ческих народов определять время и создавать календари доказано астрономами, геологами и географами для многих мегалитических сооружений, ставших особо значимыми, священными [2; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14]. Можно назвать, например, широко распространённые круговые структуры – кромлехи, которые успешно использовались для определения времени по солнцу по наблюдению за тенью. Такая гипотеза подкрепляется измерениями, в частности, для самого известного кромлеха – Стоунхендж в Англии и менее известного – Караундж в Армении.

Таким образом, не только пространство (ландшафтные особенности), но и время (необходимость ориентирования) сыграли значимую первостепенную роль в формировании священных мест.

Такие рукотворные святыни, как места сражений, помогают сохранить память о важных вехах жизни народа, являясь значимыми для воспоминаний о героическом прошлом. Они имеют большое значение для воспитания патриотизма. Среди самых старинных на территории России – Куликово поле на Дону, где в 1380 г. произошло сражение войск русских князей с войском Золотой Орды. Примечательно, что, хотя подобные места сохраняются как места истории и культуры, обычно они маркируются и религиозными сооружениями.

Как правило, священные места «обрастали» народными песнями, легендами – частью наследия народа. Нередко предания возникали в результате развития какого-либо непонятого, иногда опасного природного явления. Такие места связывались с потусто-

ронными силами или даже существами. Так, например, некоторые озёра становились священными вследствие существования в них чудовищ, от которых пропадают звери и люди. Таково оз. Уилие-коль (в переводе – Священное) на плато Саадингас в Казахстане (в Жамбыльской области). А также оз. Лох-Несс в Шотландии, в котором якобы водится чудовище Несси.

Глубоко вошли в сознание русского народа такие почитаемые места, как озеро Светлояр (вспомним град Китеж), оз. Байкал (песня «Священное море») и р. Волга (песня «Волга-Волга, мать родная») (рис. 6).

Возвышенность Маньпупунёр (в республике Коми) с каменными столбами с плохо сохранившимися антропоморфными и зооморфными ликами, согласно преданию, была местом сражения аборигенов с великанами. В необычные каменные существа превратились волшебным путём великаны в другом районе – местечке Шайтан-Жига на Зеравшанском хребте в Узбекистане.

Примечательную информацию, такую же ценную, как наследие предков, иногда хранят и географические названия священных мест. Некоторые из них содержат корень *ман*, согласно древнейшим индийским легендам имя первого человека, который спасся от потопа (вошедшее во многие языки и переводимое как мужчина или человек). Это, например, священное оз. Манасаровар (Китай) и упомянутое святилище Маньпупунёр. Приведенный топоним Шайтан-Жига также указывает на связь этого священного места со сверхъестественными силами (шайтан по-арабски – демон).



Рис. 6 / Fig. 6. Озеро Светлояр (Нижегородская область), согласно преданиям, место расположения «Невидимого града Китежа, затонувшего в XIII в. и не сдавшегося врагу» / Lake Svetloyar (Nizhny Novgorod region), according to legend, is the location of the "Invisible city of Kitezh, which sank in the XIIIth century and did not surrender to the enemy"

Источник: Викимедиа: [сайт]. URL: <https://avatars.mds.yandex.net/i?id=145c32b15042fc059fd73a64c47a45c029daa425-12540073-images-thumbs&n=13> (дата обращения: 10.09.2023)

Охрана священных мест

Все священные места содержат сведения, значимые для понимания освоения географического пространства, поэтому необходима охрана подобных мест. Сохранение их в памяти людей, а также в виде топонимов, ещё раз подчёркивает необходимость бережного отношения к ним. Священные места разного уровня значимости являются особыми ключевыми точками для любой страны. Ведь они отражают важные моменты его истории и культуры, причём не просто как некие материальные объекты, а как духовные центры. Именно в них заложен и сохраняется опыт прошлого, специфический для жителей разных стран.

В настоящее время нет единого подхода к охране священных мест, что связано с разнообразием, возрастом и, главное, делением на религиозные и культурные. Религиозные святыни находятся под эгидой церкви. При этом в стране могут быть святыни разных конфессий. Религиозные святыни не охраняются государством за исключением тех случаев, когда они представляют историко-архитектурный интерес. Так комплекс религиозных сооружений Кижи на острове в Онежском озере, включающий деревянный собор, охраняется как историко-архитектурный музей-заповедник.

Природные святыни охраняются только частично. Так, многочислен-

ные Святые озёра, если на их берегах нет церкви или часовни, находятся вне охраны. Некоторые озёра, особенно национального масштаба, иногда находятся под эгидой со стороны церкви и со стороны государства. Так, Байкал является одновременно национальной святыней России (в культурном отношении), религиозной святыней бурятов и в то же время носителем памяти (в виде каменных изваяний) о древнейших религиозных верованиях.

Подобным образом оз. Светлояр, на котором произошло чудесное явление с градом Китежем, одновременно является религиозной святыней и священным феноменом нашей культуры. Оно значится памятником природы федерального значения.

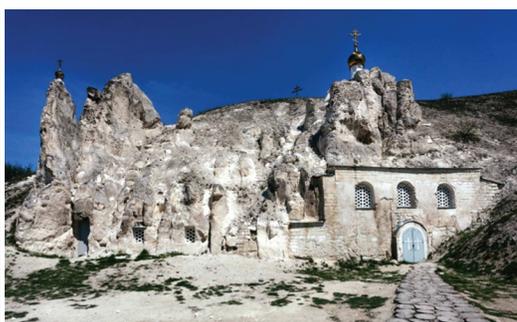
Некоторые горы, особенно выдающиеся в природном отношении, иногда являются и святынями культуры, и религии. Таков вулкан Арарат, который для христиан связан с библейской легендой о Потопе. Для жителей Армении – это священная гора (в культурном отношении), связанная со многими событиями их истории.

Одновременно с этим Арарат, находящийся на территории Турции, охраняется государством, являясь частью Национального заповедника. Возвышенность Дивногорье – христианская святыня (о чём говорят пещерные церкви) и в то же время это мегалитическое святилище (об этом свидетельствуют плохо сохранившиеся каменные изваяния) (рис. 7).

Места с древними языческими памятниками, многие из которых представляют большой интерес как «предание культуры» (по Н. Бердяеву), охраняются очень редко. Напротив, чаще они подвергались разрушению, со стороны церкви нередко объявлялись «чёртовыми». Но иногда в таких местах строились и христианские сооружения. В 1930-е гг. на островах в Белом море было массовое разрушение древних, в т. ч. мегалитических, памятников. Объект современного языческого религиозного и церемониального поклонения, петроглифы в Альбурке в США – охраняется государством как культурное достояние в ранге «Национальный памятник Петроглиф».



А. Зооморфное каменное изваяние / Zoomorphic stone sculpture



Б. Пещерные церкви в меловых скалах / Cave churches in chalk cliffs

Рис. 7 / Fig. 7. Дивногорье на р. Дон, Воронежская область / Divnogorye on the Don River

Источник: Викимедиа: [сайт]. URL: <https://commons.wikimedia.org>
(дата обращения: 10.09.2023)

Обычно мегалитические памятники, представляющие большой историко-культурный интерес, у некоторых малых народов России являются священными, причём не они были создателями этих мест. Такова возвышенность Кисилых в Якутии с каменными изваяниями. Якуты, освоившие это место, считают её своей главной религиозной святыней.

Некоторые самые выдающиеся природные или природно-культурные священные феномены охраняются ЮНЕСКО, например: оз. Байкал, гора-вулкан Фудзияма, Стоунхендж, Соловецкие острова и многие другие.

Туризм на священные места

Священные места по-разному аттрактивны. Некоторые привлекают посетителей преимущественно по религиозным соображениям. Например, священный г. Лурд во Франции, где вблизи одной из пещер произошло видение Девы Марии. Однако Валаам в России посещают не только паломники, но и обычные туристы, стремящиеся познакомиться с необыкновенным природно-архитектурным комплексом – святыней нашей культуры.

Доисторические мегалитические памятники в ряде случаев вошли в религиозное сознание местных народов. Таким святым местом для народов манси и коми является возвышенность с каменными столбами Маньпупунёр в республике Коми (хотя не они создатели этих 7 мегалитов, геологическое происхождение которых до сих пор необъяснимо, впрочем, сами лики на них считаются игрой природы). Однако большинство туристов-посетителей этого места не является паломниками.

Также святое место для якутов – возвышенность Кисилых (в переводе – люди) с каменными изваяниями – преимущественно посещают не паломники, а туристы. Наконец, древние религиозные святыни, во многом потерявшие свою святость – Стоунхендж в Англии и пирамиды в Гизе в Египте – посещаются туристами как священные места мирового наследия.

Святые места, по понятным причинам, преимущественно посещают паломники, исповедующие соответствующую (месту) религию. Среди посетителей священного г. Лурда (5 млн чел. в год) большинство – католики, среди паломников Валаама – православные христиане. Количество посетителей священных мест зависит от статуса, известности места, туристической инфраструктуры. Наиболее аттрактивные – Великие пирамиды, расположенные на окраине Александрии в Египте, которые посещают около 9 млн человек ежегодно; город мёртвых Варанаси – около 3 млн человек.

Популярность упомянутых мест отчасти объясняется и хорошей туристической инфраструктурой. В России сопоставимое с ними количество путешественников отмечается только на Байкале. В 2022 г. озеро посетило около 3 млн человек. Не сопоставимо меньше туристов приезжает на Валаам и Соловки (около 100 тыс. и 60 тыс. человек соответственно). Туристическая инфраструктура там, особенно в Соловках, «желает лучшего».

Следует отметить, что Валаам, Соловки и Кисилых представляют собой священные места, в которых природа не просто фон, а важная составляющая комплекса. Даже существующая нагрузка на ландшафт от посещения

путешественников уже на пределе. Поэтому, например, для Кисилых она не должна превышать 500 человек за сезон [5].

Заключение

Особенность священных мест – на следование одних после разрушения других. Места, весьма специфические, прежде всего, в природном отношении, удивляющие или влияющие на людей своими необыкновенными особенностями, привлекали внимание народы разных культур, вероисповеданий и, таким образом, становились священными для разных народов вне зависимости от хода времени («свято место пусто не бывает»). Впрочем, некоторые места, связанные с выдающимися личностями, сражениями, особо значимые для народа поселения, города, отражённые в людской памяти, в преданиях, также приобретали священный ореол.

Практически все древние священные места, возникающие первоначально на заметных, чем-то особенным отличающихся природных местах, становились географическими ориентирами, поскольку без ориентирования в пространстве и, что особенно важно, во времени, невозможно главное – нормальная жизнедеятельность. Пер-

воначальные природные ориентиры «закреплялись» рукотворными сооружениями, прежде всего религиозного назначения. И только с течением времени необходимость в ориентировании сооружений почти отпала (вследствие использования других способов его осуществления).

Священные места – это важные носители информации об освоении географического пространства. Это некие ключевые точки на планете. В древности многие из них возникали на необыкновенных, в энергетическом смысле, местах, геологически активных, где земля «дышит», что оказывает особое влияние на жизнедеятельность людей. В целом ряде случаев именно в таких местах были впоследствии построены современные религиозные сооружения.

Наиболее посещаемыми местами в России являются именно священные. Но они не всегда охраняются государством. Охрана же их осуществляется не непосредственно, а как примечательных в другом отношении. Выдающиеся священные места нашей страны – это особые знаковые центры, имеющие глубоко патриотическое значение, могут служить основой для формирования до сих пор не выработанной национальной идеи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердяев Н. Философия неравенства // Русское зарубежье. Л.: Лениздат, 1991. С. 47–54.
2. Гегель Г. В. Ф. Собрание сочинений в 4 т. Т. 3: Эстетика / под ред. М. Лифшица. М.: Искусство, 1971. 340 с.
3. Гиенко Е. Г., Паршиков С. А., Бубирь Е. А. Святилище «Храм времени» в северной Хакасии: моделирование светотеневой картины // Вестник СГУГиТ, 2020. № 4. С. 5–18.
4. Григорьев Ал. А. Священные места планеты как культурное наследие. СПб.: Изд. РГПУ им. А.И.Герцена, 2022. 350 с.
5. Григорьев Ал. А., Паранина Г. Н. Культурная география: шаг к истокам? // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. 2011. Вып. 3. С. 37–45.
6. Ефимова А. П., Исаев А. П. Рекреационный потенциал горы Кисилых Янского пло-

- скогорья (Северо-Восточная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. Т. 24. № 4. С. 95–107.
7. Марсадолов Л. С. О связях астроисследований на Саяно-Алтае с другими научными направлениями // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. 2022. № 28. С. 78–91.
 8. Паранина А. Н., Марсадолов Л. С., Григорьев Ал. А. Элементы сакральной навигации в культурном наследии России: методологические аспекты // Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие. СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2020. С. 50–54.
 9. Паранина А.Н., Паранин Р. В. Инструменты и технологии навигации как основа антропогенеза // Геология в школе и вузе: Науки о Земле и цивилизация. Петербург: Изд. РГПУ им. А. И. Герцена, 2017. С. 205–208.
 10. Подосинов А. В. *Ex oriente lux*. Ориентация по странам света в архаических культурах Евразии. М.: Язык русской культуры, 2010. 345 с.
 11. Стафеев С. К., Томилин М. Г. Пять тысячелетий оптики: предьстория. СПб.: Политехника, 2006. 528 с.
 12. Теребихин Н. М. Сакральная география Русского Севера.: Религиозно-мифологическое пространство русской культуры. Архангельск.: ПГУ. 1993. 258 с.
 13. Хокинс Дж. Расшифрованный Стоунхендж. Обсерватория каменного века (пер. с англ.) М.: Центрполиграф, 2006. 348 с.
 14. Элиаде М. Священное и мирское / пер. с фран. Н. К. Гарбовского. М., Изд-во МГУ, 1994. 340 с.
 15. Devereux. P. Sacred geography. Deciphering hidden codes in the landscape. L.: Octopus Publ. Group, 2010. 160 p.

REFERENCES

1. Berdyaev N. [Philosophy of inequality]. In: *Russkoye zarubezhye* [Russian abroad]. Leningrad, Lenizdat Publ., 1991, pp. 47–54.
2. Gienko E. G., Parshikov S. A., Bubir E. A. [Sanctuary “Temple of Time” in northern Khakassia: modeling of the cut-off picture]. In: *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SGUGiT], 2020, no. 4, pp. 5–18.
3. Grigoriev Al. A. *Svyashchennyye mesta planety kak kulturnoye naslediye*. [Sacred places of the planet as cultural heritage]. St. Petersburg, Izd. RGPU im. A.I.Gertsena Publ., 2022. 350 p.
4. Grigoriev Al. A., Paranina G. N. [Cultural geography: a step to the origins?]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7* [Bulletin of St. Petersburg University. Series 7], 2011, iss. 3, pp. 37–45.
5. Efimova A. P., Isaev A. P. [Recreational potential of Mount Kisilyakh of the Yana Plateau (North-Eastern Yakutia)]. In: *Prirodnyye resursy Arktiki i Subarkтики* [Natural resources of the Arctic and Subarctic], 2019, vol. 24, no. 4, pp. 95–107.
6. Marsadolov L. S. [On the connections of astroresearch in Sayan-Altai with other scientific directions]. In: *Sokhraneniye i kulturnoye izucheniye pamyati Altayskogo kraya* [Preservation and study of the cultural heritage of the Altai region], 2022, no. 28, pp. 78–91.
7. Paranina A. N., Marsadolov L. S., Grigoriev Al. A. [Elements of sacred navigation in the cultural heritage of Russia: methodological aspects]. In: *Prirodnoye i kulturnoye naslediye: mezhdistiplinarnyye issledovaniya, sokhraneniye i sokhraneniye* [Natural and cultural heritage: interdisciplinary research, conservation and development]. St. Petersburg, Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena Publ., 2020, pp. 50–54.
8. Paranina A. N., Paranin R. V. [Tools and technologies of navigation as the basis of anthropo-

- genesis]. In: *Geologiya v shkole i vuze: Nauki o Zemle i tsivilizatsiya* [Geology at school and university: Earth Sciences and civilization]. St. Petersburg, Izd-vo RGPU im. A. I. Gertsena Publ., 2017, pp. 205–208.
9. Podosinov A. V. *Ex oriente lux. Oriyentatsiya po stranam sveta v arkhaiskikh kulturakh Yevrazii* [Ex oriente lux. Orientation to the cardinal points in the archaic cultures of Eurasia]. Moscow, Russkiy Yazyk kultury Publ., 2010. 345 p.
 10. Stafeev S. K., Tomilin M. G. *Pyat tysyacheletiy optiki: predystoriya* [Five millennia of optics: background]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2006. 528 p.
 11. Terebikhin N. M. *Sakralnaya geografiya Russkogo Severa.: Religiozno-mifologicheskoye prostranstvo russkoy kultury* [Sacred geography of the Russian North: Religious and mythological space of Russian culture]. Arkhangelsk, PSU Publ., 1993. 258 p.
 12. Hawkins J. *Rasshifrovannyi Stounkhendzh. Observatoriya kamennogo veka (per. s angl.)* [Stonehenge deciphered. Observatory of the Stone Age (translated from English)]. Moscow, Tsentrpoligraf Publ., 2006. 348 p.
 13. Eliade M. *Le sacré et le profane* (Rus. ed.: Garbovsky N. K., trans. from French. *Svyashchennoye i mirskoye*. Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1994. 340 p.
 14. Devereux P. *Sacred geography. Deciphering hidden codes in the landscape*. L., Octopus Publ. Group, 2010. 160 p.
-

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Григорьев Алексей Алексеевич – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и природопользования факультета географии Российского государственного университета им. А. И. Герцена;
e-mail: aleksey.megalit@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Aleksei A. Grigorev – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Physical Geography and Nature Management, Faculty of Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia;
e-mail: aleksey.megalit@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Григорьев Ал. А. Священные места как памятники наследия и объекты туризма: географические аспекты // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 137–153.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-137-153

FOR CITATION

Grigorev Al. A. Sacred places as heritage monuments and objects of tourism: geographical aspects. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 137–153.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-137-153

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

УДК 502.51:574.522:594

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-154-181

БИОТРАНСФОРМАЦИЯ КСЕНОБИОТИКОВ МОЛЛЮСКАМИ (MOLLUSCA L., 1758) – ИНДИКАТОРАМИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Щелканов Е. М.¹, Тишина Е. А.², Мануков Ю. И.³, Сапрыкин В. П.⁴

¹ Государственный университет просвещения,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация;
E-mail: egorshchelkanov@mail.ru

² Государственный университет просвещения,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация;
E-mail: ea.tishina@guppros.ru

³ Государственный университет просвещения,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация;
E-mail: manukov1@yandex.ru

⁴ Государственный университет просвещения,
141014, Московская область, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24, Российская Федерация;
E-mail: v_p_s@mail.ru

Поступила в редакцию 18.03.2023

После доработки 11.01.2024

Принята к публикации 16.02.2024

Аннотация

Цель. Описать общую схему молекулярных взаимодействий, лежащую в основе биотрансформации ксенобиотиков у моллюсков, на основе данных научной литературы.

Процедура и методы. Проанализированы и обобщены опубликованные данные в тематической литературе, посвящённой изучению биохимических и молекулярно-биологических процессов, связанных с реакцией моллюсков на ксенобиотики. Поиск научных публикаций осуществлялся на специализированных информационных ресурсах: Российская научная электронная библиотека, Российская государственная библиотека, Google Академия, National Library of Medicine, Международная база молекулярно-генетических данных GenBank.

Результаты. Проанализировано строение пищеварительной железы (печени, или гепатопанкреаса) и жабр – основных органов, принимающих участие в биотрансформации ксенобиотиков у различных таксономических групп двустворчатых и брюхоногих моллюсков (включающих примерно 98% видов этого типа). Представлены данные по анатомическому, тканевому и клеточному строению пищеварительной железы. Описаны NADPH-зависимое и NADPH-независимое окисление ксенобиотиков системой цитохромов P450 и основные типы осуществляемых ею химических реакций (гидроксילирование, окислительное дезаминирование, окисление азота, сульфокисление, дезалкилирование, эпоксидирование) с конкретными примерами, процесс конъюгирования поляризованных ксенобиотиков с восстановленной формой глутатиона, катализируемый глутатион-S-трансферазой. Показана роль клеточных органелл (лизосом, пероксисом, эндосом, шероховатого эндоплазматического ретикулума) в биотрансформации ксенобиотиков у моллюсков.

Теоретическая и/или практическая значимость. Систематизированы данные о процессе биотрансформации ксенобиотиков в организме моллюсков, что позволяет наметить цели для дальнейшего изучения их биохимических и молекулярно-биологических особенностей, планировать комплексные исследования с использованием этих животных для биоиндикации уровня загрязнения водной среды, а также наметить точки соприкосновения учебных программ различных дисциплин.

Ключевые слова: глутатион-S-трансфераза, жабры, кислая фосфатаза, ксенобиотики, лизосома, моллюски, пероксисома, пищеварительная железа, цитохромы P450, эндосома

Original Research Article

BIOTRANSFORMATION OF XENOBIOTICS BY MOLLUSCS (MOLLUSCA L., 1758) – INDICATORS OF AQUATIC ECOSYSTEM POLLUTION

E. Shchelkanov¹, E. Tishina², Yu. Manukov³, V. Saprykin⁴

¹ Federal State University of Education,
ul. Very Voloshinoy 24, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation;
e-mail: egorshchelkanov@mail.ru; ORCID:

² Federal State University of Education,
ul. Very Voloshinoy 24, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation;
e-mail: ea.tishina@mgou.ru; ORCID:

³ Federal State University of Education,
ul. Very Voloshinoy 24, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation;
e-mail: manukov1@yandex.ru; ORCID:

⁴ Federal State University of Education,
ul. Very Voloshinoy 24, Mytishchi 141014, Moscow Region, Russian Federation;
e-mail: v_p_s@mail.ru; ORCID:

Received 18.03.2023

Revised 11.01.2024

Accepted 16.02.2024

Abstract

Aim. To describe the general scheme of molecular interactions underlying the biotransformation of xenobiotics in mollusks on the base of scientific literature data.

Procedure and methods. Published data in thematic literature devoted to the study of biochemical and molecular-biological processes associated with the reaction of mollusks to xenobiotics were analyzed and summarized. Scientific publications were searched on specialized information resources: Russian Scientific Electronic Library, Russian State Library, Google Academy, National Library of Medicine, GenBank International Molecular Genetic Database.

Results. There was analyzed the structure of the digestive gland (liver, or hepatopancreas) and gills – the main organs involved in the biotransformation of xenobiotics in various taxonomic groups of bivalves and gastropods (containing about 98% of species of this phylum). Data on the anatomical, tissue and cellular structure of the digestive gland are presented. The NADPH-dependent and NADPH-independent oxidation of xenobiotics by the cytochrome P450 system and the main types of chemical reactions carried out by it (hydroxylation, oxidative deamination, nitrogen oxidation, sulfoxidation, dealkylation, epoxidation) with specific examples, the conjugation process of polarized xenobiotics with the reduced form of glutathione catalyzing by glutathione-S-transferase are described. The role of cellular organelles (lysosomes, peroxisomes, endosomes, rough endoplasmic reticulum) in the biotransformation of xenobiotics by mollusks is established.

Research implications. Systematized data on the process of biotransformation of xenobiotics in the body of mollusks, which makes it possible to outline goals for further study of their biochemical and molecular biological features, plan comprehensive studies using these animals to bioindicate the level of pollution of the aquatic environment, as well as outline the points of contact of educational programs of various disciplines.

Keywords: glutathione-S-transferase, gills, acid phosphatase, xenobiotics, lysosome, mollusks, peroxisome, digestive gland, cytochromes P450, endosome

Введение

Ксенобиотики – это чужеродные для живых организмов химические вещества, которые не являются естественными метаболитами. Увеличение антропогенной нагрузки приводит к повышению концентрации ксенобиотиков в гидросфере¹, которая аккумулирует их вследствие стремительного увеличения количества и разнообразия средств бытовой химии [8], а также непрерывной химизации сельского хозяйства и увеличения масштабов применения гербицидов, дефолиантов, инсектицидов и фунгицидов [2].

Отдельного рассмотрения требует тема применения ксенобиотиков-ядохимикатов в военных целях. Наиболее известными примерами такого рода является преднамеренное и варварское использование американскими военными химического оружия под собирательным названием «оранж»² во время американо-вьетнамской войны (1955–1975 гг.). В состав «оранжа» входили 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), 2,4,5-трихлорфеноксиуксусная кислота (2,4,5-Т) и значительные примеси 2,3,7,8-тетрахлордифенилдioxина (ТХДД, или

¹ Мифтахутдинов А. В. Токсикологическая экология: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2022. 304 с.

² Сленговое название «оранж», ставшее впоследствии официальным, появилось из-за широкой оранжевой полосы, которой маркировались бочки с этим химикатом [49].

диоксина). В рамках военной операции Ranch Hand над территорией Вьетнама и сопредельных государств (Камбоджи и Лаоса) было неоднократно распылено несколько десятков миллионов литров «оранжа» [48]. Наиболее опасным компонентом этой смеси является диоксин, представляющий собой сильнейший канцероген с выраженным тератогенным и иммуносупрессивным действием, обладающий продолжительным периодом полураспада в почве (более 10 лет). До сих пор тропические дожди вымывают в реки Вьетнама этот опасный химикат [11].

Важную группу ксенобиотиков для моллюсков составляют токсины, продуцируемые микроводорослями [14; 18; 19]. Большинство таких токсинов имеют оригинальное строение и не всегда эффективно трансформируются ферментными системами, из-за чего могут накапливаться в организме моллюсков в значительных концентрациях.

Ксенобиотики, с одной стороны, способны накапливаться в фильтрующих моллюсках (*Mollusca L.*, 1758), снижая пищевую ценность и потребительскую привлекательность этого важного продовольственного ресурса¹ [1; 12; 14]; с другой – моллюски могут выступать в роли биоиндикаторов загрязнения водной среды при использовании методов определения изменений ферментативной активности² [10;

13; 15] или экспрессии генов комплекса детоксикации [30; 36; 47].

Несмотря на то, что современные инструментальные методы позволяют производить прямые качественные и количественные определения содержания ксенобиотиков в образцах воды [3; 4; 18], методы биоиндикации на модели моллюсков продолжают занимать достойное место в методическом арсенале токсикологических исследований, поскольку дают возможность, во-первых, оценивать интегральный (накопительный) эффект на элементы аквабиоценозов, а во-вторых, учитывать всю совокупность токсичных поллютантов (включая неидентифицированные пока химические вещества) [10; 13; 15; 16].

Результаты недавних молекулярно-генетических исследований индукцибельных компонентов протеома позволяют достроить ранее недостающие элементы «пазла» биохимического портрета биотрансформации ксенобиотиков моллюсками, краткое описание которого составляет цель данной работы.

Основные органы моллюсков, принимающие участие в биотрансформации ксенобиотиков

Моллюски – чрезвычайно обширный³ тип беспозвоночных животных, включающий 8 рецентных классов и свыше 200 тыс. видов⁴. Ограничен-

¹ Дацун В. М., Першина Е. И., Рязанова О. А., Позняковский В. М. Нерыбные объекты водного промысла. Аннотированный атлас. СПб.: Лань, 2017. 232 с.

² Львова Т. Г. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии: учеб. пособие. Калининград: Изд-во Калининградского университета, 1996. 70 с.

³ Моллюски – второй по величине тип в царстве настоящих многоклеточных животных, или эуметазоев (*Eumetazoa Butschli*, 1910), по числу входящих в него видов уступающий только членистоногим (*Arthropoda Siebold*, 1848).

⁴ Шарова И.Х. Зоология беспозвоночных: учебник для вузов. М.: Гуманитарный Центр «Владос», 2002. 592 с.

ный объём публикации не позволяет включить в анализ все таксономические группы моллюсков, но достаточно остановится на 2 основных классах – брюхоногих (Gastropoda Cuvier, 1795) и двустворчатых (Bivalvia L., 1758), которые составляют, соответственно, 80% и 18% всего видового разнообразия этого типа¹, и в подавляющем большинстве случаев, представители именно этих классов включаются в биоиндикационные исследования, поскольку имеется обширный опыт их содержания в искусственных условиях.

Первым органом моллюсков, который встаёт на пути токсичных поллютантов, являются жабры – ктении – перисто-кожистые первичные органы газообмена (рис. 1). Показано, что растворимые ксенобиотики способны индуцировать повышения уровня транскрипции генов, кодирующих ферменты комплекса детоксикации (см. далее). Во многих молекулярно-генетических исследованиях по биотрансформации растворимых ксенобиотиков – например, карболовой кислоты (фенола), фениламина (анилина), 2,4,5,6-тетрахлорбензол-1,3-дикарбонитрил (хлороталонила), соли 2,4,5-Т – для выделения мРНК используют образцы биологических тканей именно жабр [25; 27; 30; 46].

В наиболее обширном подклассе переднежаберных (Prosobranchia Milne-Edwards, 1848) брюхоногих 1 (реже 2) жабры лежат в мантийной полости передней части тела перед сердцем под завитковой раковины; заднежаберных (Opisthobranchia Milne-Edwards, 1848) – позади желудочков сердца, раковина либо отсутствует, либо слабо развита,

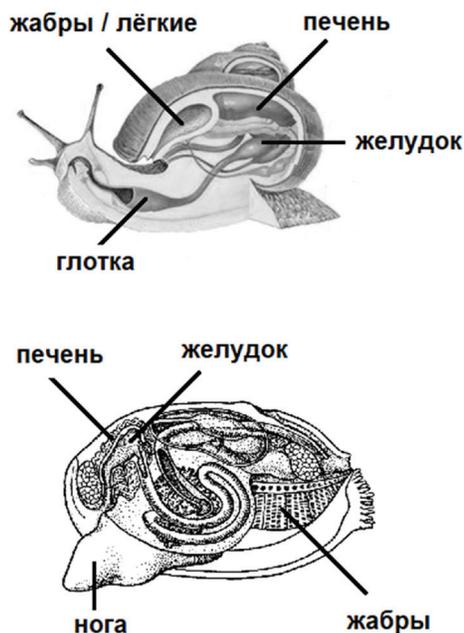


Рис. 1 / Fig. 1. Размещения жабр и печени в организме брюхоногих (вверху) и двустворчатых (внизу) моллюсков / Placement of gills and liver in the body of gastropods (above) and bivalves (below) mollusks

Источник: рисунки (с изменениями) взяты из коллекции естественнонаучных фотографий и рисунков [Электронный ресурс]. URL: <https://foto-ram.ru> (дата обращения: 03.03.2023)

без выраженных завитков. Представители подклассов безраковинных, или слизней (Gymnomorpha Salvini-Plawen, 1970), и лёгочных улиток (Pulmonata Cuvier, 1817) с закрученными раковинами ведут, в основном, наземный образ жизни – мантийная полость у них снабжена густой сетью тонкостенных кровеносных сосудов и выполняет роль лёгкого. Впрочем, многие водные лёгочные улитки – например, прудовики (Lymnaeidae Rafinesque, 1815) – способны осуществлять газообмен и под водой через лёгкие, которые в этом

¹ Saxena A. Education textbook of Mollusca. New Delhi: Discovery Publishing House, 2005. 528 p.

случае выступают в роли вторичных жабр¹ [6].

В подклассе первичножаберных (Protobranchia Pelseneer, 1889) двустворчатых моллюсков жабры представлены в форме типичных парных ктенидиев с жаберными лепестками; нитежаберных (Filibranchia Pelseneer, 1889) – жаберные лепестки видоизменены и выглядят как нити, скрепленные друг с другом ресничками; пластинчатожаберных (Eulamellibranchia Pelseneer, 1889) – нитевидные жаберные лепестки сведены в слоистые структуры при помощи постоянных перемычек; перегородчатожаберных (Septibranchia Pelseneer, 1889) – жабры модифицируются в пористую перегородку, которая отделяет складку мантии, пронизанную большим количеством кровеносных сосудов; у безжаберных (Anomalodesmata Dall, 1889) жабры отсутствуют, а газообмен осуществляется через стенку полости мантии² [6].

Печень, или пищеварительная (гепатопанкреатическая³) железа, моллюсков⁴ представляет собой объём-

стый, состоящий из нескольких долей, вырост кишки в форме непарного (у брюхоногих) или парного (у двустворчатых) органа, выводные протоки которого открываются в желудочную камеру (рис. 1). Клетки печени моллюсков способны к активному эндоцитозу (пино- и фагоцитозу) и внутриклеточному пищевариению с помощью лизосомальных и пероксисомальных ферментов⁵ [6], поэтому печень моллюсков является ключевым органом биотрансформации ксенобиотиков – как растворимых, так и слабо- и нерастворимых: именно изменение спектра ферментативной активности пищеварительной железы различных моллюсков рассматривается как индикатор химического загрязнения водных биотопов [5; 10; 13; 15; 20]. Моллюски откладывают в печени жиры и углеводы в качестве запасных питательных веществ, а также депонируют кальций и медь для регуляции их концентрации в гемолимфе [31].

Физиология пищеварительной железы моллюсков

В анатомическом плане пищеварительная железа моллюсков представляет собой крупнейший внутренний орган, облегающий желудок и часть кишечника (рис. 1) [6]. Основной структурно-функциональной единицей печени моллюсков являются дивертикулы – пищеварительные

ющих в донных осадках, пищеварительная система, включая печень, отсутствует, а питательные вещества усваиваются благодаря деятельности симбиотических хемосинтезирующих бактерий [32].

⁵ Шарова И. Х. Зоология беспозвоночных: учебник для вузов. М.: Гуманитарный Центр «Владос», 2002. 592 с.; Saxena A. Education textbook of Mollusca. New Delhi: Discovery Publishing House, 2005. 528 p.

¹ Шарова И. Х. Зоология беспозвоночных: учебник для вузов. М.: Гуманитарный Центр «Владос», 2002. 592 с.; Догель В. А. Зоология беспозвоночных. М.: Высшая школа, 1981. 614 с.

² Шарова И. Х. Зоология беспозвоночных: учебник для вузов. М.: Гуманитарный Центр «Владос», 2002. 592 с.; Saxena A. Education textbook of Mollusca. New Delhi: Discovery Publishing House, 2005. 528 p.

³ Термин «гепатопанкреатическая железа» не вполне корректен применительно к головоногим моллюскам (Cephalopoda Cuvier, 1797), у которых печень и поджелудочная железа представлены самостоятельными органами [6], но этот класс в настоящей работе не рассматривается.

⁴ У двустворчатых моллюсков из рода *Solemya* Lamarck, 1818 (Solemyida: Solemyidae), обита-

трубочки из однослойного эпителия, один конец которых слепой, а другой открывается во вторичные протоки. С каждым вторичным протоком связана гроздь из 2–8 пищеварительных трубочек. Вторичные протоки сливаются в более крупные первичные протоки, открывающиеся в стенке желудка (рис. 2). Эпителиальные клетки дивертикул относятся к четырём морфотипам: пищеварительные, базофильные, мукозальные и реснитчатые, или мерцательные (рис. 3) [17; 23; 38].

Пищеварительные клетки, имеющие столбчатую форму, являются наиболее многочисленными и именно в них осуществляется внутриклеточное пищеварение, включая биотрансформацию ксенобиотиков, ферментативное расщепление пищевых субстратов

или ксенобиотиков непосредственно в цитоплазме. Пищеварительные клетки характеризуются чрезвычайно интенсивным процессом эндоцитоза: клатриновые ямки, инициирующие пиноцитоз (<300 нм), образуются у основания микроворсинок, обращённых в сторону просвета пищеварительной трубочки, а сами ворсинки могут осуществлять фагоцитоз относительно крупных частиц (>1 мкм). Пино- и фагоцитозные пузырьки объединяются в цитоплазме в более крупные эндосомы, с которыми сливаются липидные пузырьки, отшнуровывающиеся от комплекса Гольджи и доставляющие в эндосомы связанные с мембранами ферменты, важнейшими из которых являются представители большой

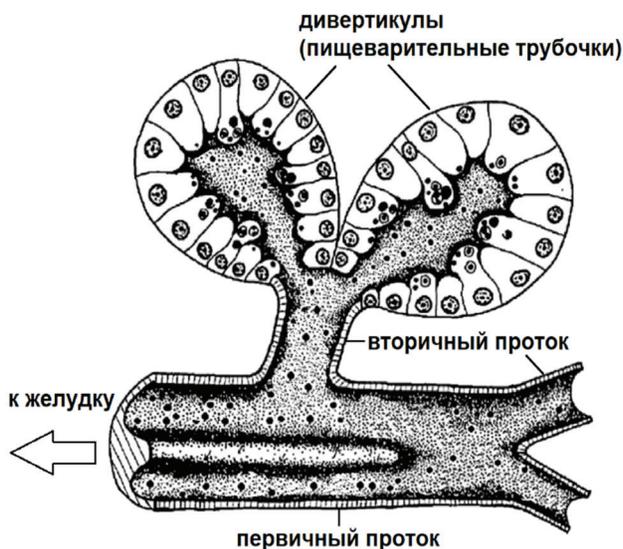


Рис. 2 / Fig. 2. Структура пищеварительной железы моллюсков / Structure of the digestive gland of molluscs

Источник: [23]

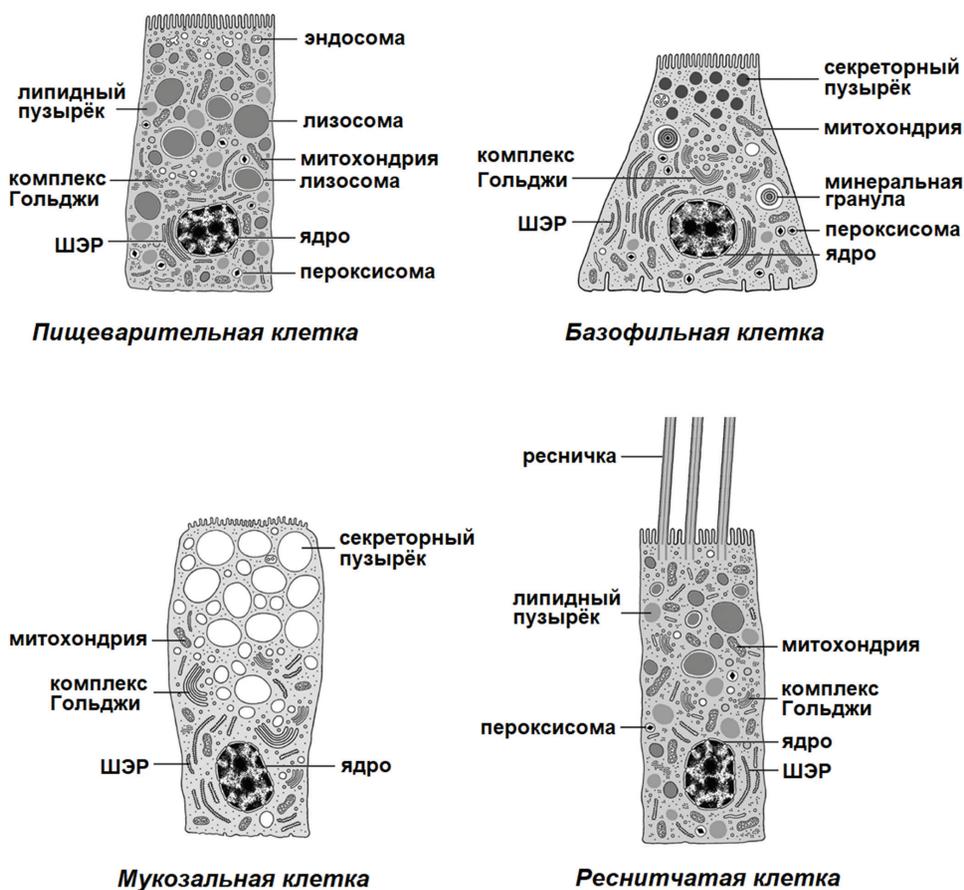


Рис. 3 / Fig. 3. Основные морфотипы эпителиоцитов, формирующих стенку дивертикулы пищеварительной железы моллюсков. Сокращение: ШЭР – шероховатый эндоплазматический ретикулум / The main morphotypes of epitheliocytes forming the wall of the digestive gland diverticula of mollusks. Abbreviation: SER, rough endoplasmic reticulum

Источник: [38]

группы цитохром Р450-зависимых¹ монооксигеназ² (СУР – Cytochrome

¹ Название «Р450» связано с тем, что эти гемопротенины, в норме содержащие Fe^{3+} , при связывании с O_2 или CO восстанавливаются до Fe^{2+} и начинают поглощать с максимумом при длине волны 450 нм.

² При дифференциальном центрифугировании эти ферменты оказываются в микросомальной фракции, в которую входят обломки мембран эндоплазматического ретикулума и рибосомы, поэтому цитохром Р450-зависимые монооксигеназы ещё называют микросомальными оксигеназами.

Р450). Позже с эндосомами сливаются первичные лизосомы и формируют крупные лизофагосомы, в кислой среде которых происходит биотрансформация пищевой органики и ксенобиотиков. Непереваренные остатки содержимого лизофагосом секретируются в просвет дивертикулы и попадают обратно в желудок и далее в кишечник. Некоторые субстраты (в т. ч. ксенобиотики) проходят разложение в пероксисомах.

Базофильные клетки, имеющие форму усечённой пирамиды, по своему внутреннему строению являются типичными белок-секретирующими: большой объём занимает шероховатый эндоплазматический ретикулум, множественные слои комплекса Гольджи и большое количество электронно-плотных секреторных везикул (клатриновых пузырьков), которые доставляют к внешней мембране ферменты, участвующие во внеклеточном (в желудке и пищевode) переваривании пищи. Эндоцитозная активность этих клеток находится на умеренном уровне. Именно базофильные клетки содержат минеральные гранулы, в которых запасаются кальций, медь, магний и другие металлы.

Мукозальные эпителиоциты характеризуются развитым аппаратом Гольджи и электронно-прозрачными секреторными пузырьками, содержащими полисахариды и высокомолекулярные гликопротеины, формирующие слизь, предотвращающую механические повреждения внутренней поверхности дивертикул и проток печени. Мукозальные клетки являются минорными элементами в составе эпителия пищеварительных трубочек, но являются основными в стенке вторичных протоков, а в первичных протоках к ним добавляются реснитчатые (мерцательные) эпителиоциты, снабжённые ресничками, которые с помощью скоординированных движений регулируют ток жидкости.

При длительной экспозиции высоких концентраций токсических веществ может происходить отмирание части пищеварительных трубочек, что следует учитывать при оценке ферментативной активности [17; 20]: общая

ферментативная активность может снижаться даже в том случае, когда эпителиоциты оставшихся дивертикул демонстрируют повышенную активность. Кроме того, структурно-функциональная организация печени моллюсков может нарушаться в результате паразитарных инвазий [17].

NADPH-зависимое окисление ксенобиотиков системой CYP

На первом этапе биотрансформации ксенобиотиков в эндосомах пищеварительных клеток дивертикул печени моллюсков происходит окисление чужеродных молекул – в результате химических модификаций они приобретают одну или несколько поляризованных функциональных групп и становятся более растворимыми и реакционноспособными (табл. 1), что облегчает последующие реакции конъюгации. Основными ферментами этого этапа детоксикации являются представители обширной группы CYP (КФ 1.14.14.1) и никотинамидадениндинуклеотидфосфат (NADPH – Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) в качестве донора электрона, который передаётся субстрату через флавопротеин NADPH-P450-редуктазу (NPR – NADPH-P450 reductase) (КФ 1.6.2.4)¹ [36].

В качестве примера можно привести катализируемое CYP гидроксильрование циклогексана в циклогексанол:

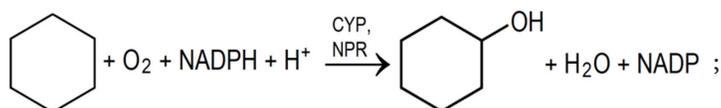
¹ Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984.

Таблица 1 / Table 1

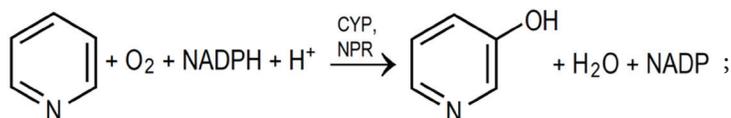
Типы химической модификации ксенобиотиков под действием ферментов группы CYP с участием NPR и NADPH в качестве кофермента в эндосомах печени моллюсков / Types of chemical modification of xenobiotics by CYP enzymes involving NPR and NADPH as a coenzyme in shellfish liver endosomes

Тип химического превращения	Общее уравнение химической реакции
Гидроксилирование	$R-H + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R-OH + H_2O + NADP$
Окислительное дезаминирование	$R-NH_2 + O_2 + NADPH + 2H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R=O + H_2O + NH_3 + NADP$
Окисление азота	$R^1-\underset{H}{N}-R^2 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R^1-\underset{OH}{N}-R^2 + H_2O + NADP$
Сульфокисление	$R^1-S-R^2 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R^1-\underset{O}{S}-R^2 + H_2O + NADP$
Дезалкилирование по атому азота	$R-NH-CH_3 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R-NH_2 + H_2C=O + H_2O + NADP$
Дезалкилирование по атому серы	$R-S-CH_3 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R-SH + H_2C=O + H_2O + NADP$
Дезалкилирование по атому кислорода	$R-O-CH_3 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R-OH + H_2C=O + H_2O + NADP$
Эпоксилирование	$R^1-CH=CH-R^2 + O_2 + NADPH + H^+ \xrightarrow{CYP, NPR} R^1-\underset{O}{\text{CH-CH}}-R^2 + H_2O + NADP$

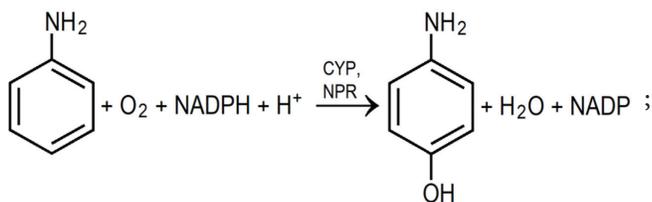
Источник: составлено по: Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985. Т. 1, 367 с. Т. 2, 368 с. Т. 3, 320 с.; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994. Т. 1, 517 с. Т. 2, 539 с. Т. 3, 504 с.; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1, 232 с. Т. 2, 312 с. Т. 3, 400 с.



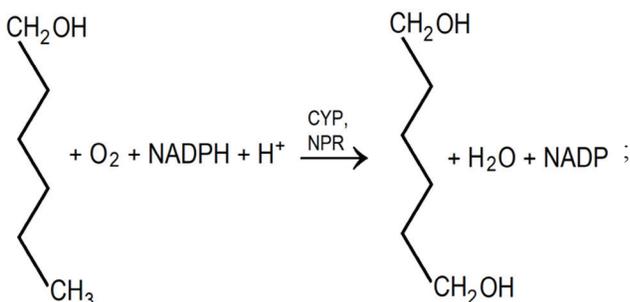
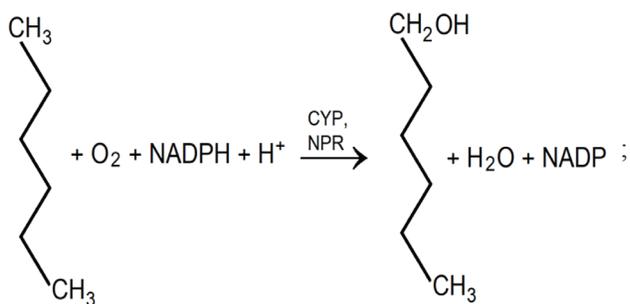
пиридина – в 3-оксипиридин:



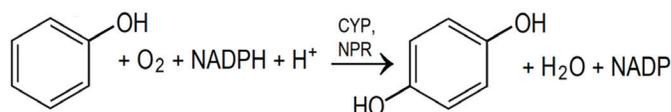
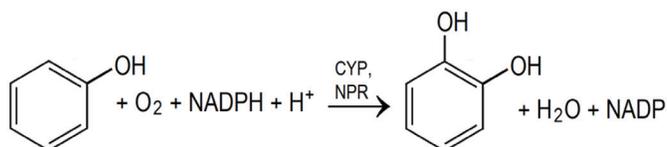
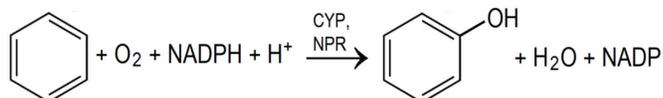
анилина – в 4-аминофенол (п-аминофенол):



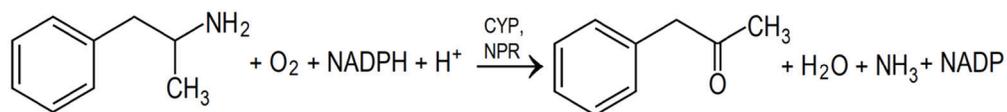
Алканы превращаются сначала в одноатомные, а затем – в двухатомные, с замещёнными концевыми группами, спирты. Например, гексан – в гексанол и 1,6-гександиол:



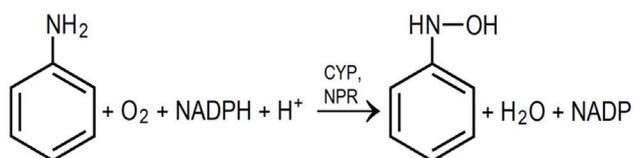
Бензол может подвергаться последовательному гидроксированию с получением сначала фенола, а потом катехола или гидрохинона:



Окислительное дезаминирование лежит в основе превращения амфетамина в фенилацетон:

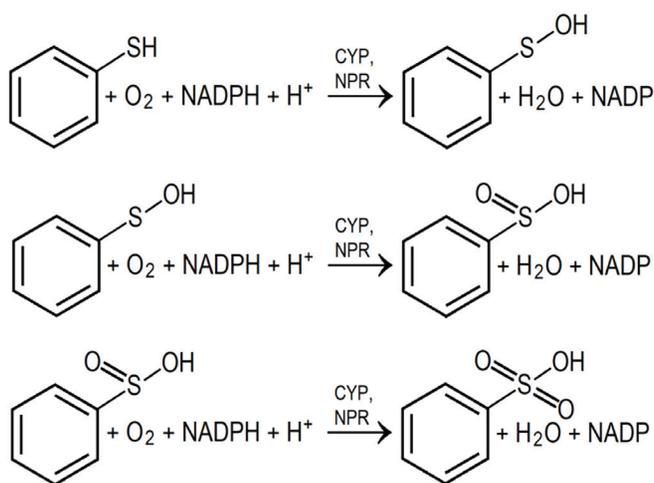


Окисление азота позволяет превратить анилин – помимо 4-аминофенола (см. выше) – в фенилгидроксиамин:

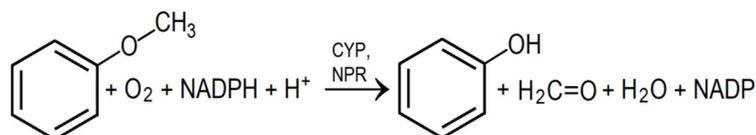


Впрочем, фенилгидроксиамин нестабилен и в кислой среде всё равно превращается в 4-аминофенол.

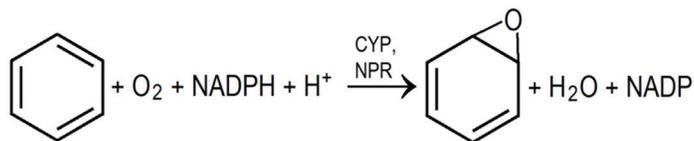
Сочетание гидроксирования с двумя последовательными этапами сульфокисления приводит к превращению тиофенола сначала в бензолсульфеновую, а затем – бензолсульфиновую и бензолсульфоновую кислоты:



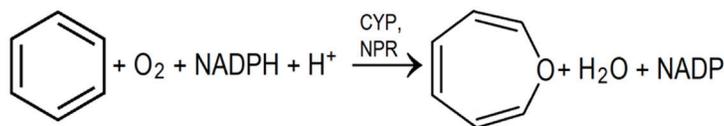
Примером дезалкилирования по атому кислорода является превращение анизола (метоксибензола) в фенол:



Эпоксицирование бензола под действием СУР приводит к формированию либо бензолоксида:



либо эпоксибензола:



И бензолксид, и эпоксибензол самопроизвольно превращаются в фенол, гидроксילирование которого под действием СУР были описаны выше.

Биологическую роль СУР можно проиллюстрировать тем фактом, что некоторые ксенобиотики (например, ТХДД), которые не способны модифицироваться этой системы ферментов, сохраняются в организме моллюсков и других животных в нетрансформированной форме более года.

СУР имеются у всех живых организмов за исключением облигатных анаэробов и некоторых паразитических простейших – плазмодиев (Наемноспоридия: Plasmodiidae, *Plasmodium*) и лямблий (Diplomonadida: Hexamitidae, *Giardia*). Всё наблюдаемое разнообразие генов СУР сформировалось из единого предкового варианта примерно 3 млрд лет назад. Число генов, кодирующих СУР, изменяется в широких пределах: от 1 у кошачьей двуустки (*Opisthorchis felinus* Blanchard, 1895) и 2 у дрожжей *Schizosaccharomyces pombe* Linder, 1893 до свыше 400 у ряда высших растений (картофеля, риса, сои, винограда и тополя). Наиболее часто

встречаемое количество генов СУР – несколько десятков. В царстве животных (Animalia L., 1758) число генов СУР находится в пределах от 35 у губки Большого Барьерного рифа *Amphimedon queenslandica* Hooper et Van Soest, 2006 до 235 у ланцетника *Branchiostoma floridae* Hubbs, 1922 (у человека выявлены 57 генов СУР, входящие в 18 семейств и 43 подсемейства¹) [41].

Генетического разнообразия СУР у моллюсков изучено недостаточно. По имеющимся на сегодняшний день данным, тихоокеанская устрица (*Crassostrea gigas* Thunberg, 1793) содержит 39 генов СУР [34]; калифорнийская мидия (*Mytilus californianus* Conrad, 1837) – 58 [34]; брюхоногий моллюск лоттия гигантская

¹ Современная (с 1987 г.) номенклатура СУР такова: СУР{номер семейства арабской цифрой}{идентификатор подсемейства заглавной латинской буквой}{номер изоформы арабской цифрой}{при необходимости – обозначение аллельной формы заглавными латинскими буквами}. В семейства объединяются СУР с гомологией аминокислотных последовательностей не менее 40 %, в подсемейство – не менее 55% [6].

(*Lottia gigantea* Sowerby, 1834) – 68 [41]; китайский гребешок (*Chlamys farreri* Müller, 1776) – 88 [35]. У моллюсков выявлены следующие CYP-семейства: CYP1, CYP2, CYP3, CYP4, CYP5, CYP10, CYP11, CYP17, CYP20, CYP24, CYP26, CYP27, CYP30, CYP356 [29; 34; 35; 41; 42; 45]. Вместе с тем знание нуклеотидных последовательностей генов CYP позволило бы разработать тест-системы для количественного определения уровня их экспрессии, что необходимо для изучения тонкой регуляции системы ферментов CYP.

NADPH-независимое окисление ксенобиотиков системой CYP

Для моллюсков (по крайней мере – для брюхоногих и двустворчатых) известен NADPH-независимый путь окисления ксенобиотиков.

В 1989 г. D. R. Livingstone с соавт., изучая ферментную систему CYP в гомогенатах пищеварительной железы мидии съедобной (*Mytilus edulis* L., 1758), обнаружили неизвестную биохимическую реакцию окисления, не зависящую от присутствия NADPH [37]. Позже этот феномен был описан для черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) [21] и *C. Gigas* [43]. В настоящее время NADPH-независимое окисление ксенобиотиков известно для большинства из исследованных моллюсков, а также для некоторых видов из других типов гидробионтов: ракообразных (Crustacea Brunnich, 1772) и губок (Porifera Grant, 1836) [44]. По-видимому, этот путь окисления развился в связи с необходимостью гарантированной биотрансформации токсинов микроводорослей независимо от имеющегося в организме пула

NADPH (который может оказаться недостаточен вследствие низкого уровня метаболизма моллюсков).

Наиболее вероятным механизмом NADPH-независимого окисления ксенобиотиков является участие пероксисом в эндосомальных реакциях [36; 37; 42]: по-видимому, в клетках печени моллюсков существует механизм рецепторного слияния пероксисом с эндосомами, который ингибируется NADPH-зависимым образом. При истощении внутриклеточного пула NADPH происходит слияние эндосом и пероксисом, вследствие чего CYP могут использовать для окисления пероксисомальный H_2O_2 .

Пероксисомы (PXS – Peroxisome) представляют ограниченные однослойной мембраной клеточные органеллы (300–1500 нм) с однородным матриксом, почкующиеся от эндоплазматического ретикулума (а также способные размножаться делением), присутствующие во всех эукариотических клетках и содержащие ферменты, которые используют молекулу O_2 для отщепления водорода от некоторых органических субстратов с образованием пероксида водорода (H_2O_2)¹:



Основными ферментами пероксисомы, осуществляющими эту реакцию, являются оксидаза D-аминокислот (КФ 1.4.3.3) и уратоксидаза (КФ 1.7.3.3). Избыток перекиси водорода обычно утилизируется каталазой (КФ 1.11.1.6), но в некоторых случаях H_2O_2 может

¹ Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984.

использоваться для окисления – в частности, ферменты системы CYP тогда не нуждаются в NADPH и NPR, а реакции, представленные в таблице 1 примут видоизменённый вид:



и т. п.

Пероксисомы являются «отголоском» древних адаптаций живых организмов к повышению содержания кислорода (а он был токсичен для первых анаэробов) в атмосфере Земли, начало которому было положено примерно 3,5 млрд лет назад появлением оксигенного фотосинтеза у цианобактерий (синезелёных водорослей).

Конъюгирование поляризованных ксенобиотиков с восстановленной формой глутатиона

Один из важнейших элементов схемы нейтрализации ксенобиотиков являются представители суперсемейства ферментов глутатионтрансфераз (GST – Glutathione-S-transferase) (КФ 2.5.1.18), которые осуществляют катализ реакции конъюгации ксенобиотиков с восстановленным глутатионом (GSH – Glutathione) [24; 32]. GSH – это небелковый трипептид (γ -глутамилцистеинилглицин), в котором глутамин связан с цистеином псевдопептидной связью через аминогруппу функционального остатка (рис. 4).

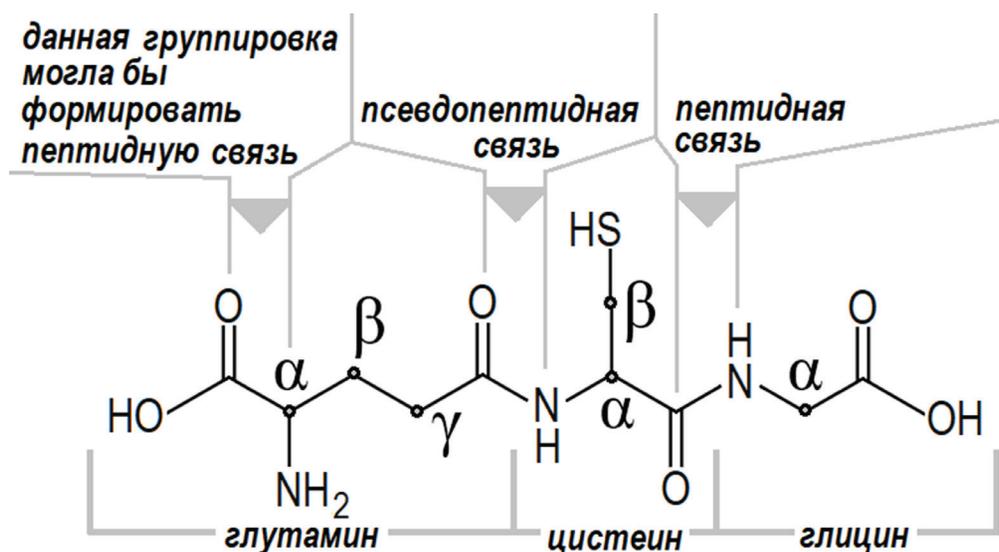
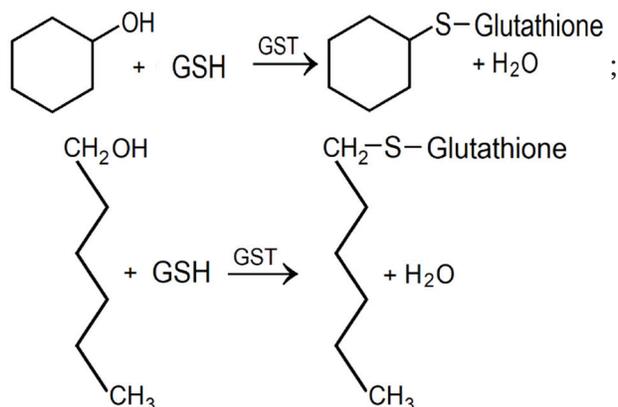


Рис. 4 / Fig. 4. Химическая структура восстановленного глутатиона с объяснением «псевдобелковости» этой молекулы / The chemical structure of the reduced glutathione with the explanation of the "pseudo-protein" of this molecule

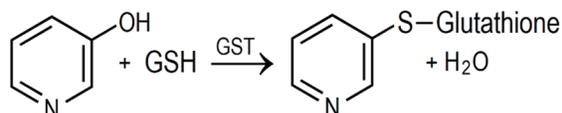
Источник: Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985. Т. 1, 367 с. Т. 2, 368 с. Т. 3, 320 с.; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994. Т. 1, 517 с. Т. 2, 539 с. Т. 3, 504 с.; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1, 232 с. Т. 2, 312 с. Т. 3, 400 с.

GST существуют в 3 различных формах: митохондриальная, цитозольная и мембраносвязанная. Именно последняя форма, образующая в шероховатом плазматическом ретикулуме, входит в состав почкующихся от комплекса Гольджи микросом, которые доставляют GST в лизофагосомы¹.

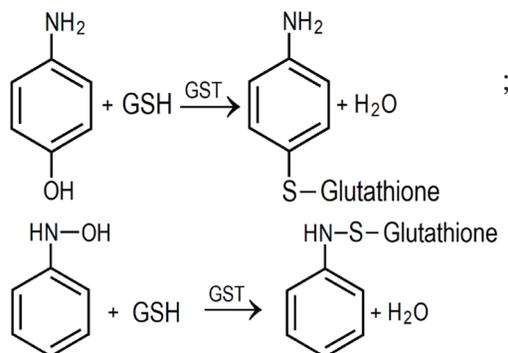
Поляризованные системой ферментов CYP ксенобиотики (см. выше) конъюгируются с GSH по тиоловой группе. Так, например, циклогексанол и гексанол превращаются в глутатион-циклогексанол и глутатион-гексанол, соответственно:



3-оксипиридин (гидроксилированное производное пиридина) превращается в глутатион-3-оксипиридин:

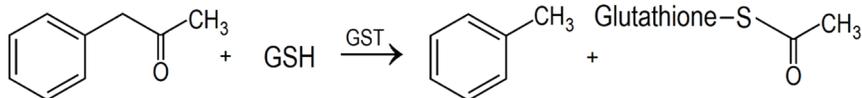


4-аминофенол и фенилгидроксиамин – производные анилина – в соответствующие глутатион-конъюгаты:



¹ Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985. Т. 1, 367 с. Т. 2, 368 с. Т. 3, 320 с.; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994. Т. 1, 517 с. Т. 2, 539 с. Т. 3, 504 с.; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1, 232 с. Т. 2, 312 с. Т. 3, 400 с.

Фенилацетон, получающий окислительным дезаминированием амфетамина, превращается в толуол и глутатионацетил:



Ксенобиотики в составе GS-конъюгатов теряют свою химическую активность (токсичность) и подвергаются гидролизу в лизофагосомах на завершающей стадии биотрансформации.

Показано, что активность GST в печени и жабрах моллюсков возрастает пропорционально уровню загрязнения среды их обитания ксенобиотиками [7; 9; 22; 49].

Гидролиз ксенобиотиков в лизофагосомах

Лизосомы являются клеточными органеллами, ограниченными однослойной липидной мембраной с кис-

лой внутренней средой и содержащими гидролитические ферменты. Лизосомы принимают участие во внутриклеточном переваривании макромолекул в процессе утилизации питательных веществ, ксенобиотиков (как правило, – конъюгатов ксенобиотиков с глутатионом), собственных фрагментов (автолиза и аутофагии) или внешних структур¹. Первичные лизосомы, сливаясь с эндосомами, закисляют их внутреннюю полость и обогащают её гидролитическими ферментами (табл. 2), формируя лизофагосомы.

Известны 2 пути реагирования лизосом на возрастание уровня поллю-

Таблица 2 / Table 2

Основные гидролитические ферменты лизосом / Basic hydrolytic enzymes of lysosomes

Название	Общее уравнение химической реакции
Кислая фосфатаза ² (ACP – Acid phosphatase) (КФ 3.1.3.2) (эферы фосфорной кислоты → спирты, ортофосфорная кислота)	$\text{R-O-P(=O)(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{ACP}} \text{R-OH} + \text{HO-P(=O)(OH)}_2$
Уриказа ³ (UOX – Urate oxidase) (КФ 1.7.3.3) (мочевая кислота → аллантоин)	

¹ Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985. Т. 1, 367 с. Т. 2, 368 с. Т. 3, 320 с.; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994. Т. 1, 517 с. Т. 2, 539 с. Т. 3, 504 с.; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1, 232 с. Т. 2, 312 с. Т. 3, 400 с.

² Традиционно является одним из ключевых биохимических маркёров лизосом.

³ Уриказа имеется у всех живых организмов, за исключением большинства видов пресмыкающихся (Reptilia Laurenti, 1768), птиц (Aves L., 1758), австралийских сумчатых кенгуровых крыс (Potoroidae Gray, 1821) и высших приматов (Hominidae Gray, 1825).

Название		Общее уравнение химической реакции	
Катепсины (протеазы)	Сериновые протеазы (SerP – Serine proteases) (КФ 3.4.21)	Гидролизуются пептидные связи белковых молекул	$\dots \text{NH} \begin{matrix} \text{R}^1 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{matrix} \text{NH} \begin{matrix} \text{R}^2 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{matrix} \dots + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{SerP / CysP / AspP}} \dots \text{NH} \begin{matrix} \text{R}^1 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{matrix} \text{OH} + \text{NH}_2 \begin{matrix} \text{R}^2 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \end{matrix} \dots$
	Цистеиновые протеазы (CysP – Cysteine proteases) (КФ 3.4.22)		
	Аспартиловые протеазы (AspP – Aspartic proteases) (КФ 3.4.23)		
Оксидаза D-аминокислот (DAO – D-amino acid oxidase) (КФ 1.4.3.3) (аминокислоты → α-кетокислоты)	$\text{R} \begin{matrix} \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{NH} \end{matrix} \text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{DAO}} \text{R} \begin{matrix} \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OH} \end{matrix} \text{COOH} + \text{NH}_3 + \text{H}^+$		
Кислая дезоксирибонуклеаза (ДНКаза II) (DNASE2 – Deoxyribonuclease 2) (КФ 3.1.22.1) (гидролизуются фос- фодиэфирные связи между нуклеотидами в составе цепи ДНК)	$\dots \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O} \dots + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{DNASE2}} \dots \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O}-\text{P}(\text{OH})_2 + \text{HO}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O} \dots$		
Кислая рибонуклеаза (ARNASE – Acid ribonuclease) (КФ 3.1.4.23) (гидролизуются фосфодиэфирные связи между нуклеотидами в составе цепи РНК)	$\dots \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O} \dots + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{ARNASE}} \dots \text{O}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O}-\text{P}(\text{OH})_2 + \text{HO}-\text{CH}_2 \begin{matrix} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{matrix} \text{O} \dots$		
β-D-галактозидаза (лактаза) (DGLS – β-D- galactosidase) (КФ 3.2.1.23) (β-D-галактозид → спирт и D-галактоза)	$\text{Galactose-R} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{DGLS}} \text{Galactose} + \text{HO-R}$		

Источник: Ленинджер А. Л. Основы биохимии. В 3 т. М.: Мир, 1985. Т. 1, 367 с. Т. 2, 368 с. Т. 3, 320 с.; Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. В 3 т. М.: Мир, 1994. Т. 1, 517 с. Т. 2, 539 с. Т. 3, 504 с.; Страйер Л. Биохимия. В 3 т. М.: Мир, 1984. Т. 1, 232 с. Т. 2, 312 с. Т. 3, 400 с.

тантов: повышение ферментативной активности и увеличение числа лизосом. Первый параметр является традиционным объектом изучения [5; 10; 13; 15; 17; 20]; второй – требует либо анализа статистически значимого количества гистологических срезов (рис. 5) [33; 39], либо использования методов определения количества (например, с помощью иммуноферментного анализа на основе моноклональных антител) белков семейства LAMP (Lysosomal-associated membrane protein), которые присутствуют только в мембранах лизосом и фаголизосом [28].

В том случае, когда клетки вынуждены производить лизосомы быстро и в большом количестве (например, при высоких концентрациях ксенобиотиков), не все компоненты их липидных мембран успевают сбалансированно

поставляться в эту органеллу. В результате стабильность мембран лизосом может заметно снижаться, что рассматривается в качестве одного из биохимических маркёров токсического повреждения эпителиоцитов дивертикул пищеварительной железы моллюсков [26; 40]. Методическим подходом здесь служит время удержания лизосомами захватываемого клетками красителя нейтрального красного [7; 40].

Заключение

Будучи естественными фильтраторами, моллюски не только являются важным элементом самоочищения водных экосистем, но и, чутко реагируя на присутствие поллютантов в среде их обитания, могут быть использованы в качестве биоиндикаторов уровня загрязнения водоёмов.

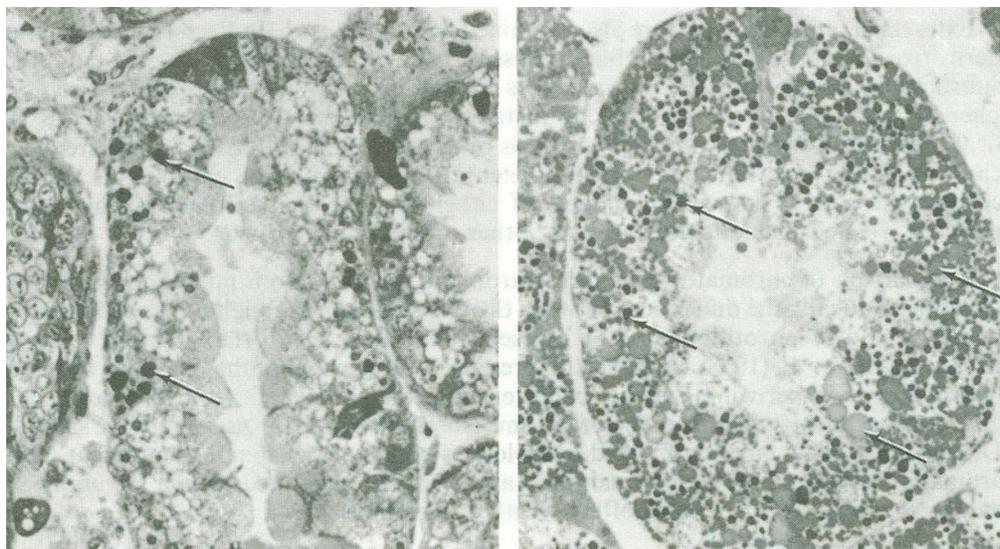


Рис. 5 / Fig. 5. Окрашенный смесью метиленового синего и фуксина гистологический срез дивертикул (пищеварительных трубочек) мидии съедобной (*Mytilus edulis* L., 1758). Лизосомы показаны стрелками/ Histological section of diverticula (digestive tubes) of the edible mussel (*Mytilus edulis* L., 1758) stained with a mixture of methylene blue and fuchsin. Lysosomes are shown by arrows

Источник: [33]

Биотрансформация ксенобиотиков моллюсками представляет собой комплексный процесс, в который вовлечены различные ферментные системы, главным образом пищеварительной железы. Знание общей схемы этого процесса, особенностей его этапов и взаимодействия различных физиологических и гистохимических систем позволяет проводить научно-обоснованное планирование мониторинговых исследований и конструирование критериев оценки качества среды. Систематизация представлений о биотрансформации ксенобиотиков моллюсками позволяют уже в ближнесрочной перспективе приступить к

переходу на новый качественный уровень токсикологических исследований с использованием этих животных, включающий синтез протеомных и молекулярно-генетических подходов.

Поскольку взаимодействие моллюсков с ксенобиотиками может быть проанализировано на различных уровнях системной организации, это позволяет рассматривать данную модель как основу для интеграции нескольких учебных дисциплин – от экологии и зоологии до гистологии и физико-химической биологии – с целью формирования у студентов целостного восприятия научной картины мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова М. В. Особенности китайского экспорта продукции водного промысла // Китай в мировой и региональной политике. История и современность. 2020. Т. 25. № 25. С. 349–370. DOI: 10.24411/2618-6888-2020-10021
2. Алимджанов Н. Н. Экологические аспекты химизации в сельском хозяйстве // Экономика и социум. 2020. № 6. С. 345–350.
3. Ворончихина К. А., Петренко Д. Б., Васильев Н. В. Оценка экологического состояния поверхностных вод урбанизированных территорий Московского региона по их макрокомпонентному составу // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 4. С. 76–86. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-76-86
4. Детенчук Е. А., Лебедев А. Т. Трансформация органических соединений при обеззараживании питьевой воды // Аналитика. 2020. Т. 10. № 6. С. 454–463. DOI: 10.22184/2227-572X.2020.10.6.454.462
5. Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В., Тишина Е. А. Изменение активности и множества форм кислой фосфатазы живородки речной под влиянием гербицидов на основе глифосата // Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы конф. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Морузи. 2019. С. 64–67.
6. Жизнь животных. Т. 2. Моллюски. Иглокожие. Погонофоры. Щетинкочелюстные. Полухордовые. Хордовые. Членистоногие. Ракообразные / под ред. Р. К. Пастернак. М.: Просвещение, 1988. 447 с.
7. Интегрированный ответ биомаркёров при оценке качества морской среды на примере двусторчатого моллюска *Mytilus trossulus* (Gould, 1850) / А. А. Истомина, А. А. Мазур, В. П. Челомин, С. П. Кукла, В. В. Слободскова, А. Ю. Звягинцев, Ю. В. Федорев и др. // Биология моря. 2021. Т. 47. № 3. С. 176–183. DOI: 10.31857/S0134347521030062
8. Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы) / О. Н. Савостикова, Р. А. Мамонов, И. А. Тюрина, А. В. Алексеева, Н. И. Николаева // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 11. С. 1218–1223. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223

9. Лукьянова О. Н., Ирейкина С. А. Глутатион-S-трансфераза как молекулярный маркёр состояния морских организмов при антропогенном воздействии // Известия РАН. Серия биологическая. 2011. № 4. С. 456–462.
10. Оценка влияния диазинона на активность кислой фосфатазы живородки речной / Д. С. Харламова, Е. А. Тишина, Т. С. Дроганова, Д. Б. Петренко, Л. В. Поликарпова // Актуальные проблемы биологической и химической экологии: мат-лы конф. / под ред. Х. Б. Юнусова. М.: ИИУ МГОУ, 2021. С. 292–299.
11. Павлов Ю. А. Экологическая война США во Вьетнаме (1961–1975): итоги и уроки // Социальные и гуманитарные науки на Дальнем Востоке. 2021. Т. 18. № 3. С. 89–93. DOI: 10.31079/1992-2868-2021-18-3-89-93
12. Повышение эффективности производства аквакультуры через развитие информационных цифровых технологий / О. И. Бетин, А. С. Труба, В. П. Черданцев, М. В. Тронина // Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23. № 3. С. 163–170. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-3-163-170
13. Попов А. П. Множественные формы ферментов живородки речной как маркёры токсического загрязнения воды: дис. ... канд. биолог. наук. М.: МПГУ, 2002. 171 с.
14. Стоник В.А., Стоник И.В. Морские токсины: химические и биологические аспекты изучения // Успехи химии. 2010. Т. 79. № 5. С. 442–465.
15. Тишина Е. А., Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В. Влияние гербицидов на основе 2,4-Д на активность кислой фосфатазы живородки речной (*Viviparus viviparus* L) // Актуальные проблемы биологической и химической экологии: мат-лы конф. / под ред. Х. Б. Юнусова. М.: ИИУ МГОУ, 2021. С. 287–292.
16. Уваева Е.И. Влияние антропогенной нагрузки в бассейне реки Тетерев на популяционные показатели живородки болотной *Viviparus contectus* (Mollusca, Gastropoda, Viviparidae) // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 5. Экономика. Социология. Биология. 2020. Т. 10. № 1. С. 133–140.
17. Ушева Л. Н., Фролова Л. Т. Морфофункциональные изменения пищеварительной железы у двустворчатого моллюска *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) // Биология моря. 2006. Т. 32. № 2. С. 115–124.
18. Чернова Е. Н., Русских Я. В., Жаковская З. А. Токсичные метаболиты сине-зелёных водорослей и методы их определения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Серия: Физика и химия. 2017. Т. 4. № 4. С. 440–473. DOI: 10.21638/11701/spbu04.2017.408
19. Щелканов Е. М., Мануков Ю. И., Никифорова Е. В. Альгоэпибиом млекопитающих: токсигенный и патогенетический аспекты // Ветеринарные и биологические аспекты в диагностике и лечении диких животных / отв. ред. Е. М. Любченко. Уссурийск, 2023. С. 26–48.
20. Au D. W. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review // Marine Pollution Bulletin. 2004. Vol. 48. № 9-10. P. 817–834. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.032
21. Benzo(a)pyrene hydroxylase activity in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*: a potential marker of contamination by polycyclic aromatic hydrocarbon-type compounds / X. Michel, J.-P. Salaun, F. Galgani, J.-F. Narbonne // Marine Environmental Research. 1994. Vol. 38. P. 257–273.
22. Biomarkers (glutathione S-transferase and catalase) and microorganisms in soft tissues of *Crassostrea rhizophorae* to assess contamination of seafood in Brazil / E. B. Ribeiro, K. S. Noleto, S. R. S. de Oliveira, W. Batista de Jesus, I. M. R. de Sousa Serra, Z. da Silva de Almeida, T. de Sousa de Oliveira Mota Andrade, et al. // Marine Pollution Bulletin. 2020. Vol. 158. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111348

23. Blanco J. Accumulation of Dinophysis toxins in bivalve mollusks // *Toxins (Basel)*. 2018. Vol. 10. № 11. DOI: 10.3390/toxins10110453
24. Characterization of a glutathione S-transferase and a related glutathione-binding protein from gill of the blue mussel, *Mytilus edulis* / P. J. Fitzpatrick, T. O. B. Krag, P. Højrup, A. Sheehan // *Biochemistry Journal*. 1995. Vol. 305. P. 145–150. DOI: 10.1042/bj3050145
25. Chlorothalonil induces oxidative stress and reduces enzymatic activities of Na⁺/K⁺-ATPase and acetylcholinesterase in gill tissues of marine bivalves / M. N. Haque, H.-J. Eom, S.-E. Nam, Y. K. Shin, J.-S. Rhee // *PLoS One*. 2019. Vol. 14. № 4. DOI: 10.1371/journal.pone.0214236
26. Development of an expert system for the integration of biomarker responses in mussels into an animal health index / A. Dagnino, J. I. Allen, M. N. Moore, K. Broeg, L. Canesi, A. Viarengo // *Biomarkers*. 2007. Vol. 12. № 2. P. 155–172. DOI: 10.1080/13547500601037171
27. Differential ABCB and ABCC gene expression and efflux activities in gills and hemocytes of *Mytilus galloprovincialis* and their involvement in cadmium response / C. Della-Torre, E. Bocci, S. E. Focardi, I. Corsi // *Marine Environmental Research*. 2014. Vol. 93. P. 56–63. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.06.005
28. Eskelinen E. L. Roles of LAMP-1 and LAMP-2 in lysosome biogenesis and autophagy // *Molecular Aspects of Medicine*. 2006. Vol. 27. № 5-6. P. 495–502. DOI: 10.1016/j.mam.2006.08.005
29. Evidence for the existence of cytochrome P450 gene families (CYP1A, 3A, 4A, 11A) and modulation of gene expression (CYP1A) in the mussel *Mytilus* spp. / A. N. Wootton, C. Herring, J. A. Spry, A. Wiseman, D. R. Livingstone, P. S. Goldfarb // *Marine Environmental Research*. 1985. Vol. 39. P. 21–26.
30. First evidence of transcriptional modulation by chlorothalonil in mussels *Perna perna* / A. D. S. Guerreiro, J. S. Monteiro, I. D. Medeiros, J. Z. Sandrini // *Chemosphere*. 2020. Vol. 255. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126947
31. Gupta S. A. Calcium storage and distribution in the digestive gland of *Bensonia monticola* (Gastropoda: Pulmonata): A histophysiological study // *Biological Bulletin*. 1977. № 153. P. 369–376.
32. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation // *Journal of Biological Chemistry*. 1974. Vol. 249. № 22. P. 7130–7139.
33. Hydrocarbon accumulation and histopathology in bivalve molluscs transplanted to the Baie de Morlaix and the Rade de Brest / D. A. Wolfe, R. C. Jr. Clark, C. A. Foster, J. W. Hawkes, W. D. Jr. Macleod // *Proceedings of the International Symposium Centre Oceanologique de Bretagne Breste (France)*. Breste, 1981. P. 599–616.
34. Identification of CYP genes in *Mytilus* (mussel) and *Crassostrea* (oyster) species: first approach to the full complement of cytochrome P450 genes in bivalves / J. Zanette, J. V. Goldstone, A. C. Bainy, J. J. Stegeman // *Marine Environmental Research*. 2010. Vol. 69. P. S1–S3. DOI: 10.1016/j.marenvres.2009.10.013
35. Identification of cytochrome P450 (CYP) genes in zhikong scallop (*Chlamys farreri*) / H. Guo, Z. Bao, H. Du, L. Zhang, S. Wang, L. Sun, X. Mou, et al. // *Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research)*. 2013. Vol. 12. № 1. P. 97–102. DOI: 10.1007/s11802-013-1967-5
36. Livingstone D. R. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*. 1998. Vol. 120. № 1. P. 43–49. DOI: 10.1016/s1095-6433(98)10008-9

37. Livingstone D. R., Kirchin M. A., Wiseman A. Cytochrome P450 and oxidative metabolism in molluscs // *Xenobiotica*. 1989. Vol. 19. P. 1041–1062. DOI: 10.3109/00498258909043161
38. Lobo-da-Cunha A. Structure and function of the digestive system in molluscs // *Cell Tissue Research*. 2019. Vol. 377. № 3. P. 475–503. DOI: 10.1007/s00441-019-03085-9
39. Lobo-da-Cunha A., Alves A., Oliveira E., Calado G. Functional histology and ultrastructure of the digestive tract in two species of chitons (Mollusca, Polyplacophora) // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10. № 2. DOI: 10.3390/jmse10020160
40. Martinez-Gomez C., Bignell J., Lowe D. Lysosomal membrane stability in mussels // *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*. 2015. Vol. 56. P. 1–41. DOI: 10.25607/OBP-240
41. Nelson D.R., Goldstone J.V., Stegeman J.J. The cytochrome P450 genesis locus: the origin and evolution of animal cytochrome P450s // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2013. Vol. 368. DOI: 10.1098/rstb.2012.0474
42. Peters L. D., Livingstone D. R. Induction of molluscan cytochrome P450 monooxygenase system as a biomarker of organic pollution in environmental monitoring // *Biomarkers in Marine Organisms: A Practical Approach* / eds.: Ph. Garrigues, H. Barth, C. H. Walker, J. F. Narbonne. Elsevier, 2001. Chapter 1. P. 1–28.
43. Schlenk D., Buhler D. R. Xenobiotic biotransformation in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology*. 1989. Vol. 94. P. 469–475. DOI: 10.1016/0742-8413(89)90100-x
44. Sole M., Livingstone D. R. Components of the cytochrome P450-dependent monooxygenase system and 'NADPH-independent benzo[a]pyrene hydroxylase' activity in a wide range of marine invertebrate species // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology*. 2005. Vol. 141. P. 20–31. DOI: 10.1016/j.cca.2005.04.008
45. The P450 gene superfamily: recommended nomenclature / D. W. Nebert, M. Adesnik, M. J. Coon, R. W. Estabrook, F. J. Gonzalez, F. P. Guengerich, I. C. Gunsalus, et al. // *DNA and Cell Biology*. 1987. Vol. 6. № 1. P. 1–11. DOI: 10.1089/dna.1991.10.1
46. Upregulation of biotransformation genes in gills of oyster *Crassostrea brasiliiana* exposed in situ to urban effluents, Florianopolis Bay, Southern Brazil / T. B. Pessatti, K. H. Lüchmann, F. Flores-Nunes, J. J. Mattos, S. T. Sasaki, S. Taniguchi, M. C. Bicego, et al. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 131. P. 172–180. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.04.003
47. Xenobiotic biotransformation, oxidative stress and obesogenic molecular biomarker responses in *Tilapia guineensis* from Eleyele Lake, Nigeria / O. R. Ibor, A. O. Adeogun, F. Regoli, A. Arukwe // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 169. P. 255–265. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.021
48. Young A. L. The history, use, disposition and environmental fate of agent orange. NY: Springer Science, 2009. 339 p.
49. Zhou Y., Yao L., Pan L., Wang H. Bioaccumulation and function analysis of glutathione S-transferase isoforms in Manila clam *Ruditapes philippinarum* exposed to different kinds of PAHs // *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2022. Vol. 112. P. 129–139. DOI: 10.1016/j.jes.2021.05.010

REFERENCES

1. Aleksandrova M. V. [Features of Chinese export of aquatic products]. In: *Kitay v mirovoy i regionalnoy politike. Istoriya i sovremennost* [China in world and regional politics. History and modernity], 2020, vol. 25, no. 25, pp. 349–370. DOI: 10.24411/2618-6888-2020-10021
2. Alimdzhanov N. N. [Environmental aspects of chemicalization in agriculture]. In: *Ekonomika i sotsium* [Economics and society], 2020, no. 6, pp. 345–350.

3. Voronchikhina K. A., Petrenko D. B., Vasilyev N. V. [Assessment of the ecological state of surface waters of urbanized territories of the Moscow region according to their macrocomponent composition]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences], 2017, no. 4, pp. 76–86. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-4-76-86
4. Detenchuk E. A., Lebedev A. T. [Transformation of organic compounds during disinfection of drinking water]. In: *Analitika* [Analytics], 2020, vol. 10, no. 6, pp. 454–463. DOI: 10.22184/2227-572X.2020.10.6.454.462
5. Droганова T. S., Polikarpova L. V., Tishina E. A. [Changes in the activity and multiple forms of acid phosphatase of the viviparous river under the influence of herbicides based on glyphosate]. In: Pishchenko E. V., Moruzi I. V., eds. *Sovremennoye sostoyaniye vodnykh bioresursov* [Current state of aquatic bioresources], 2019, pp. 64–67.
6. Pasternak R. K., ed. *Zhizn zhivotnykh. T. 2. Mollyuski. Iglkozhiye. Pogonofory. Shchetinkochelyustnyye. Polukhordovyye. Khordovyye. Chlenistonogiye. Rakoobraznyye* [Animal life. Vol. 2. Mollusks. Echinoderms. Pogonophora. Chaetognathous. Hemichordates. Chordata. Arthropods. Crustaceans]. Moscow, Prosveshcheniye Publ., 1988. 447 p.
7. Istomina A. A., Mazur A. A., Chelomin V. P., Kukla S. P., Slobodskova V. V., Zvyagintsev A. Yu., Fedorets Yu. V., et al. [Integrated response of biomarkers when assessing the quality of the marine environment using the example of the bivalve mollusk *Mytilus trossulus* (Gould, 1850)]. In: *Biologiya morya* [Biology of the sea], 2021, vol. 47, no. 3, pp. 176–183. DOI: 10.31857/S0134347521030062
8. Savostikova O. N., Mamonov R. A., Tyurina I. A., Alekseeva A. V., Nikolaeva N. I. [Xenobiotics and products of their transformation in wastewater (literature review)]. In: *Gigiyena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2021, vol. 100, no. 11, pp. 1218–1223. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223
9. Lukyanova O. N., Ireikina S. A. [Glutathione-S-transferase as a molecular marker of the state of marine organisms under anthropogenic influence]. In: *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Izvestia RAS. Biological series], 2011, no. 4, pp. 456–462.
10. Kharlamova D. S., Tishina E. A., Droганова T. S., Petrenko D. B., Polikarpova L. V. [Assessment of the influence of diazinon on the activity of acid phosphatase of the river viviparous]. In: Yunusova Kh. B., ed. *Aktualnyye problemy biologicheskoy i mediko-ekologii* [Current problems of biological and chemical ecology]. Moscow, MRSU Ed. of Publ., 2021, pp. 292–299.
11. Pavlov Yu. A. [US environmental war in Vietnam (1961–1975): results and lessons]. In: *Sotsialnyye i gumanitarnyye nauki na Dalnem Vostoke* [Social and humanitarian sciences in the Far East], 2021, vol. 18, no. 3, pp. 89–93. DOI: 10.31079/1992-2868-2021-18-3-89-93
12. Betin O. I., Truba A. S., Cherdantsev V. P., Tronina M. V. [Increasing the efficiency of aquaculture production through the development of digital information technologies]. In: *Voprosy rybolovstva* [Questions of fishing], 2022, vol. 23, no. 3, pp. 163–170. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-3-163-170
13. Popov A. P. *Mnozhestvennyye formy fermentov zhivorodki rechnoy kak markory toksicheskogo zagryazneniya vody: dis. ... kand. biol. nauk* [Multiple forms of viviparous enzymes as markers of toxic water pollution: Cand. Sci. thesis in Biological sciences]. Moscow, MPGU, 2002. 171 p.
14. Stonik V. A., Stonik I. V. [Marine toxins: chemical and biological aspects of study]. In: *Uspekhi khimii* [Advances in Chemistry], 2010, vol. 79, no. 5, pp. 442–465.
15. Tishina E. A., Droганова T. S., Polikarpova L. V. [Effect of herbicides based on 2,4-D on the activity of acid phosphatase of the viviparus viviparus L.]. In: Yunusova Kh. B., ed. *Aktual-*

- nyye problemy biologicheskoy i khimicheskoy ekologii* [Current problems of biological and chemical ecology]. Moscow, MRSU Ed. of Publ., 2021, pp. 287–292.
16. Uvaeva E. I. [The influence of anthropogenic load in the Teterev River basin on the population indicators of the marsh viviparus *Viviparus contectus* (Mollusca, Gastropoda, Viviparidae)]. In: *Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yanki Kupaly. Seriya 5. Ekonomika. Sotsiologiya. Biologiya* [Bulletin of the Grodno State University named after Yanka Kupala. Series 5. Economics. Sociology. Biology], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 133–140.
 17. Usheva L. N., Frolova L. T. [Morphofunctional changes in the digestive gland in the bivalve mollusk *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853)]. In: *Biologiya morya* [Marine Biology], 2006, vol. 32, no. 2, pp. 115–124.
 18. Chernova E. N., Russkikh Y. V., Zhakovskaya Z. A. [Toxic metabolites of blue-green algae and methods for their determination]. In: *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika i khimiya* [Bulletin of St. Petersburg State University. Series: Physics and Chemistry], 2017, vol. 4, no. 4, pp. 440–473. DOI: 10.21638/11701/spbu04.2017.408
 19. Shchelkanov E. M., Manukov Yu. I., Nikiforova E. V. [Algoepibiome of mammals: toxicogenic and pathogenetic aspects]. In: Lyubchenko E. M., ed. [Veterinary and biological aspects in the diagnosis and treatment of wild animals]. Ussuriysk, 2023, pp. 26–48.
 20. Au D. W. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review. In: *Marine Pollution Bulletin*, 2004, vol. 48, no. 9-10, pp. 817–834. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.032
 21. Michel X., Salaun J.-P., Galgani F., Narbonne J.-F. Benzo(a)pyrene hydroxylase activity in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*: a potential marker of contamination by polycyclic aromatic hydrocarbon-type compounds. In: *Marine Environmental Research*, 1994, vol. 38, pp. 257–273.
 22. Ribeiro E. B., Noletto K. S., Oliveira de S. R. S., Batista de Jesus W., Sousa Serra de I. M. R., Silva de Almeida da Z., Sousa de Oliveira Mota Andrade de T., et al. Biomarkers (glutathione S-transferase and catalase) and microorganisms in soft tissues of *Crassostrea rhizophorae* to assess contamination of seafood in Brazil. In: *Marine Pollution Bulletin*, 2020, vol. 158. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111348
 23. Blanco J. Accumulation of Dinophysis toxins in bivalve mollusks. In: *Toxins (Basel)*, 2018, vol. 10, no. 11. DOI: 10.3390/toxins10110453
 24. Fitzpatrick P. J., Krag T. O. B., Højrup P., Sheehan A. Characterization of a glutathione S-transferase and a related glutathione-binding protein from gill of the blue mussel, *Mytilus edulis*. In: *Biochemistry Journal*, 1995, vol. 305, pp. 145–150. DOI: 10.1042/bj3050145
 25. Haque M. N., Eom H.-J., Nam S.-E., Shin Y. K., Rhee J.-S. Chlorothalonil induces oxidative stress and reduces enzymatic activities of Na⁺/K⁺-ATPase and acetylcholinesterase in gill tissues of marine bivalves. In: *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 4. DOI: 10.1371/journal.pone.0214236
 26. Dagnino A., Allen J. I., Moore M. N., Broeg K., Canesi L., Viarengo A. Development of an expert system for the integration of biomarker responses in mussels into an animal health index. In: *Biomarkers*, 2007, vol. 12, no. 2, pp. 155–172. DOI: 10.1080/13547500601037171
 27. Della-Torre C., Bocci E., Focardi S. E., Corsi I. Differential ABCB and ABCC gene expression and efflux activities in gills and hemocytes of *Mytilus galloprovincialis* and their involvement in cadmium response. In: *Marine Environmental Research*, 2014, vol. 93, pp. 56–63. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.06.005
 28. Eskelinen E. L. Roles of LAMP-1 and LAMP-2 in lysosome biogenesis and autophagy. In: *Molecular Aspects of Medicine*, 2006, vol. 27, no. 5-6, pp. 495–502. DOI: 10.1016/j.mam.2006.08.005

29. Wootton A. N., Herring C., Spry J. A., Wiseman A., Livingstone D. R., Goldfarb P. S. Evidence for the existence of cytochrome P450 gene families (CYP1A, 3A, 4A, 11A) and modulation of gene expression (CYP1A) in the mussel *Mytilus* spp. In: *Marine Environmental Research*, 1985, vol. 39, pp. 21–26.
30. Guerreiro A. D. S., Monteiro J. S., Medeiros I. D., Sandrini J. Z. First evidence of transcriptional modulation by chlorothalonil in mussels *Perna perna*. In: *Chemosphere*, 2020, vol. 255. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126947
31. Gupta S. A. Calcium storage and distribution in the digestive gland of *Bensonia monticola* (Gastropoda: Pulmonata): A histophysiological study. In: *Biological Bulletin*, 1977, no. 153, pp. 369–376.
32. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. In: *Journal of Biological Chemistry*, 1974, vol. 249, no. 22, pp. 7130–7139.
33. Wolfe D. A., Clark R. C. Jr., Foster C. A., Hawkes J. W., Macleod W. D. Jr. Hydrocarbon accumulation and histopathology in bivalve molluscs transplanted to the Baie de Morlaix and the Rade de Brest. In: *Proceedings of the International Symposium Centre Oceanologique de Bretagne Breste (France)*. Breste, 1981, pp. 599–616.
34. Zanette J., Goldstone J. V., Baily A. C., Stegeman J. J. Identification of CYP genes in *Mytilus* (mussel) and *Crassostrea* (oyster) species: first approach to the full complement of cytochrome P450 genes in bivalves. In: *Marine Environmental Research*, 2010, vol. 69, pp. S1–S3. DOI: 10.1016/j.marenvres.2009.10.013
35. Guo H., Bao Z., Du H., Zhang L., Wang S., Sun L., Mou X., et al. Identification of cytochrome P450 (CYP) genes in zhikong scallop (*Chlamys farreri*). In: *Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research)*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 97–102. DOI: 10.1007/s11802-013-1967-5
36. Livingstone D. R. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish. In: *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*, 1998, vol. 120, no. 1, pp. 43–49. DOI: 10.1016/s1095-6433(98)10008-9
37. Livingstone D. R., Kirchin M. A., Wiseman A. Cytochrome P450 and oxidative metabolism in mollusks. In: *Xenobiotica*, 1989, vol. 19, pp. 1041–1062. DOI: 10.3109/00498258909043161
38. Lobo-da-Cunha A. Structure and function of the digestive system in mollusks. In: *Cell Tissue Research*, 2019, vol. 377, no. 3, pp. 475–503. DOI: 10.1007/s00441-019-03085-9
39. Lobo-da-Cunha A., Alves A., Oliveira E., Calado G. Functional histology and ultrastructure of the digestive tract in two species of chitons (Mollusca, Polyplacophora). In: *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, vol. 10, no. 2. DOI: 10.3390/jmse10020160
40. Martinez-Gomez C., Bignell J., Lowe D. Lysosomal membrane stability in mussels. In: *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*, 2015, vol. 56, pp. 1–41. DOI: 10.25607/OBP-240
41. Nelson D. R., Goldstone J. V., Stegeman J. J. The cytochrome P450 genesis locus: the origin and evolution of animal cytochrome P450s. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013, vol. 368. DOI: 10.1098/rstb.2012.0474
42. Peters L. D., Livingstone D. R. Induction of molluscan cytochrome P450 monooxygenase system as a biomarker of organic pollution in environmental monitoring. In: Garrigues Ph., Barth H., Walker C. H., Narbonne J. F., eds. *Biomarkers in Marine Organisms: A Practical Approach*. Elsevier, 2001. Chapter 1. P. 1–28.
43. Schlenk D., Buhler D. R. Xenobiotic biotransformation in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*). In: *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology*, 1989, vol. 94, pp. 469–475. DOI: 10.1016/0742-8413(89)90100-x

44. Sole M., Livingstone D. R. Components of the cytochrome P450-dependent monooxygenase system and 'NADPH-independent benzo[a]pyrene hydroxylase' activity in a wide range of marine invertebrate species. In: *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology and Pharmacology*, 2005, vol. 141, pp. 20–31. DOI: 10.1016/j.cca.2005.04.008
45. Nebert D. W., Adesnik M., Coon M. J., Estabrook R. W., Gonzalez F. J., Guengerich F. P., Gunsalus I. C., et al. The P450 gene superfamily: recommended nomenclature. In: *DNA and Cell Biology*, 1987, vol. 6, no. 1, pp. 1–11. DOI: 10.1089/dna.1991.10.1
46. Pessatti T. B., Luechmann K. H., Flores-Nunes F., Mattos J. J., Sasaki S. T., Taniguchi S., Bicego M. C., et al. Upregulation of biotransformation genes in gills of oyster *Crassostrea brasiliana* exposed in situ to urban effluents, Florianopolis Bay, Southern Brazil. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, vol. 131, pp. 172–180. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.04.003
47. Ibor O. R., Adeogun A. O., Regoli F., Arukwe A. Xenobiotic biotransformation, oxidative stress and obesogenic molecular biomarker responses in *Tilapia guineensis* from Eleyele Lake, Nigeria. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, vol. 169, pp. 255–265. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.021
48. Young A. L. *The history, use, disposition and environmental fate of agent orange*. NY, Springer Science, 2009. 339 p.
49. Zhou Y., Yao L., Pan L., Wang H. Bioaccumulation and function analysis of glutathione S-transferase isoforms in Manila clam *Ruditapes philippinarum* exposed to different kinds of PAHs. In: *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2022, vol. 112, pp. 129–139. DOI: 10.1016/j.jes.2021.05.010

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Щелканов Егор Михайлович – студент кафедры общей биологии и биоэкологии факультета естественных наук Государственного университета просвещения;
e-mail: egorshchelkanov@mail.ru

Тишина Екатерина Александровна – заведующая учебной лабораторией прикладной химии, ассистент кафедры теоретической и прикладной химии факультета естественных наук Государственного университета просвещения;
e-mail: ea.tishina@mgou.ru

Мануков Юрий Иванович – кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии и биоэкологии факультета естественных наук Государственного университета просвещения;
e-mail: manukov1@yandex.ru

Сапрыкин Владимир Павлович – доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии, экологии человека и медико-биологических знаний факультета естественных наук Государственного университета просвещения;
e-mail: v_p_s@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Egor M. Shchelkanov – Student, Department of General Biology and Bioecology, Faculty of Natural Sciences, Federal State University of Education;
e-mail: egorshchelkanov@mail.ru

Ekaterina A. Tishina – Head of Laboratory, Educational Laboratory of Applied Chemistry; Assistant, Department of Theoretical and Applied Chemistry, Faculty of Natural Sciences, Federal State University of Education;
e-mail: ea.tishina@guppros.ru

Yury I. Manukov – PhD (Biology), Assoc. Prof., Department of General Biology and Bioecology, Faculty of Natural Sciences, Federal State University of Education;
e-mail: manukov1@yandex.ru

Vladimir P. Saprykin – Dr. Sci. (Medicine), Prof., Department of Physiology, Human Ecology and Biomedical Knowledge, Faculty of Natural Sciences, Federal State University of Education;
e-mail: v_p_s@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Биотрансформация ксенобиотиков моллюсками (Mollusca L., 1758) – индикаторами загрязнения водных экосистем / Е. М. Шелканов, Е. А. Тишина, Ю. И. Мануков, В. П. Сапрыкин // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 154–181.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-154-181-

FOR CITATION

Shchelkanov E. M., Tishina E. A., Manukov Yu. I., Saprykin V. P. Biotransformation of xenobiotics by molluscs (Mollusca L., 1758) – indicators of aquatic ecosystem pollution. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 154–181.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-154-181

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 «зеленого» 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» включен 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.geocosreda.ru; www.vestnik-mgou.ru).

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ / GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT AND LIVING SYSTEMS

2024. № 1

Над номером работали:

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); сайты: www.geocosreda.ru; www.vestnik-mgou.ru

Формат 70x108/16, Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Minion Pro».
Тираж 500 экз. Усл. п.л. 11,5, уч.-изд. л. 11.

Подписано в печать: 31.03.2024. Выход в свет: 17.06.2024. Заказ № 2024/03-13.

Отпечатано в Государственном университете просвещения
105005, г. Москва, ул. Радио, 10А