

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 70

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года

Выходит 4 раза в год

ISSN 2713-3001

Санкт-Петербург
РГГМУ
2023

Представлены статьи по наиболее актуальным современным проблемам изучения природной среды: изменениям климата в региональном и глобальном масштабах; мониторингу, моделированию и прогнозированию физических процессов в атмосфере, водах суши и морской среде; влиянию антропогенной деятельности на разнообразные процессы в биосфере, атмосфере и гидросфере Земли. Материал сгруппирован по специальностям. В разделе «Хроника» освещены события жизни университета.

Журнал предназначен для ученых, широкой категории исследователей природной среды, а также аспирантов и студентов, обучающихся по соответствующим специальностям.

Редакционный совет:

Чилингаров А. Н., д-р геогр. наук, проф., член-корр. РАН, президент РГТМУ — *председатель совета*

Михеев В. Л., канд. юрид. наук, доцент, ректор РГТМУ — *зам. председателя совета*

Леонтьев Д. В., канд. юрид. наук, проректор по развитию РГТМУ, и.о. проректора по научной работе — *зам. председателя совета*

Агафонов Г. И., д-р техн. наук, академик РАН, председатель совета директоров холдинговой компании «Пигмент»; **Анри де Люмле**, PhD, проф., член-корр. Французской академии наук (Франция); **Камболов М. А.**, канд. юрид. наук, вице-президент Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»; **Квинт В. Л.**, д-р экон. наук, проф., главный научный сотр. Центрального экономико-математического института РАН; **Кулешов Ю. В.**, д-р техн. наук, проф., зам. начальника Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского по учебной и научной работе; **Малори Жан**, PhD, профессор, почетный президент РГТМУ (Франция); **Орыщенко А. С.**, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, зав. кафедрой СПбПУ; **Сальников В. Г.**, д-р геогр. наук, проф., декан ф-та географии и природопользования Казахского национального университета им. Аль-Фараби; **Сильников М. В.**, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, директор Института военно-технического обучения и безопасности СПбПУ; **Тимофеева А. Г.**, канд. геогр. наук, директор Института непрерывного обучения РГТМУ; **Федоров М. П.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, СПбПУ.

Редакционная коллегия:

Малинин В. Н., д-р геогр. наук, проф. — *главный редактор*

Кондратьев С. А., д-р физ.-мат. наук — *зам. главного редактора*

Гайдукова Е. В., канд. техн. наук, доцент — *отв. секретарь*

Алексеев Г. В., д-р геогр. наук, проф.; **Белоненко Т. В.**, д-р геогр. наук, проф.; **Биденко С. И.**, д-р техн. наук, проф.; **Блиновская Я. Ю.**, д-р техн. наук, проф.; **Вильфанд Р. М.**, д-р техн. наук, проф.; **Вуглинский В. С.**, д-р геогр. наук, проф.; **Гриценко В. А.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Дмитриев В. В.**, д-р геогр. наук, проф.; **Ермаков Д. М.**, д-р физ.-мат. наук; **Зиновьев А. Т.**, д-р техн. наук; **Иванов В. В.**, д-р физ.-мат. наук; **Костяной А. Г.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Кудрявцев В. Н.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Курашов Е. А.**, д-р биол. наук, проф.; **Лобанов В. А.**, д-р техн. наук, проф.; **Мохов И. И.**, д-р физ.-мат. наук, академик РАН; **Мушкет И. И.**, д-р юрид. наук, проф.; **Поздняков Ш. Р.**, д-р геогр. наук; **Прошутинский А. Ю.**, д-р физ.-мат. наук (СПША); **Репина И. А.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Румянцев В. А.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН; **Рябченко В. А.**, д-р физ.-мат. наук; **Смышляев С. П.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Тимофеев Ю. М.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Федорова Н. Ю.**, канд. пед. наук, доцент; **Филатов Н. Н.**, д-р геогр. наук, проф., член-корр. РАН; **Чернышков П. П.**, д-р геогр. наук, проф.; **Шапрон Б.**, PhD, ведущий ученый Института морских исследований IFREMER (Франция); **Шукин Г. Г.**, д-р физ.-мат. наук, проф.

Журнал является продолжением журнала «Ученые записки РГТМУ», который был основан в 2005 г. В 2010 г. он вошел в Перечень ВАК, а в январе 2020 г. переименован в журнал «Гидрометеорология и экология».

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство ПИ № ФС77-79574 от 27.11.2020 г.

Специализация: метеорология, гидрология, океанология, геоэкология, лимнология, геоинформатика, геофизика, общественные и гуманитарные науки.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Подписной индекс 78576 в «Каталоге российской прессы "Почта России"».

ISSN 2713-3001

Журнал входит в Перечень ВАК по направлению науки о Земле и окружающей среде, индексируется в системе CrossRef и включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>). Полнотекстовые версии опубликованных статей в виде pdf-файлов размещаются в Интернете для свободного доступа на сайте журнала <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/> сразу же после его выхода.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции: Россия, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79. Тел.: (812) 633-01-88 (доб. 421), e-mail: rio@rshu.ru.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГТМУ), 2023

© Авторы публикаций, 2023

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

THE FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
“RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY”

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

№ 70

A theoretical research journal

Published since October, 2005
4 issues a year

ISSN 2713-3001

St. Petersburg
RSHU
2023

UDC 001(051.2)«540.1»
LBC 72я5

Hydrometeorology and Ecology. No. 70. St. Petersburg : RSHU Publishers, 2023. 152 p.

The Journal contains articles on the most relevant contemporary problems of studying the environment: climate change in regional and global scales; monitoring, modeling and forecasting of physical processes in the atmosphere, inland and ocean waters; influence of anthropogenic activity on various processes in the biosphere, atmosphere and hydrosphere of the Earth. The material is grouped by specialty. The "Chronicle" section covers the events of the University life.

The Journal is intended for scientists, a broad category of environmental researchers, as well as post-graduate and graduate students of these specialties.

The Editorial Board:

Chilingarov A. N., Grand PhD in Geography, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of RSHU — *Chairman*

Mikheev V. L., PhD in Juridical Sciences, Associate Professor, Rector of RSHU — *Vice-Chairman*

Leont'ev D. V., PhD in Juridical Sciences, Vice-Rector for Development, Acting Vice-rector for Research of RSHU — *Vice-Chairman*

Agafonov G. I., Grand PhD in Engineering, Academician of the Russian Academy of Sciences, Board Chairman of "Pigment" holding company; **Fedorov M. P.**, Grand PhD in Engineering, Academician of the Russian Academy of Sciences, President of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; **Henry de Lumley**, PhD, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences, France; **Kambolov M. A.**, PhD in Juridical Sciences, Vice-president of the National Research Center «Kurchatov Institute»; **Kuleshov Iu. V.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Vice-president of Mozhaisky Military Space Academy for academic affairs and research; **Kvint V. L.**, Grand PhD in Economics, Professor, leading researcher of the RAS Central Economic and Mathematical Institute; **Malaurie Jean**, PhD, Professor, Honorary President of RSHU, France; **Otryshchenko A. S.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of Department at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; **Salnikov V. G.**, Grand PhD in Geography, Professor, Dean of Geography and Natural Management Faculty of Al-Farabi Kazakh National University; **Silnikov M. V.**, Grand PhD in Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Military-Technical Education and Security Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; **Timofeeva A. G.**, PhD in Geography, Director of the Institute of permanent education RSHU.

Editors:

Malinin V. N., Grand PhD in Geography, Professor — *Editor in Chief*

Kondratev S. A., Grand PhD in Physics and Mathematics — *Deputy Editor in Chief*

Gaidukova E. V., PhD in Engineering — *Executive editor*

Alekseev G. V., Grand PhD in Geography, Professor; **Belonenko T. V.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Bidenko S. I.**, Grand PhD in Engineering sciences, Professor; **Chernyshkov P. P.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Dmitriev V. V.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Ermakov D. M.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Fedorova N. Iu.**, PhD in Pedagogic Sciences, Associate Professor; **Filatov N. N.**, Grand PhD in Geography, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; **Gritsenko V. A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Ivanov V. V.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Kostyanov A. G.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Kudriavtsev V. N.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Kurashov E. A.**, Grand PhD in Biology, Professor; **Lobanov V. A.**, Grand PhD in Engineering, Professor; **Mokhov I. I.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Academician of the Russian Academy of Sciences; **Mushket I. I.**, Grand PhD in Juridical Sciences, Professor; **Pozdnyakov Sh. R.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Proshutinski A. Iu.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, USA; **Repina I. A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Rumyantsev V. A.**, Grand PhD in Geography, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; **Ryabchenko V. A.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Smyshlyaev S. P.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Timofeev Iu. M.**, Grand PhD in Physics and Mathematics; **Shapron B.**, PhD, leading scientist of French Research Institute for Exploitation of the Sea IFREMER (France); **Shchukin G. G.**, Grand PhD in Physics and Mathematics, Professor; **Vilfand R. M.**, Grand PhD in Engineering, Professor; **Vuglinsky V. S.**, Grand PhD in Geography, Professor; **Zinoviev A. T.**, Grand PhD in Engineering Sciences.

The Journal is continuation of the Journal "Proceedings of RSHU", founded in 2005. In 2010 it was included in the List of the Higher Attestation Commission, and in January 2020 it was renamed into the Journal "Gidrometeorologiya i ekologiya".

The Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media.

Certificate ПИ № ФС77-79574 of November 11, 2020.

Area of expertise: meteorology, hydrology, oceanology, geocology, limnology, geoinformatics, geophysics, social sciences and humanities.

Editorial Board's point of view may not be concurrent with opinion of the authors.

Subscription index 78576 in «Catalogue of the Russian press "Post of Russia"».

ISSN 2713-3001

The Journal included in the List of the Higher Attestation Commission in the direction of science of the Earth and the environment is indexed in the CrossRef and RSCI systems and is included in the "Russian Science Citation Index" (RSCI) database, placed on the National Electronic Library platform (<http://elibrary.ru>). Full-text versions of published articles as pdf-files are posted on the Internet for free access on the Journal's website <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/> immediately after its publication, afterwards being available on the National electronic library website (<http://elibrary.ru>).

Any use of this Journal in whole or in part, must include the customary bibliographic citation.

Editorial Office address: 192007, Voronezhskaya str., 79, St. Petersburg, Russia. Phone: (812) 633-01-88 (421), e-mail: rio@rshu.ru.

© Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 2023
© Authors of publications, 2023

Содержание

Климатология. Обзор

Б. Г. Шерстюков. Глобальное потепление и его возможные причины 7

Гидрология

Е. И. Гмыря, Б. В. Чубаренко. Количественная оценка величины расходов в реках Нижняя Преголя и Дейма (юго-восточная Балтика) по данным измерения придонных течений 38

А. В. Фролов, И. В. Соломонова. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний стока р. Северной Двины 54

Океанология

А. В. Гуцин. Гипотеза возникновения независимой популяции гвинейской тилипии (*Coptodon guineensis* (Günther)) в заливе Арген (Атлантический океан) 71

П. И. Бухарицин, В. Б. Ушивцев, С. А. Котеньков. Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть II (XIX—XXI вв.) 82

Геоинформатика

В. Г. Бурлов, М. А. Полюхович. Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов 100

Хроника

И.А. Кольцов. Из опыта проведения занятий со студентами РГГМУ в Государственном мемориальном музее обороны и блокады Ленинграда 123

А. С. Аверкиев, С. В. Лукьянов, В. П. Коровин, А. И. Узрюмов. К 90-летию кафедры океанологии РГГМУ 127

Памяти П. П. Бескида 149

Contents

Climatology. Review

- B. G. Sherstyukov.* Global warming and its possible causes. 7

Hydrology

- E. I. Gmyrya, B. V. Chubarenko.* Quantification of discharges in the Downstream Pregolya and Deyma rivers (the southeast Baltic) according to near-bottom current measurement data. 38
- A. V. Frolov, I. V. Solomonova.* Dynamic-stochastic modeling of the Northern Dvina runoff long-term fluctuations. 54

Oceanology

- A. V. Gushchin.* The hypothesis of appearance of an independent population of Guinean tilapia (*Coptodon guineensis* (Günther)) in the Gulf of Argen (Atlantic Ocean) 71
- P. I. Bukharitsin, V. B. Ushivtsev, S. A. Koten'kov.* Difficult rifts of the Volga-Caspian. Historical retrospective. Part II (XIX—XXI centuries) 82

Geoinformatics

- V. G. Burlov, M. A. Polyukhovich.* Development of a method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region under the hydrometeorological factors destructive impact. 100

- Chronicle.** 123

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 7—37.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70):7—37.

КЛИМАТОЛОГИЯ. ОБЗОР

Научная статья
УДК 551.583:[504.61+577.31]
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37

Глобальное потепление и его возможные причины

Борис Георгиевич Шерстюков

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных», Обнинск, Россия, boris@meteo.ru

Аннотация. На основе анализа научных публикаций и авторских результатов сформулированы недостатки существующего обоснования антропогенной гипотезы о причине глобального потепления. Указана методическая ошибка использования полуэмпирических моделей климата для доказательства антропогенной гипотезы потепления. Приведены примеры противоречий антропогенной гипотезы с особенностями наблюдаемых изменений климата. Показано, что современные изменения климата являются проявлением долгопериодных природных колебаний. Показана связь колебаний климата с циклическими воздействиями космоса на глобальную океаническую циркуляцию и затем на колебания климата. Отмечено, что не сокращение антропогенных выбросов CO₂ в атмосферу, а адаптация к природным колебаниям климата — оптимальный путь ослабления негативных климатических последствий.

Ключевые слова: климат, глобальное потепление, изменение климата, геомагнитная активность, барицентрическое вращение, резонанс.

Для цитирования: Шерстюков Б. Г. Глобальное потепление и его возможные причины // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 7—37. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37.

CLIMATOLOGY. REVIEW

Original article

Global warming and its possible causes

Boris G. Sherstyukov

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center, Obninsk, Russia, boris@meteo.ru

Summary. Based on the review of publications, the article shows the shortcomings of substantiating the anthropogenic hypothesis of global warming by semi-empirical climate models. The empirically achieved consistency of the results of mathematical modeling with the observed climate warming cannot serve as proof of the anthropogenic hypothesis.

By analyzing the data of long-term meteorological observations, it is shown that climate changes consist of a superposition of a super-century trend of temperature rise and waves of temperature fluctuations

lasting about 60—70 years, which have been observed since the very beginning of instrumental observations, since the XIX century. In the second half of the twentieth century, another warm phase of fluctuations superimposed on a super-century trend of temperature rise, climate warming intensified and coincided with the beginning of the industrial revolution. The main components of modern climate warming were formed many decades earlier than the beginning of the industrial revolution and therefore cannot be its consequence.

Based on the review of publications, the well-known fact is confirmed that global climate changes are the result of the long-period changes in the oceans, being associated with cyclical changes in the Solar System, and the ones in the ocean-atmosphere interaction.

Based on the author's research, the inertial feature of the manifestation of external influences in climate change is shown and the resonant perception of cyclic disturbances from space by the climatic oscillatory system is noted. The enormous thermal and dynamic inertia of the World Ocean creates a delay of 3—4 decades in the response of climate fluctuations to the cyclical impact of space.

The transmission of weak repetitive impacts of space on the climate is carried out according to the law of interaction of two oscillatory systems based on the resonances of the natural frequencies of the climate system and selected commensurate frequencies of cyclic impacts of space. In each region of the Earth, with its inherent set of natural frequencies, a resonant response in the ocean can occur if the natural frequency of the impact is equal to or comparable to the natural frequency of the place. Natural frequencies are different in different regions of the Earth, being determined by the physical, geographical and other features of the place.

The climate changes according to the cyclic laws of the Solar system. It is impossible to prevent natural long-term climate fluctuations, but their negative consequences can be mitigated by early adaptation to changing climate conditions. The struggle to reduce the burning of hydrocarbons has no scientific justification and slows down the industrial and economic development of mankind.

Keywords: climate, global warming, climate change, geomagnetic activity, barycentric rotation, resonance.

For citation: Sherstyukov B. G. Global warming and its possible causes. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):7—37. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37.

Введение

Глобальное потепление (ГП) климата последних нескольких десятилетий сопровождается нарастающими негативными последствиями для жизнедеятельности человека и для всей мировой экономики при сохранении большой неопределенности в понимании причин потепления. Неопределенность причин не позволяет строить надежные прогнозы изменений климата на будущее и повышает риск неправильного выбора мер и действий по ослаблению или преодолению негативных последствий глобального потепления. Несмотря на межправительственные резолюции об антропогенной причине ГП, вопрос о климате остается дискуссионным, а намеченные дорогостоящие пути удержания климата от дальнейшего потепления не гарантируют успеха. Однако ратификация Россией Парижского соглашения [1] заставляет еще раз вернуться к сути проблемы современного климата и сформулировать пути ее решения с учетом разных мнений.

Современное ГП, начавшееся со второй половины XX века, в официальных документах принято объяснять усилением парникового эффекта атмосферы в связи с интенсивными выбросами углекислого газа (CO_2) при сжигании ископаемого топлива человечеством. Этому объяснению способствовали выводы серии Докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и, особенно пятого Доклада [2]. В нем указано: «Свидетельства влияния человека

стали еще более весомыми за время, прошедшее после четвертого Доклада. При этом «...в высшей степени вероятно (*extremely likely*, 95—100 %), что влияние человека является доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины XX столетия», т. е. в Докладе полностью игнорируются естественные природные факторы.

По мнению авторов шестого Доклада МГЭИК [3], текущие изменения в климатической системе и те, которые ожидаются в будущем, станут все чаще оказывать значительное и пагубное воздействие на природную среду. Виновником этих изменений назван человек. Для сохранения климата в очередной раз рекомендовано сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу Земли.

Отсчет борьбы с парниковыми газами в РФ можно начать с Киотского протокола, подписанного в 1997 г. После окончания его действия в продолжение Киотского протокола в 2015 г. было разработано Парижское соглашение, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г. [1]. Страны, подписавшие Киотский протокол, взяли обязательства по сокращению эмиссии парниковых газов. США взяли на себя обязательства сократить выбросы на 7 %, но так и не ратифицировали документ. Канада обязалась сократить выбросы на 6 %, но вышла из соглашения незадолго до окончания первого периода действия протокола. Австралия и Япония остались участниками Киотского протокола, но не выполнили взятые на себя обязательства. Таким образом, многие страны публично демонстрировали стремление к борьбе с выбросами парниковых газов, но на практике действовали иначе — они ставили свои национальные экономические интересы выше своих международных природоохранных обязательств.

Для реализации Парижского соглашения необходим «зеленый» переход всей экономики мира. Решающим становится вопрос эффективности «зеленых» проектов. По различным оценкам, для крупных стран энергопереход к зеленой экономике потребует инвестирования более 1 трлн долл. до 2030 г., что может стать трудновыполнимой задачей как для бизнеса, так и излишней налоговой и ценовой нагрузкой для населения [4].

Выводы МГЭИК о необходимости зеленого перехода основаны на модельных оценках. С выводами МГЭИК согласны далеко не все ученые, как за рубежом, так и в России. Доводы несогласных основаны на всестороннем изучении проблемы климата по данным наблюдений с учетом тех особенностей климатической системы и внешних факторов климата, которые в моделях климата не учитываются. В настоящей статье обсуждаются наблюдаемые особенности изменений современного климата, не поддающиеся объяснению в рамках антропогенной гипотезы.

1. Мнения ученых о причине изменения современного климата

Ученых, изучающих проблемы климата, можно условно разделить на три группы по их выводам о соотношении природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение климата. В первой группе считают, что выбросы парниковых газов в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива являются главной или даже единственной причиной глобального потепления и всех сопутствующих бед. Природные факторы в этой группе ученых считаются несущественными.

Ученые второй группы допускают заметное влияние на климат как природных факторов, так и антропогенных, при их соотношении близком к 50/50 или с преобладанием природных факторов. Под природными факторами понимается как проявление внутренней изменчивости в климатической системе, так и внешние факторы (космические) по отношению к климатической системе. В третью группу ученых можно отнести тех, кто считает антропогенные факторы ничтожными по сравнению с факторами природными. Так сложилось, что общество больше обеспокоилось выводами ученых первой группы, поэтому антропогенная гипотеза глобального потепления получила наибольшее распространение в научных, популярных и политических толкованиях и публикациях. Имена как российских, так и зарубежных ученых присутствуют во всех группах.

Мнение ученых первой группы подробно изложены в материалах МГЭИК [2, 3], поэтому нет необходимости их повторять, а основные выводы ученых второй и третьей групп кратко приводятся далее.

Академик Российской академии наук (РАН) К. Я. Кондратьев в начале XXI века считал нерешенной проблему о причинах изменения глобального климата. По его мнению, недостаточная изученность климатообразующих процессов создает невозможность достоверно оценить соотношения вклада разных факторов в изменения глобального климата, в том числе вклада усиления парникового эффекта атмосферы в результате антропогенного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. Недоказанность антропогенной гипотезы К. Я. Кондратьев объяснял большим разбросом количественных оценок разных факторов. Он обращал внимание на то, что усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации CO_2 в атмосфере, по некоторым оценкам составит около 4 Вт/м^2 , а неопределенности тех же оценок могут достигать $10\text{—}15 \text{ Вт/м}^2$ [5, 6]. С тех пор дискуссия только обостряется, несмотря на заявления о достигнутом консенсусе экспертами МГЭИК [2]. Консенсус не добавляет уверенности в достижении истины. Консенсус с наукой методологически несовместим. Наука развивается только на основе противоречий. На самом деле ясности в вопросе о причине глобального потепления никогда не было.

С самого начала количественная сторона антропогенного фактора была не определена. В [7] отмечается, что в Докладах МГЭИК нерешенной остается главная проблема, а именно отсутствие убедительных количественных оценок вклада именно антропогенных факторов в формирование глобального климата. Одного этого достаточно для недоверия к выводам МГЭИК.

Намного раньше сторонник антропогенной гипотезы, один из идеологов МГЭИК, S. H. Schneider, тоже писал о неопределенности: «Глобальное потепление в результате увеличения выбросов парниковых газов стало серьезной научной и политической проблемой за последнее десятилетие. Однако оценки нынешних и будущих последствий потепления имеют значительную неопределенность» [8]. S. H. Schneider не исключал, что прогнозируемое в настоящее время антропогенное потепление может не оправдаться. В той же публикации он обсуждал возможные разные ответные меры на недоказанные вызовы климата. Предполагалось, что для смягчения последствий возможных изменений климата допустимы

любые варианты от активных инженерных мер до пассивной адаптации. В условиях большой неопределенности, опираясь на сомнительную гипотезу, он предложил «на всякий случай» применить меры по сокращению выбросов парниковых газов. При этом он не скрывал, что *этому предложению нет научного обоснования, а есть только оценочное суждение*. Вопросы о цене реализации такого предложения или о цене ошибки не обсуждались.

На основе такого оценочного суждения экспертами МГЭИК были сформулированы выводы о необходимости полномасштабной борьбы с выбросами парниковых газов всеми доступными методами и средствами [9]: *«С одной стороны, как ученые, мы этически привязаны к научному методу. ... С другой стороны, мы не только ученые, но и люди. ... Чтобы предотвратить риск (потенциально катастрофического изменения климата), нам нужно заручиться широкой поддержкой, чтобы поразить общественное воображение. Это, конечно, означает широкое освещение в средствах массовой информации. Поэтому мы должны предложить несколько страшных сценариев, сделать драматические заявления и мало упоминать о любых сомнениях, которые могут возникнуть у кого-то. ... Каждый из нас должен решить, каков правильный баланс между эффективностью и честностью»* [9]. По сути, это призыв к МГЭИК эффективно продвигать свою недоказанную гипотезу любыми способами, иногда жертвуя объективностью и даже честностью, с целью поразить воображение общественности для достижения своей задуманной цели. И после этого *выводы МГЭИК в каждом очередном Докладе предлагаются как доказанный научный результат в качестве руководства к действию лицам, принимающим решения*.

S. H. Schneider и C. Azar сообщают, что предлагаемая цель сокращения выбросов CO₂ в атмосферу в конечном счете является не научным, а политическим решением, поскольку зависит от оценочных суждений (от недоказанных предположений) [10]. Они отмечали, что действия «на всякий случай» политически вполне приемлемы. Они назвали это «климатическим страхованием» [10], но стоимость такого страхования не учитывалась.

По мнению других авторов [7], принятие руководящего принципа «избежать наихудшего на всякий случай» необоснованно ориентировало общество на самый опасный из всех возможных сценариев изменения климата в результате деятельности человека, забывая о множестве других возможных сценариев, включая противоположные. Этому принципу способствовала изначальная, ничем не доказанная, убежденность экспертов МГЭИК в усиливающемся влиянии человечества на климат.

Принимая решения об ограничении выбросов углекислого газа, полезно учитывать ненаучные подходы и принципы, которыми руководствовались члены МГЭИК, формулируя свои выводы и рекомендации, «стремясь поразить воображение».

Высказанное однажды предположение затем повторялось и повторяется без доказательств в каждой публикации, основанной на выводах МГЭИК: *«Повышение уровня парниковых газов в атмосфере в результате деятельности человека является основной движущей силой изменения климата с середины двадцатого*

века» [11]. А далее следуют примеры, доказывающие усиление потепления климата и его экстремальности. Не имея других идей, примеры усиления потепления выдаются за примеры доказательства влияния человека на климат. Природные причины для изменений климата в таких публикациях не рассматриваются.

Согласно очередному докладу Всемирной метеорологической организации, *«физические проявления и социально-экономические воздействия изменения климата ускоряются по мере того, как рекордные концентрации парниковых газов приводят к повышению глобальной температуры до все более опасных уровней»* [12]. Действительно, потепление климата продолжается (но не ускоряется), и концентрация парниковых газов растет, но физическая связь между ними количественно не доказана. Однонаправленные тренды изменения климата и концентрации парниковых газов трактуются в подобных документах как доказательство влияния человека на климат. Статистическая достоверность такого вывода равна нулю.

На самом деле понимание причин изменений климата является сложнейшей и пока нерешенной научной задачей. Главная проблема состоит в отсутствии достоверных количественных оценок вклада как антропогенных, так и природных факторов в формирование глобального климата [13]. Накопилось уже много фактов, противоречащих антропогенной гипотезе. Поэтому приведем еще лишь некоторые основные научные результаты разных лет по этой проблеме.

Академик РАН А. П. Лисицын (Институт океанологии РАН) в одном из своих докладов в 2018 г. говорил: «В последние годы было сделано два крупных научных открытия. Во-первых, было установлено, что климат на планете менялся во времени циклически и что его потепление — это естественный процесс. Во-вторых, главную роль в глобальных изменениях климата играет океан» [14].

Авторы публикации [15] подтверждают ведущую роль океана в долгопериодных колебаниях климата, которые на более коротких интервалах наблюдаются как изменения. Они [15] утверждают, что на интервалах климатических масштабов осредненной инициатива в процессе климатического энергетического обмена океан—атмосфера принадлежит океану. Поскольку атмосфера всего Северного полушария обладает термической инерцией, то между началом поступления в нее тепла океанских вод и повышением температуры приземного атмосферного слоя в масштабе северного полушария существует временной интервал.

Академик РАН Р. И. Нигматуллин утверждает, что деятельность человека может повлиять на климат, но, в основном, наблюдаемые изменения климата являются следствием природных процессов. Антропогенный фактор — лишь один из факторов в климатической системе [16].

Академик РАН В. М. Котляков не находит связи изменений климата с антропогенными воздействиями. В своей статье [17] он отмечает, что глобальный ход температуры гораздо сложнее роста мирового потребления топлива.

За историю инструментальных наблюдений произошло три глобальных потепления, повторяющихся через 60—70 лет. В последней четверти—и XX в. повышение температуры совпало с ростом потребления топлива, но потепление в 1930—1940 гг. проходило при малом потреблении топлива и, следовательно, для потепления было достаточно других, природных причин. Подобное потепление при

малом потреблении топлива было также еще раньше, в конце XIX в., до промышленной индустриализации. Тогда почему восходящую фазу очередной 60-летней волны потепления в последней четверти XX в. стали связывать только с выбросами углекислого газа? Именно это последнее потепление стали использовать для доказательства усиления влияния человека на климат, оставляя без объяснения предыдущие волны циклических потеплений с периодом около 60—70 лет.

Академик РАН Ю. А. Израэль высказывал идеи о том, что антропогенный фактор изменения климата еще не в полной мере до казан. На специальном семинаре в РАН под руководством Ю. А. Израэля в 2004 г. было сформулировано заключение по проблеме Киотского протокола о том, что меры по ограничению выбросов CO_2 , заложенные в Киотский протокол, не имеют научного обоснования.

Академик РАН А. С. Монин, совместно с Д. М. Сонечкиным, пришел к выводу, что многодекадные колебания климата возникают в результате нелинейных реакций климатической системы на внешние воздействия, главным из которых является циклическое воздействие, связанное с барицентрическим вращением Солнечной системы [18]. Упоминаний об антропогенном парниковом эффекте в этой монографии не приводится.

Академик Национальной академии наук Белоруссии и РАН В. Ф. Логинов на основе анализа космических факторов показал их заметную роль в изменениях климата. Его выводы ставят под сомнение заключение МГЭИК о полном доминировании антропогенного фактора в глобальном потеплении. В. Ф. Логинов сделал вывод о необходимости привлечения к работе в МГЭИК не только единомышленников, но и ученых, которые имеют иную точку зрения на причины и следствия современных изменений климата [19].

Член-корреспондент РАН С. М. Семёнов является сторонником антропогенной гипотезы, однако считает: «...представляется целесообразным оставить попытки объяснения наблюдаемых изменений глобального климата каким-то одним фактором — антропогенным или же естественным — и сосредоточиться на количественной оценке вкладов каждого из существующих факторов» [20].

Директор Главной геофизической обсерватории, старейшего научного учреждения по изучению климата, В. М. Катцов и академик РАН Б. Н. Порфирьев, изучая изменение климата Арктики и понимая всю сложность проблемы, отмечали нерешенность основных вопросов: каковы механизмы, ответственные за столь быстрое таяние льда в Арктике, каков относительный вклад естественных и антропогенных факторов в наблюдаемом ускорении? [21].

По оценкам МГЭИК, Арктические льды в последние несколько десятилетий сокращаются из-за антропогенного усиления парникового эффекта, но в публикациях сотрудников Арктического и Антарктического научно-исследовательского института регулярно утверждается, что потепление в конце XX века — было результатом природных колебаний. В работе [22] известными исследователями Арктики И. Е. Фроловым, З. М. Гудковичем, В. П. Карклиным и В. М. Смоляницким обращается внимание на то, что никто из сторонников глобального «парникового» потепления не доказал, что наблюдаемого увеличения концентрации CO_2 достаточно для того, чтобы вызвать потепление последних 30 лет.

В другой работе [23] упомянутые исследователи рассматривали особенности изменений климата Арктики и некоторых других регионов Земли с масштабами от десятилетий до столетий и выявили полициклический характер климатических изменений, произошедших с конца XIX до начала XXI в. По их данным, в Арктике наибольшую амплитуду имели 60-летние циклы, с которыми связано чередование теплых и холодных эпох. Аналогичные циклы ими обнаружены и в других регионах планеты. Такие колебания, по их наблюдениям, происходят на фоне более продолжительных изменений, которые обычно выражаются линейными трендами, предположительно связанными с циклом длительностью около 200 лет. Они отметили, что непосредственной их причиной является смещение пояса зонального переноса в атмосфере Северного полушария из высоких в умеренные широты. Возможной причиной смещения они называют изменения полной энергии, поступающей к Земле от Солнца, включая энергию солнечной активности. Они сделали вывод о том, что климатические изменения рассмотренных масштабов вызываются естественными причинами [23].

Е. Berry, сопоставляя природные и антропогенные изменения количества углекислого газа в атмосфере, отмечает, что выбросы углекислого газа человеком имеют уровень около 18 % в общем балансе, а существующий естественный приток CO_2 обеспечивает балансый уровень около 392 %, т. е. в 22 раза больше, и далее он делает вывод о том, что антропогенное увеличение количества CO_2 и его парниковый эффект незначительны по сравнению с естественным увеличением содержания CO_2 в атмосфере и с существующим естественным парниковым эффектом [24].

О пренебрежимо малой доли участия антропогенного CO_2 в потеплении климата сообщили в своей публикации В. М. Федоров, И. В. Алтунин и Д. М. Фролов. По их расчетам, содержание антропогенного CO_2 (без учета вулканической деятельности) для периода активной индустриализации с 1959 по 2021 г. составляло не более 4,1 % общего содержания диоксида углерода в атмосфере. При повышении глобальной температуры на 0,81 °C на долю диоксида углерода, связанную с деятельностью человека, за это время пришлось повышение глобальной температуры Земли не более чем на 0,0004 °C [25].

Н. D. Lightfoot и О. А. Mameg считают, что если CO_2 оказывает какое-либо влияние на температуру атмосферы, то оно незначительно. Следовательно, как они отмечают, нынешняя политика по контролю температуры атмосферы путем ограничения потребления ископаемого топлива будет иметь незначительный эффект [26].

В работах [27, 28] подробно обсуждается положительная обратная связь между влагосодержанием атмосферы (ВА) и температурой воздуха над Мировым океаном. Показано, что поскольку вклад ВА в парниковый эффект (ПЭ) составляет около 75 %, то ПЭ от увеличения ВА ведет к росту температуры воздуха, которая, в свою очередь, через положительную обратную связь увеличивает ВА. При этом долговременные изменения ВА зависят в основном от влагообмена океана с атмосферой, а не от накопления CO_2 в атмосфере [27—29]. Еще в 1970-е гг. S. Manabe [30] показал, что при удвоении концентрации CO_2 температура воздуха без учета водяного пара (для сухой атмосферы) повышается на 1,3 °C, а при его учете — на 2,3 °C,

т. е. водяной пар через ПЭ увеличивает изменение температуры в 1,8 раза сильнее, чем CO_2 [30]. Водяной пар является наиболее сильным парниковым газом, способным повысить температуру. Профессором В. М. Малининым с соавторами в [27, 28] сформулирован вывод о том, что глобальное потепление обусловлено в основном изменениями в процессах крупномасштабного взаимодействия океан—атмосфера и регулируется системой положительных и отрицательных обратных связей, причем положительные связи преобладают. Главенствующей является положительная обратная связь между ВА и температурой воздуха [27, 28]. Возможно, парниковый эффект от CO_2 вносит свой вклад в испарение влаги с поверхности океана, но увеличение содержания CO_2 в атмосфере не может быть главной причиной потепления климата. Главной причиной усиления парникового эффекта в атмосфере является увеличение ВА, а природных причин для увеличения ВА достаточно без привлечения дополнительных антропогенных гипотез.

О доминирующем влиянии ВА на потепление климата также говорит тот факт [29], что формирование тренда в испарении и осадках начинается на 10 лет раньше, чем в температуре воздуха. Также выявлено [29], что доминирующим фактором формирования максимальных значений парникового эффекта, которые отмечаются в экваториальной зоне, является водяной пар.

Но другая связь между потеплением климата и концентрацией CO_2 в атмосфере все же существует, как следствие газообмена между океаном и атмосферой, зависящим от температуры. При повышении температуры вод Мирового океана растворенный в океане CO_2 начинает выделяться в атмосферу, а при понижении температуры океана CO_2 атмосферы лучше растворяется в океанской холодной воде, поэтому его концентрация в атмосфере уменьшается. В историческом плане это показано в работе [31]. Обработка реконструкций средней глобальной температуры и CO_2 последних четырех ледниковых циклов (длительность интервала около 400 тыс. лет), полученных при химических анализах ледникового ядра станции «Восток» в Антарктиде, а затем и других антарктических станций, показала, что при всех переходах между ледниковьями и межледниковьями смена трендов температуры и CO_2 всегда начиналась с температуры. Поэтому, как считают авторы [31], изменения CO_2 нельзя рассматривать как причину прошлых изменений климата.

Для периода инструментальных наблюдений температуры был получен аналогичный результат [32]. Было показано, что изменения в концентрации CO_2 всегда отставали от изменений температуры. Максимальная положительная корреляция между CO_2 и температурой была обнаружена при запаздывании CO_2 на 11—12 месяцев по отношению к глобальной температуре поверхности Мирового океана, на 9,5—10 месяцев по отношению к глобальной температуре приземного воздуха и примерно на 9 месяцев по отношению к глобальной температуре нижней тропосферы. Там же сделан вывод о том, что современные междугодовые изменения CO_2 имели природное происхождение и не были вызваны колебаниями в количестве ежегодно поступающего в атмосферу CO_2 при сжигании топлива.

В работе [33] аналогичная зависимость описана на примере сравнения потоков CO_2 в области Эль-Ниньо—Южное колебание (ЭНЮК) в годы повышения и

понижения температуры воды. На основе данных наблюдений за период 1983—2016 гг. показано, что осредненный по области ЭНЮК поток CO_2 в атмосферу во время Эль-Ниньо резко усиливается, а во время Ла-Нинья также резко ослабевает [33].

Ряд ученых, анализируя данные наблюдений, все же считают, что одновременное совместное действие антропогенного фактора и природных факторов — это, возможно, наиболее реальный механизм формирования тренда в современных изменениях глобальной температуры воздуха [34, 35].

Примерно такого же мнения придерживается академик Мохов с соавтором [36], которые, анализируя межгодовую изменчивость климата, пришли к выводу о том, что «для сравнительно коротких интервалов времени (15—30 лет) вклад атлантической мультидесятилетней осцилляции (АМО) в тренд глобальной температуры воздуха сопоставим с вкладом парниковых газов и может даже превышать его [36].

Все выводы о доминировании природных факторов колебаний климата были получены на основе анализа данных наблюдений. Выводы о доминировании антропогенного парникового эффекта в глобальном потеплении получены на основе моделей климата. Ошибочно считать, что только по моделям можно оценить вклад усиления парникового эффекта в современное глобальное потепление. Напротив, по существующим математическим моделям климата такие оценки получать нельзя, так как чувствительность этих моделей к парниковому эффекту закладывалась априори в процессе создания и настройки этих моделей (подробнее об этом будет сказано далее).

Сравнивая изменения радиационного баланса с изменениями климата в конце XX и начале XXI в. на территории России в условиях ясного неба и сухой погоды, в работах автора [37, 38] по данным наблюдений было показано, что общий вклад усиления парникового эффекта в потепление составил около 25 %. В эту оценку вошел суммарный эффект от природного и антропогенного усиления парникового эффекта. В упомянутых исследованиях [37, 38] не было возможности отделить парниковый эффект антропогенного CO_2 от парникового эффекта природного CO_2 , поэтому важно отметить, что 25 % — это суммарный вклад природного и антропогенного CO_2 в потепление климата. Следовательно, вклад антропогенного эффекта был заведомо меньше 25 % и никак не может считаться доминирующим фактором глобального потепления. Остальные более 75 % вклада составляют изменяющиеся природные внешние факторы. Возвращаясь к оценкам [24] о том, что выбросы углекислого газа человеком имеют уровень в 22 раза меньше, чем существующий естественный приток CO_2 , и если отделить природную составляющую усиления парникового эффекта от антропогенной, то получаем, что вклад антропогенного CO_2 в потепление климата составлял около 1 %.

В своем цикле работ В. М. Федоров сравнивал изменения современного глобального климата Земли с параметрами небесной механики [39, 40]. По его мнению, изменения климата связаны с многолетней тенденцией увеличения разности между притоками солнечной радиации на экваторе и на полюсах и, как следствие этого, с усилением межширотного теплообмена на Земле. Несколько иначе связь изменения климата с изменениями инсоляции описывает профессор

Г. В. Алексеев с соавторами [41]. По их мнению, не усиление межширотной разности в инсоляции, а усиление притока инсоляции в низких широтах приводит к потеплению климата. Г. В. Алексеев показал, что при росте инсоляции низких широт, несмотря на слабый тренд увеличения инсоляции, происходит заметное повышение температуры поверхности океана, температуры воздуха, а также наблюдается увеличение содержания водяного пара и усиление нисходящей длинноволновой радиации в атмосфере низких широт. Заметный рост нисходящей длинноволновой радиации подтверждает усиление парникового эффекта от увеличения ВА [41], который через положительную обратную связь температуры и ВА усиливает повышение температуры [42].

Потепление в высоких широтах после этого происходит с запаздыванием на 2—3 года под влиянием атмосферного и океанического переноса тепла и влаги в высокие широты. Так повышение ВА в низких широтах способствует потеплению климата на всех широтах [43].

Отмеченная Г. В. Алексеевым связь потепления с ростом ВА согласуется с выводами В. Н. Малинина, описанными выше, о ведущей роли ВА в общем парниковом эффекте в атмосфере и в изменении климата.

В [44] описаны новые результаты о предполагаемых комплексных космических факторах, с которыми обнаружены связи изменений глобальной циркуляции океанических вод. Подтвержден известный факт о том, что изменения глобального климата являются следствием долгопериодных изменений в Мировом океане, а сами долгопериодные изменения в океане оказались связанными с циклическими изменениями в Солнечной системе (в небесной механике). Показано, что барицентрическое вращение тел Солнечной системы сопровождается неучтенными ранее силами, возмущающими движение Земли по орбите и влияющими на скорость осевого вращения Земли, а также на основные океанические течения и на возмущения магнитного поля Земли. Со скоростью осевого вращения Земли связаны изменения в циркуляциях атмосферы и океана, а с изменениями магнитного поля Земли связаны электрические токи, возникающие в Мировом океане с выделением энергии. Все перечисленные факторы требуют более глубокого изучения.

Важным результатом исследований автора [44—46] является обнаружение неизвестных ранее асинхронных связей состояния климата с внешними факторами. Вслед за циклическими изменениями параметров барицентрического вращения Солнечной системы происходят аналогичные циклические изменения температуры поверхности океана (ТПО) с запаздыванием на 3—4 десятилетия. Эти связи наиболее заметно проявляются вдоль траекторий основных океанических течений. Связи изменений ТПО с геомагнитными возмущениями тоже проявились с запаздыванием на 3—4 десятилетия и тоже по траекториям океанических течений. Такое запаздывание согласуется со скоростями переноса возмущений в трехмерном Мировом океане.

Изменения ТПО в районах основных океанических течений затрагивают всю глобальную систему океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория большого океанического конвейера утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему [47].

В работе [48] на основе анализа климатических циклов высказано предположение о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через большой конвейер представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе [49] описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удаленных регионов полушария примерно за 30 лет.

Возражения относительно внешних влияний на климат из-за их слабой энергии снимаются, если вспомнить, что климатическая система — это колебательная система со своими собственными предпочтительными локальными внутренними частотами, а внешние воздействия на нее — повторяющиеся, циклические. Согласно теории колебаний, повторяющиеся внешние воздействия на любую колебательную систему передаются через систему резонансов и биений на соизмеримых или на близких частотах [50]. Малая энергия каждого отдельного воздействия компенсируется бесчисленным количеством повторяющихся воздействий на соизмеримых частотах. Не существует нижнего предела величины воздействия, способного раскачать колебательную систему на резонансной собственной частоте. Даже слабые повторяющиеся внешние воздействия могут оказаться эффективными. В применении к климатической колебательной системе это означает, что малая величина повторяющихся воздействий космоса на климатическую систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний и биений.

Повторяющиеся воздействия из космоса на Землю имеют широкий спектр частот, близкий к широкому спектру колебаний климата океана. Собственные частоты в разных частях и на разных глубинах Мирового океана различны и определяются физико-географическими условиями места (географической широтой, расстояниями до континентов, рельефом дна океана и т.д.), а также плотностью воды и другими параметрами. Океан мало изучен, но можно уверенно сказать, что на планете обязательно найдутся места и глубины, на которых собственные частоты океана окажутся равными или соизмеримыми с избранными частотами повторяющихся космических воздействий, и в тех местах обязательно возникнут резонансные колебания климата под влиянием циклических внешних факторов.

Повторяющиеся воздействия на Землю возникают из-за неравномерности осевого и орбитального вращения Земли при взаимодействиях с другими планетами и с Луной, под воздействием неоднородностей и переменности межпланетного магнитного поля, при изменениях солнечной активности и интенсивности космических лучей, при высыпаниях в ионосферу заряженных частиц во время магнитных бурь и так далее. Элементы упомянутых воздействий неоднократно подтверждены с оговоркой, что сила этих воздействий невелика [51—53].

Если теория динамических систем верна [50], и климатическая система обладает свойствами колебательной системы, и при этом существует периодическое, пусть даже очень слабое, космическое воздействие на нее, то бесспорным

является утверждение о неизбежности существования в климатической системе колебаний, сгенерированных космическими воздействиями. Таким образом, предложенная гипотеза уже не является гипотезой, а в строгом соответствии с теорией отражает свойство взаимодействия колебательных систем — системы повторяющихся воздействий космоса и колебательной системы климата.

В сложной системе в моменты наступления резонанса могут усиливаться колебания за счет высвобождения внутренней энергии системы. Именно такой сложной и нелинейной является климатическая система, резонансы с внешними воздействиями и с выделением внутренней энергии в ней возможны. Следует учитывать, что резонансы могут возникать не только при соотношении периодов воздействия и отклика 1:1, но и при соизмеримых периодах 1:2, 1:3, 2:1, 3:1 и т.д. А при близких периодах будут возникать биения — колебания в климатической системе на ее собственной частоте будут возникать и исчезать с периодом биений по соответствующему закону физики.

Многие параметры небесной механики Земли взаимосвязаны, механизмы возможного влияния каждого параметра на климат не изучены, поэтому статистические связи изменений климата с небесной механикой трудно интерпретировать физически с математическим описанием, но уже накоплено достаточно оснований для признания таких связей. Резонансные связи согласуются с общими законами формирования и взаимодействий в Солнечной системе. Резонансное согласование является фундаментальной закономерностью эволюции и устройства Солнечной системы [54].

Колебания (изменения) климата каким-то образом являются частью общих процессов и закономерностей циклических изменений в Солнечной системе.

С учетом приведенных выше фактов, предположения МГЭИК об изолированности климатической системы от внешних воздействий и о доминировании антропогенного фактора в современных изменениях климата представляются упрощенными и научно необоснованными.

2. О применимости полуэмпирических моделей для доказательства антропогенной гипотезы

При всем уважении к светилам математической науки, к экспертам, которые объединились в МГЭИК, их выводы о вине человека в глобальном потеплении климата не являются убедительными и не признаются многими другими не менее уважаемыми учеными. Выводы экспертов МГЭИК основаны на рукотворных полуэмпирических моделях с элементами не совсем научного подхода, а выводы других — основаны на результатах анализа данных наблюдений. О существовании большого количества экспертов, несогласных с выводами МГЭИК, можно судить по Всемирной климатической Декларации [55], подписанной 1410 учеными со всего мира (по данным на 1 октября 2022 г.). Количество подписей под Декларацией продолжает увеличиваться.

По мнению ученых, подписавших Декларацию, глобальное потепление вызвано как природными, так и антропогенными факторами, и отмечается, что

климат Земли менялся всегда с естественным чередованием холодных и теплых фаз. При сравнении давних прогнозов потепления климата из публикаций МГЭИК с новыми данными наблюдений стало понятно, что современное потепление происходит гораздо медленнее, чем прогнозировалось МГЭИК по моделям на основе предполагаемого антропогенного воздействия. Различия между модельным и фактическим потеплениями подтверждают несовершенство описанной в моделях основной (антропогенной) причины глобального потепления. Поэтому выводы о необходимости ограничения концентрации CO_2 в атмосфере и соответствующие меры не могут гарантировать стабилизацию климата, но неизбежно повлекут тяжелые экономические последствия. Кроме того, рекомендации по сокращению концентрации CO_2 совсем не учитывают полезное воздействие CO_2 на растительность. Не учитывают, что обогащение атмосферы углекислым газом является полезным. CO_2 — это основа растительной жизни на Земле, CO_2 безвреден для человека, он не является загрязнителем. Увеличение количества CO_2 благоприятно для растительности планеты. Дополнительное содержание CO_2 в воздухе выгодно для сельского хозяйства, за счет повышения урожайности сельскохозяйственных культур во всем мире [56—58].

Различия между прогностическими значениями глобальной температуры и фактическими ее значениями, полученными позднее по наблюдениям, видны на рис. 1. Рисунок составлен из прогностических графиков глобального климата, которые раньше ежегодно публиковали под названием «Weather and climate change» на сайте одного из ведущих климатических центров мира [59]. Прогнозы климата составлялись [59] по 22 лучшим моделям из проекта CMIP5 [60]. На рис. 1 показаны наблюдаемые (черный цвет) и спрогнозированные (синий цвет) ранее аномалии глобальной среднегодовой температуры. Красным цветом показан разброс составленных ранее прогнозов по разным моделям проекта CMIP5. В прогнозе 2016 г. зеленым цветом показан интервал, в котором находятся 90 % всех прогнозных значений температуры. Показаны прогнозы, сделанные в разные годы. Рисунки взяты с сайта [59]. Автором на них нанесены сглаженные кривые, указывающие прогностические тенденции каждого прогноза климата. Сравним прогностические тенденции с фактическими данными.

На рис. 1 *а* показаны прогнозные тенденции на период до 2020 г., вычисленные по моделям в 2003 и в 2011 гг. (сглаженные кривые), на рис. 1 *б* — прогнозные оценки, составленные в 2012 г., на рис. 1 *в* — оценки, составленные в 2016 г.

В 2003 г. предполагалось, что дальнейшее потепление будет усиливаться возрастающими темпами по экспоненте, как показано на рис. 1 *а*, но этого не случилось, обнаружилась пауза в потеплении климата вопреки гипотезе и продолжающемуся накоплению CO_2 в атмосфере. При составлении нового прогноза в 2011 г. учли ошибку модели, скорректировали начальные условия и опять спрогнозировали интенсивный рост температуры на несколько ближайших лет. Но уже в 2012 г. предположили (рис. 1 *б*), что пауза в потеплении может затянуться, поэтому в новом прогнозе от декабря 2012 г. прогностическую температуру понизили; ожидалось, что потепление замедлится и климат будет более стабильным. В прогнозе 2016 г. от стабилизации отказались и опять спрогнозировали

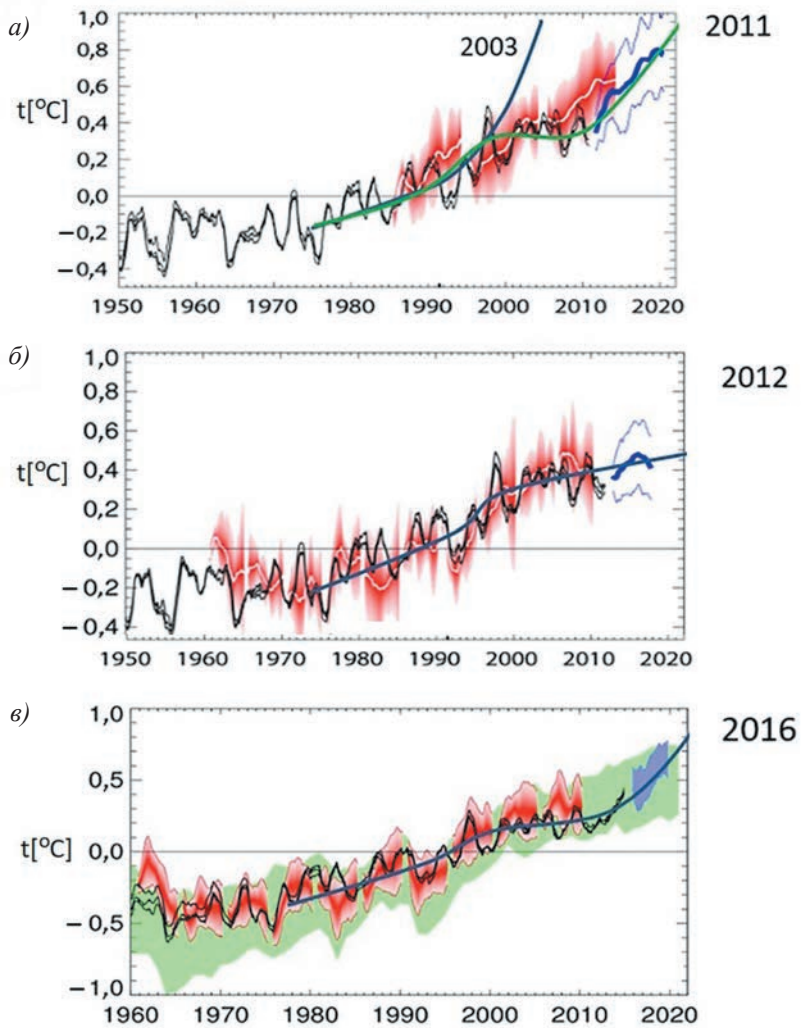


Рис. 1. Наблюдаемые (черный цвет) и спрогнозированные (синий цвет) аномалии глобальной среднегодовой температуры:

- a)* прогноз составлен в декабре 2003-го и в декабре 2011 г.; *б)* прогноз от декабря 2012 г.;
- в)* прогноз от декабря 2016 г.

Рисунки взяты с сайта www.metoffice.gov.uk в соответствующие годы.
Сглаженные прогностические кривые построены автором.

Fig. 1. Observed (black color) and predicted (blue color) anomalies of the global average annual temperature:

- a)* the forecast was made in December 2003 and December 2011; *b)* December 2012 forecast;
- v)* December 2016 forecast.

Figures taken from www.metoffice.gov.uk in the respective years.
Smoothed prognostic curves were built by the author.

интенсивное потепление до 2020 г. (рис. 1 в). Необходимость частой подстройки вызывает еще большее недоверие к моделям, по которым делается судьбоносный вывод о доминирующей роли человека в современном глобальном потеплении климата.

Из методологии научных исследований известно, что решение научной проблемы может быть успешным и законченным, если выполнено три этапа: 1) построение гипотетической основы теории на основе анализа данных наблюдений; 2) экспериментальная проверка гипотезы; 3) подтверждение гипотезы моделированием. Моделирование — важный этап в исследованиях глобального потепления тогда, когда на основе анализа данных наблюдений сняты все противоречия с гипотезой, которая закладывается в модель. В случае с антропогенной гипотезой противоречия только накапливаются.

В климатологии и других гипотез много, но до теории им далеко, слишком много остается неясным. Эксперименты в климатологии возможны только методами математической статистики по данным наблюдений. И вот именно такие эксперименты показывают, что закономерности изменения глобального климата во времени гораздо сложнее роста мирового потребления топлива.

В течение многих лет накапливались результаты статистических экспериментов, противоречащих первоначальной идее о доминирующей антропогенной причине потепления. На этом этапе следовало бы вернуться к первому этапу — к новой идее и затем опять делать проверку новой гипотезы статистическими экспериментами. Вместо этого произошло разделение исследователей на тех, кто строят и статистически проверяют новые гипотезы и тех, кто вопреки статистическим экспериментам продолжают строить математические модели глобального потепления под воздействием только одного гипотетического фактора — антропогенного парникового эффекта. Такие модели строятся уже не для подтверждения экспериментальных данных, а для подтверждения парниковой гипотезы. Модели принудительно подстраиваются под наблюдения без научного обоснования. Такие модели не могут служить доказательством принудительно заложенной в них гипотезы.

А других моделей нет из-за того, что не отработан второй этап исследований, и причина потепления климата остается недостаточно изученной. Следовательно, этап подтверждающих моделей еще не настал. Авторы публикации [61] указывали, что с помощью современных климатических моделей нельзя разрабатывать сценарии изменения климата на следующие десятилетия.

Модели климата, использованные в докладах МГЭИК, построены в предположении отсутствия влияния на климатическую систему внешних факторов. Известно, что краткосрочные процессы (до 1—2 недель) развиваются под действием начальных условий — исходного распределения энергии в атмосфере [62, 63]. Обусловленность колебаний климата по аналогии часто тоже описывают начальными условиями во всей климатической системе, полагая, что при неизменных внешних условиях начальное состояние климатической системы полностью определяет ее эволюцию, а колебания определяются исходным распределением энергии во всех составляющих климатической системы. При такой трактовке допускается, что причина колебаний кроется в самой климатической системе как

результат сложных нелинейных взаимодействий между элементами климатической системы без внешних влияний.

Необоснованность предположения о замкнутости (без внешних влияний) климатической системы вытекает из сопоставления известных фактов и законов физики. В любой реальной системе существует диссипация энергии колебаний, которая неизбежно приводит к их затуханию. Возникает вопрос: если внешние условия неизменны, если существует диссипация, а пополнения энергии нет, то почему колебания климата существуют и не затухают миллионы лет? Поскольку они действительно не затухают, то необходимо признать климатическую систему открытой, и заслуживающую более глубокого изучения с дальнейшим построением новых моделей.

24 мая 2016 г. на очередном заседании Президиума Российской академии наук академик Матишов Г. Г., говоря о климате, заявил, что в данный момент требуется более качественное осмысление и экспертная оценка всего накопленного материала, при котором модели должны быть только инструментом (статья по докладу [64]).

Из-за сложности климатической системы и многочисленных обратных внутренних связей в ней, количественная сторона предполагаемого антропогенного парникового эффекта и связанного с ним потепления климата заведомо не известна. Поэтому чувствительность математической модели к парниковым газам задается экспериментально методом подбора настроечных коэффициентов модели с такими значениями, при которых потепление климата наилучшим образом описывалось бы увеличением количества сжигаемых углеводородов. В настройке модели климата участвуют более сотни экспериментальных коэффициентов, ответственных за внутренние процессы в климатической системе и за чувствительность модели к антропогенному увеличению CO_2 в атмосфере. Комбинаций разных сочетаний значений разных коэффициентов может быть много. Подбор этих коэффициентов — это не наука, а искусство. Коэффициенты подбираются подгонкой модели под наблюдения. Величины этих коэффициентов и их соотношения не имеют научного обоснования. Для определенного круга задач такое моделирование полезно, но только не для доказательства связи потепления со сжиганием углеводородов. *Модель показывает только то, что в нее заложили.* Удачная эмпирическая настройка модели под заданную гипотезу не может служить доказательством этой гипотезы.

Правильнее утверждать, что если гипотеза о парниковой антропогенной причине потепления климата верна, тогда можно надеяться, что модель адекватно описывает человеческий фактор, и ее можно использовать для оценок влияния человека на будущий климат при разных сценариях количества сжигаемого ископаемого топлива.

Ведущие специалисты по созданию математических моделей климата в России и за рубежом не так категорично заявляют об антропогенной причине потепления. Многие из них экспертно считают, что природные многолетние колебания на фазе своего роста в последней четверти XX в. и деятельность человека в равной мере виноваты в современном потеплении климата. Полуэмпирическая модель

по своему определению таких оценок дать не может. Но в Докладах МГЭИК по тем же моделям сформулирован вывод о доминирующей роли человеческой деятельности в современном глобальном потеплении. Принудительная эмпирическая настройка моделей не принимается во внимание.

Активный пользователь математических моделей и сторонник антропогенной гипотезы академик РАН В. А. Семенов, например, считает, что не только антропогенный фактор, но и природные колебания могут оказывать влияние на состояние климата. По его исследованиям, результаты численных экспериментов показали, что внутренняя долгопериодная климатическая изменчивость в Северной Атлантике и в атлантическом секторе Арктики могла внести значительный вклад (около половины) в повышение температуры Северного полушария с 1980 г. Существенную роль при этом играли аномальные потоки тепла в Арктике, которые могли быть усилены положительной обратной связью между притоком океанического тепла и площадью морского льда в Баренцевом море [65].

Несмотря на мнение многих выдающихся ученых о главенстве природных факторов в современных изменениях климата или о сопоставимых вкладах в потепление природных и антропогенных факторов, гипотеза о доминировании антропогенного парникового эффекта живет и претендует на статус доказанной теории. Авторы исследований с иными результатами и выводами относят, по выражению В. Ф. Логинова, к числу плохо усвоивших «теорию» парникового потепления современного климата [19].

3. Инструментальные данные об изменении климата на территории России

Простой анализ многолетних данных наблюдений за климатом показывает неубедительность антропогенной гипотезы. Для начала сопоставим изменения температуры воздуха в Москве с изменениями концентрации антропогенного углекислого газа за много лет. Метеорологические наблюдения в Москве ведутся с 1879 г. На рис. 2 показано изменение среднемесячной температуры воздуха в январе в Москве за 140 лет (по данным ВНИИГМИ-МЦД) и за это же время — изменение количества углекислого газа, поступившего в атмосферу в результате сжигания топлива [66].

Рис. 2 демонстрирует многолетние изменения температуры, которые содержат линейный тренд ($R^2 = 0,33$) на всем интервале лет наблюдений, а также колебания с периодом около 70 лет (две волны) и другие более частые колебания. Сглаженные колебания представлены полиномом 6-й степени ($R^2 = 0,41$). Статистическая достоверность трендов $P > 99\%$.

Совсем другие особенности наблюдались в изменениях количества антропогенного углекислого газа. Первые 70 лет (с 1879 по 1948 г.) количество углекислого газа оставалось на низком уровне без существенного тренда, а температура уже повышалась. С 1950-х гг. началась эпоха индустриализации, и с этого времени количество выбросов углекислого газа стало быстро увеличиваться и продолжает расти до сих пор. Начиная с 1950 г. коэффициент линейного тренда CO_2 увеличился в 7 раз (на рисунке не показано), но на угле линейного тренда температуры

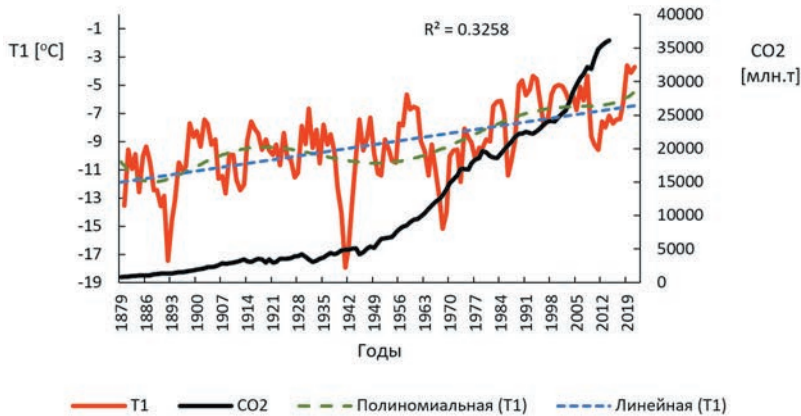


Рис. 2. Изменение количества углекислого газа (синяя линия), поступившего в атмосферу в результате сжигания топлива, и межгодовые изменения средней январской температуры в Москве за 1879—2019 гг.

Температура сглажена по скользящим трехлетиям.

Количество углекислого газа показано в млн т углерода.

Fig. 2. Change in the amount of carbon dioxide (blue line) released into the atmosphere as a result of fuel combustion, and changes in the average January temperature in Moscow over the years for 1879—2019.

The temperature is smoothed over sliding three years.

The amount of carbon dioxide is shown in million tons of carbon.

это не отразилось. Медленный тренд потепления (линейный T1 на рис. 2) начался задолго до начала интенсивного увеличения антропогенных выбросов CO_2 в атмосферу. Трендовую составляющую потепления никак нельзя связать с выбросами CO_2 , так как потепление началось раньше индустриализации более чем на 70 лет. С антропогенной гипотезой это не согласуется.

Не только тренд, но и колебания температуры с периодом около 70 лет тоже начались на семь десятилетий раньше начала эпохи индустриализации. Примечательно, что с началом XXI в. рост январской температуры в Москве остановился, несмотря на продолжающийся рост количества сжигаемого топлива и выбросов CO_2 в последние два десятилетия. Приведенные факты показывают, что изменения январской температуры в Москве за последние 140 лет проходили без заметного влияния человеческой деятельности на температуру.

Изменения июльской температуры в Москве также происходили без видимой связи с количеством антропогенного углекислого газа. На рис. 3 видно, что самая низкая температура июля в Москве была в 1912 г., затем она сначала повышалась до 1937 г. и далее понижалась до 1979 г. После 1979 г. происходил рост температуры до 2002 г. и затем опять понижение до конца имеющихся наблюдений. Ничего похожего в изменениях количества CO_2 не обнаружено. Долгопериодные колебания июльской температуры появились раньше начала индустриализации. Их невозможно связать с деятельностью человека.

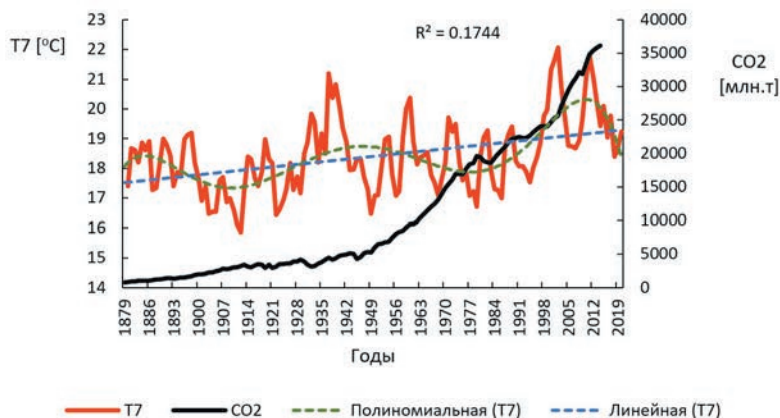


Рис. 3. Изменение количества углекислого газа (CO_2), поступившего в атмосферу в результате сжигания топлива, и межгодовые изменения средней июльской температуры в Москве за 1879—2019 гг.

Температура сглажена по скользящим трехлетиям.
Количество углекислого газа показано в млн т углерода.

Fig. 3. Changes in the amount of carbon dioxide (CO_2) released into the atmosphere as a result of fuel combustion, and changes in the average July temperature in Moscow over the years for 1879—2019.

The temperature is smoothed over sliding three years.
The amount of carbon dioxide is shown in million tons of carbon.

Устойчивый линейный тренд ($R^2 = 0,17$) июльской температуры и колебания с периодом около 70 лет ($R^2 = 0,39$), показанные на рис. 3, тоже начались задолго до взрывного начала увеличения антропогенных выбросов CO_2 и сохраняются до сих пор. Статистическая достоверность трендов $P > 99\%$. Ускорение роста выбросов CO_2 в 7 раз, начиная с 1950 г., не повлияло на равномерный сверхвековой линейный тренд потепления в июле и не нарушило колебаний с периодом около 70 лет.

Обобщая отмеченные особенности, можно сказать, что интенсивные выбросы углекислого газа, начиная с 1950-х гг., не дали заметного эффекта в изменениях температуры в Москве в центральных зимнем и летнем месяцах. Для объяснения причин существования мультидекадных колебаний и сверхвекового тренда температуры воздуха необходимо искать природные причины.

Ранее, по данным о температуре в центральной Англии за последние 220 лет, было также показано, что изменения зимней температуры состоят из линейного тренда на всем интервале с 1800 по 2019 г., на который накладываются колебания с периодом около 70 лет [36]. Сверхвековой тренд и колебания с периодом около 70 лет начались в центральной Англии раньше более чем на 100 лет появления промышленных выбросов CO_2 . Поэтому наблюдаемые колебания климата и в этом районе нельзя связать с человеческой деятельностью.

Наиболее значительные противоречия между антропогенной гипотезой и данными наблюдений оказались, начиная с первых лет XXI века. В эти годы при

продолжающемся росте количества антропогенного углекислого газа в атмосфере температура воздуха в Москве в июле даже понизилась.

Являются ли эти противоречия особенностью только климата Москвы и центральной Англии? Для ответа на этот вопрос был выполнен расчет и анализ линейных трендов изменения температуры за 2001—2022 гг. по 1378 станциям, распределенным по всей России (в границах до февраля 2022 г.). Данные о температуре воздуха получены из фондов ВНИИГМИ-МЦД. Приведем результаты анализа для центральных месяцев зимы и лета. На рассматриваемом интервале лет концентрация CO_2 только увеличивалась, но анализ трендов показал, что повышение температуры в эти годы происходило не везде. Статистическая значимость трендов температуры оценивалась по критерию Стьюдента. На картах рисунков 4 и 5 зелеными кружками показано расположение метеорологических станций, на которых тренды температуры статистически достоверны с уровнем значимости $P > 0,95$ %.

В январе (рис. 4) статистически достоверное потепление происходило только на Северной Земле, на севере Дальнего Востока и в восточном Прибайкалье. А на всей остальной территории не наблюдалось достоверных трендов. На большей

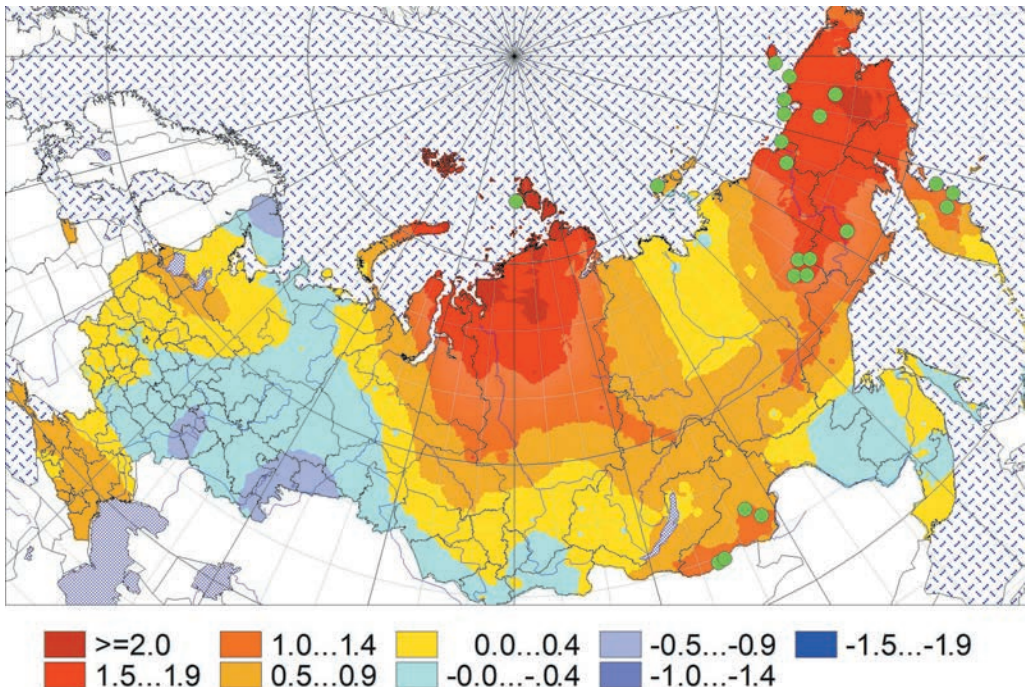


Рис. 4. Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) среднемесячной температуры воздуха за 2001—2022 гг. (в границах России до февраля 2022 г.) — январь.

Fig. 4. Linear trend coefficients ($^{\circ}\text{C}/10$ years) of average monthly air temperature for 2001—2022 (within the borders of Russia until February 2022) — January.

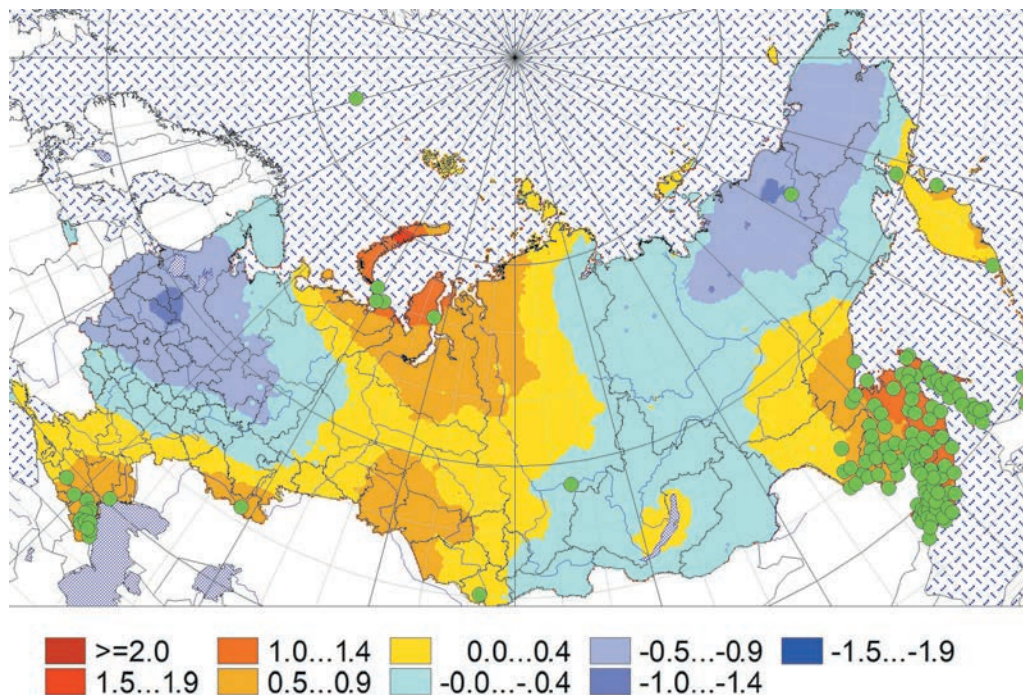


Рис. 5. Коэффициенты линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) среднемесячной температуры воздуха в Москве за 2001—2022 гг. (в границах России до февраля 2022 г.) — июль.

Fig. 5. Linear trend coefficients ($^{\circ}\text{C}/10$ years) of average monthly air temperature in Moscow for 2001—2022 (within the borders of Russia until February 2022) — July.

части территории страны в разных ее регионах наблюдались слабые как положительные, так и отрицательные тренды температуры.

В июле (рис. 5) значимые положительные тренды температуры воздуха наблюдались только по некоторым окраинам страны: на юге Дальнего Востока, на Камчатке, на самых крайних станциях на севере и юге Западной Сибири и на Северном Кавказе. Во всех других регионах страны наблюдались слабые как положительные, так и отрицательные тренды. При этом слабые отрицательные тренды наблюдались на площади, превышающей половину всей страны.

Продолжающийся рост выбросов антропогенного CO_2 в атмосферу и отсутствие потепления в это время на большей части территории страны в январе и июле по времени совпадает с так называемой 15-летней паузой в ГП климата в начале XXI в. [67], которую не удастся объяснить возрастающим антропогенным парниковым эффектом [68].

С учетом приведенного обзора публикаций по проблеме климата и наблюдаемых противоречий антропогенной гипотезы с особенностями изменений современного климата следует, что наблюдаемые изменения климата вызваны преимущественно природными процессами планетарного масштаба и внешними воздействиями.

Заключение

Приведенные в обзоре выводы ведущих специалистов в области климата и результаты авторских исследований не подтверждают выводы МГЭИК о доминировании антропогенного парникового эффекта в современном глобальном потеплении климата и о том, что в последнее десятилетие свидетельства влияния человека на климат стали еще более весомыми. Более очевидными стали только новые климатические условия, а заметное влияние человека на потепление климата остается недоказанным.

Выводы МГЭИК основаны на модельных оценках, но использование полуэмпирических моделей климата для доказательства антропогенной гипотезы методически неверно, так как величина отклика климата на антропогенные выбросы CO_2 задана в моделях искусственно, путем подбора коэффициентов без научных обоснований. А других доказательств антропогенной гипотезы нет. Анализ данных метеорологических наблюдений не подтверждает заметной связи наблюдаемых изменений (колебаний) климата с увеличением сжигаемого топлива.

По данным инструментальных наблюдений современные изменения климата являются следствием суперпозиции природных циклических изменений (колебаний) разного временного масштаба с длительностью циклов от нескольких лет до сверхвековых. Современные изменения климата следует рассматривать как продолжение многолетних природных колебаний, являющихся основным свойством климата. Краткое совпадение очередной волны потепления во второй половине XX в. с усилением промышленных выбросов CO_2 не может служить обоснованием для заявлений об их причинной связи, так как все наблюдаемые составляющие колебаний климата берут начало на много десятилетий раньше произошедшей промышленной революции и раньше появления больших выбросов CO_2 .

На основе обзора публикаций подтвержден известный факт о том, что изменения глобального климата являются следствием долгопериодных изменений в Мировом океане и изменений во взаимодействии океан—атмосфера, а сами долгопериодные изменения в океане оказались связанными с циклическими изменениями в Солнечной системе.

Отмечена важная инерционная особенность проявления внешних воздействий. Огромная тепловая и динамическая инерционность Мирового океана создает задержку на 3—4 десятилетия ответной реакции колебаний климата на очередное циклическое воздействие космоса на Землю. Первичные возмущения климата появляются сначала в тех регионах планеты, в которых частоты повторения внешних воздействий совпадают с локальными собственными частотами колебаний параметров Мирового океана. Затем эти возмущения распространяются по планете. В каждом регионе Земли, с присущей ему собственной частотой, резонансный отклик в океане может возникнуть, если собственная частота воздействия равна или сопоставима с собственной частотой места. Собственные частоты различны в разных регионах Земли.

Даже слабые повторяющиеся внешние воздействия могут оказаться резонансно эффективными. Малая величина повторяющихся воздействий космоса

на климатическую систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний и биений.

Механизмы внешней поддержки природных колебаний климата предстоит изучать на междисциплинарном уровне с учетом общих законов формирования циклов в Солнечной системе. Колебания климата являются частью общих процессов и закономерностей циклических изменений в Солнечной системе. Необходимы дополнительные исследования резонансных возмущений в климатической системе и новые математические модели климата, построенные на основе существующих наработок и с учетом резонансных космических воздействий на нее.

Методическая ошибка истолкования результатов моделирования климата по существующим полуэмпирическим моделям привела к необоснованным выводам о вине человека в глобальном потеплении, а стратегию сокращения сжигания углеводородов возвела в ранг мировой политики, вопреки заявлениям РАН об отсутствии научного обоснования для этого.

Накопленные новые данные показывают, что запланированный зеленый переход в экономике не поможет сохранить сегодняшнее состояние климата. Заметная роль человека в глобальном потеплении климата не обнаружена, а природные колебания климата предотвратить не удастся. В сложившихся условиях разработка и применение мер адаптации к изменяющимся климатическим условиям является оптимальным подходом к сокращению негативных последствий наблюдаемых колебаний климата.

Внутренняя и внешняя политика страны не должны строиться вокруг проблемы парниковых газов, существование которой не доказано.

Список источников

1. Paris Agreement (accepted by the UN FCCC 21st session on 12 December 2015): [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/FCCC_CP_2015_10_Add.1.pdf. Дата обращения: 20.12.2022.
2. IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 pp.
3. IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844.
4. Калинин Е. А. Макарова Е. В. Государственное стимулирование бизнеса для декарбонизации экономики в новых условиях // Изменения климата и углеродная нейтральность: вызовы и возможности. Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции. Ханты-Мансийск: ООО «Печатный мир г. Ханты-Мансийск», 2022. С. 82—86.
5. Кондратьев К. Я. Неопределенность данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 93—119.
6. Кондратьев К. Я. Изменения глобального климата: нерешенные проблемы // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 118—127.
7. Демирчян К. С., Кондратьев К. Я., Демирчян К. К. Глобальное потепление и «политика» его предотвращения // Биосфера. 2010. Т. 2, № 4. С. 488—502.
8. Schneider S. H. The greenhouse effect: Science and policy // Science. 1989. V. 243. P. 771—781.

9. Schneider S. H. News Plays Fast and Loose With the Facts. Editorial. Detroit News. 1989. 5 December. 10A. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/DetroitNews.pdf. Дата обращения: 01.12.2022.
10. Schneider S.H., Azar C. Are Uncertainties in Climate and Energy Systems a Justification for Stronger Near-term Mitigation Policies? In Erlich, E. (ed.), Proceedings of the Pew Center Workshop on The Timing of Climate Change Policies. 2001. Washington D.C., 11—12 October 2001. P. 85—136. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/timingazarschneide.pdf. Дата обращения: 01.12.2022.
11. State of the global climate 2021. WMO-No 1290. 2022. 54 p.
12. State of the Climate in 2018 shows accelerating climate change impacts. WMO Press Release Number: 28032019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20799. Дата обращения: 01.12.2022.
13. Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Молодых С. И., Рубцова О. А. Закономерности климатических изменений в XX в. и основные физические процессы, ответственные за эти изменения // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2011. Т. 4, № 1. С. 87—108.
14. Лисицын А. П., Политова Н. В., Шевченко В. П. XXI Международная научная конференция (школа) «Геология морей и океанов» // Океанология. 2016. Т. 56, № 6. С. 972—974.
15. Соколов В. А., Соков А. В., Грузинов В. М. О влиянии океана на потепление климата в Северном полушарии // Процессы в геосредах. 2018. № 1(14). С. 773—779.
16. Нигматуллин Р. И. Климат и океан. Отчет о заседании Президиума Российской академии наук 10.03.2015. Информация с портала «Научная Россия». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/globaljnoe-poholodanie>. Дата обращения: 01.12.2022.
17. Котляков В. М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110—114.
18. Монин А. С., Сонечким Д. М. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 190 с.
19. Логинов В. Ф. Космические факторы климатических изменений. Минск, 2020. 168 с.
20. Семёнов С. М. Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 10—17.
21. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2(6). С. 66—79.
22. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М. Климатические вариации площади ледяного покрова в Евразийской Арктике и ожидаемые их изменения в XXI в. // Материалы Совета-семинара при Президенте Российской академии наук: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. М.: Наука, 2006. С. 353—370.
23. Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М., Фролов И. Е. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1(81). С. 15—23.
24. Bergu E. X. Human CO2 Emissions Have Little Effect on Atmospheric CO2 // International Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences. 2019. Vol. 3, No. 1. P. 13—26. doi: 10.11648/j.ijaos.20190301.13.
25. Федоров В. М., Алтунин И. В., Фролов Д. М. Влияние диоксида углерода антропогенного генезиса на термический режим атмосферы и его изменения // Жизнь Земли. 2022. Вып. 44(4). С. 402—414.
26. Lightfoot H. D., Mamer O. A. Back radiation versus CO2 as the cause of climate change // Energy & Environment. 2017. Vol. 28(7). P. 661—672. doi: 10.1177/0958305X17722790.
27. Малинин В. Н., Гордеева С. М., Наумов Л. М. Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 3. С. 243—251. doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-243-251.
28. Малинин В. Н., Вайновский П. А. Влагообмен между океаном и атмосферой во внутритропической зоне конвергенции // Гидрометеорология и экология. 2021. Вып. 63. С. 255—278. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-255-278.
29. Малинин В. Н., Вайновский П. А. Тренды компонент влагообмена в системе «океан—атмосфера» в условиях глобального потепления по данным архива Reanalysis-2 // Современные проблемы

- дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 3. С. 9—25. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25.
30. Manabe S. Role of greenhouse gas in climate change // *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 2019. Vol. 71:1. P. 2—13. 1620078. doi: 10.1080/16000870.2019.1620078.
 31. Вакуленко Н. В., Котляков В. М., Сонечкин Д. М. О соотношениях лидирования—запаздывания между атмосферными трендами температуры и концентрации углекислого газа в период плющцена // *Доклады академии наук*. 2016. Т. 467, № 6. С. 709—712. doi: 10.7868/S0869565216120239.
 32. Humlum O., Stordahl K., Solheim J.-E. The phase relation between atmospheric carbon dioxide and global temperature // *Global and Planetary Change*. 2013. Vol. 100. P. 51—69. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.008.
 33. Малинин В. Н., Вайновский П. А. О межгодовой изменчивости наиболее интенсивных очагов источников и стока CO₂ в океане на основе данных наблюдений // *Гидрометеорология и экология*. 2022. № 66. С. 51—70. doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-51-70
 34. Биненко В. И., Донченко В. К., Малинин В. Н., Радионов В. Ф. Киотский протокол и некоторые аспекты современного изменения климата (по результатам научных чтений, посвященных 95-летию академика РАН К. Я. Кондратьева) // *Региональная экология*. 2015. № 2 (37). С. 3—15.
 35. Семенов С. М. Парниковый эффект и современный климат // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 10. С. 5—17.
 36. Мохов И. И., Смирнов Д. А. Вклад радиационного воздействия парниковых газов и атлантической мультидесятилетней осцилляции в тренды приповерхностной температуры // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 9. С. 5—13.
 37. Шерстюков Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 293 с.
 38. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД. 2008, 246 с.
 39. Федоров В. М. Эволюция современного глобального климата Земли и ее возможные причины // *Геориск*. 2020. Т. XIV, № 4. С. 16—29. doi: 10.25296/1997-8669-2020-14-4-16-29.
 40. Федоров В. М. Астрономическая теория климата: вопросы модернизации и развития // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 64. С. 435—465. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-435-465.
 41. Alekseev G. V., Glok N. I., Vyazilova A. E., Kharlanenkova N. E. Climate change in the Arctic: causes and mechanisms. *IOP Conference Series*. 2020. EES 606, EESE6061(002). [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://old.aari.ru/resources/meteoarct/docs/Alekseev %20et %20al_red.pdf](http://old.aari.ru/resources/meteoarct/docs/Alekseev%20et%20al_red.pdf). Дата обращения: 31.01.2023.
 42. Alekseev G. Rise of Insolation of Low Latitudes Affects Arctic Warming // *Global Scientific Research in Environmental Science*. 2021. Vol. 1(3). P. 1—3. doi: 10.53902/GSRES.2021.01.000514.
 43. Alekseev G. V., Glok N. I., Vyazilova A. E. et al. Influence of SST in Low Latitudes on the Arctic Warming and Sea Ice. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9. 1145. doi: 10.3390/jmse9101145.
 44. Шерстюков Б. Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.
 45. Шерстюков Б. Г. Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца // *Известия РАН. Серия географическая*. 2021. Т. 85, № 3. С. 380—391. doi: 10.31857/S2587556621030146.
 46. Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Дальние асинхронные связи долгопериодных колебаний температуры воздуха в Англии // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 63. С. 207—226. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-207-226.
 47. Broecker W. S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991. Vol. 4(2). P. 79 —89. doi: 10.5670/oceanog.1991.07.
 48. Бялко А. В. Релаксационная теория климата // *Успехи физических наук*. 2012. Т. 182, № 1. С. 111—116. doi: 10.3367/UFNr.0182.201201h.0111.
 49. Smith T. M., Reynolds R. W., Peterson T. C., Lawrimore J. Improvements NOAA's Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // *Journal of Climate*. 2008. Vol. 21. P. 2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.
 50. Блехман И. И. Синхронизация динамических систем. М.: Наука, 1971. 894 с.

51. Мохов И. И., Смирнов Д. А., Карпенко А. А. Оценки связи изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // Доклады Академии наук. 2012. Т. 443, № 2. С. 225—231.
52. Пудовкин М. И. Козелов В. П., Лазутин Л. Л. и др. Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений. М.: Наука, 1977. 317 с.
53. Елисеев А. В., Мохов И. И. Влияние внеземных факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 119—132.
54. Молчанов А. М. Гипотеза резонансной структуры Солнечной системы // Пространство и время. 2013. № 1(11). С. 34—48.
55. There is no climate emergency. World climate declaration. Global climate intelligence group. October 1, 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clintel.org/wp-content/uploads/2022/10/WCD-version-100122.pdf>. Дата обращения: 31.01.2023.
56. Бурков В. Д., Шалаев В. С., Крапивин В. Ф. О роли лесных экосистем в изменении климата // Лесной вестник. 2012. № 9. С. 30—42.
57. Акатов П. В. Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере // Живые и биокосные системы. 2013. № 5. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://jbks.ru/assets/files/content/2013/issue5/article-14.pdf>.
58. Taub D. Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants // Nature Education Knowledge. 2010. № 1(8). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/284515083>. Дата обращения: 27.01.2023.
59. Weather and climate change. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.metoffice.gov.uk. Дата обращения: 30.12.2016.
60. Meehl G. A., Goddard L., Murphy J. et al. Decadal Prediction: Can It Be Skillful? // Bulletin of the American Meteorological Society. 2009. Vol. 90. P. 1467—1485. doi: 10.1175/2009BAMS2778.1.
61. Вакуленко Н. В., Нигматулин Р. И., Сонечкин Д. М. К вопросу о глобальном изменении климата // Метеорология и гидрология. 2015. № 9. С. 89—97.
62. Лоренц Э. Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 259 с.
63. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 308 с.
64. Магишов Г. Г., Дженюк С. Л., Моисеев Д. В. Климат и большие морские экосистемы Арктики // Вестник Российской академии наук. 2017. Т. 87, № 2. С. 110—120. doi: 10.7868/S0869587317020086.
65. Семенов В. А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера — Арктические льды — океан // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Вып. 1. С. 232—248.
66. Boden T., Andres B. Global CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751—2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2014.ems. Дата обращения: 31.01.2023.
67. Kosaka Y., Xie S-P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling // Nature. 2013. Vol. 501. P. 403—407. doi: 10.1038/nature12534.
68. Xie S-P., Kosaka Y. What Caused the Global Surface Warming Hiatus of 1998—2013? // Current Climate Change Reports. 2017. Vol. 3. P. 128 —140. doi: 10.1007/s40641-017-0063-0.

References

1. Paris Agreement (accepted by the UN FCCC 21st session on 12 December 2015). Available at: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/FCCC_CP_2015_10_Add.1.pdf (accessed 20.12.2022).
2. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 2013: 1535.

3. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge. UK and New York. NY. USA. 3056. doi: 10.1017/9781009325844.
4. Kalinenko E. A. Makarova E. V. State stimulation of business for the decarbonization of the economy in the new conditions. *Izmeneniya klimata i uglerodnaya neytral'nost': vyzovy i vozmozhnosti. Sbornik materialov vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Climate Change and Carbon Neutrality: Challenges and Opportunities. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference*. Khanty-Mansiysk: Printing world of Khanty-Mansiysk, 2022: 82—86. (In Russ.).
5. Kondratiev K. Ya. Uncertainty of observational data and numerical climate modeling. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2004;(4):93—119. (In Russ.).
6. Kondratiev K. Ya. Global climate change: unsolved problems. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2004;(6):118—127. (In Russ.).
7. Demirchyan K. S., Kondratiev K. Ya., Demirchyan K. K. Global warming and the “policy” of its prevention. *Mezhdistsiplinarnyy i nauchnyy i prikladnoy zhurnal «Biosfera» = Interdisciplinary and scientific and applied journal “Biosphere”*. 2010;2(4):488—502. (In Russ.).
8. Schneider S. H. The greenhouse effect: Science and policy. *Science*. 1989;(243):771—781.
9. Schneider S. H. News Plays Fast and Loose With the Facts, Editorial. *Detroit News*. 1989, 5 December:10A. Available at: https://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/DetroitNews.pdf (accessed 01.12.2022).
10. Schneider S. H., Azar C. Are Uncertainties in Climate and Energy Systems a Justification for Stronger Near-term Mitigation Policies? In Erlich, E. (ed.) *Proceedings of the Pew Center Workshop on The Timing of Climate Change Policies*. 2001, 85—136. Washington D.C., 11—12 October 2001. Available at: https://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/timingazarschneide.pdf (accessed: 01.12.2022).
11. State of the global climate 2021. WMO-No 1290. 2022: 54.
12. State of the Climate in 2018 shows accelerating climate change impacts. WMO Press Release Number: 28032019. Available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20799. (accessed: 01.12.2022).
13. Zherebtsov G. A., Kovalenko V. A., Molodykh S. I., Rubtsova O. A. Patterns of climate change in the 20th century. and the main physical processes responsible for these changes. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» = Izvestia of the Irkutsk State University. Earth Sciences series*. 2011;4(1):87—108. (In Russ.).
14. Lisitsyn A. P., Politova N. V., Shevchenko V. P. XXI International scientific conference (school) “Geology of the seas and oceans”. *Okeanologiya = Oceanology*. 2016;56(6):972—974. (In Russ.).
15. Sokolov V. A., Sokov A. V., Gruzinov V. M. On the influence of the ocean on climate warming in the Northern Hemisphere. *Protsessy v geosredakh = Processes in geoenvironments*. 2018;1(14):773—779. (In Russ.).
16. Nigmatullin R. I. Climate and ocean. Otchet o zasedanii Prezidiuma Rossiyskoy akademii nauk 10.03.2015. *Portal «Nauchnaya Rossiya» = Portal “Scientific Russia”*. Available at: <https://scientificrussia.ru/articles/globalnoe-poholodanie> (accessed 1.12.2022). (In Russ.).
17. Kotlyakov V. M. On the causes and consequences of modern climate change. *Solnechno-Zemnaya fizika = Solar-Terrestrial Physics*. 2012;(21):110—114. (In Russ.).
18. Monin A. S., Sonechkin D. M. *Kolebaniya klimata po dannym nablyudeniy. Troynoy solnechnyy i drugiy tsikly = Climate fluctuations according to observations. Triple solar and other cycles*. Moscow: Nauka, 2005: 190 p. (In Russ.).
19. Loginov V. F. *Kosmicheskiye faktory klimaticheskikh izmeneniy = Cosmic factors of climate change*. Minsk, 2020: 168 p. (In Russ.).
20. Semyonov S. M. Greenhouse effect and its anthropogenic enhancement. *Solnechno-zemnaya fizika = Solar-terrestrial physics*. 2012;(21):10—17. (In Russ.).
21. Kattsov V. M., Porfiriev B. N. Climate change in the Arctic: consequences for the environment and the economy. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economics*. 2012;2(6):66—79. (In Russ.).

22. Frolov I. E., Gudkovich Z. M., Karklin V. P., Smolyanitsky V. M. Climatic variations in the area of ice cover in the Eurasian Arctic and their expected changes in the 21st century. *Materialy Soveta-seminara pri Prezidente Rossiyskoy akademii nauk: Vozmozhnosti predotvrashcheniya izmeneniya klimata i yego negativnykh posledstviy. Problema Kiotskogo protokola = Materials of the Council-Seminar under the President of the Russian Academy of Sciences: Opportunities to prevent climate change and its negative consequences. The problem of the Kyoto Protocol*. Moscow: Nauka, 2006: 353—370. (In Russ.).
23. Gudkovich Z. M., Karklin V. P., Smolyanitsky V. M., Frolov I. E. On the nature and causes of climate change on the Earth. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Problems of the Arctic and Antarctic*. 2009;1(81):15—23. (In Russ.).
24. Berry E. X. Human CO2 Emissions Have Little Effect on Atmospheric CO2. *International Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences*. 2019;3(1):13—26. doi: 10.11648/j.ijaos.20190301.13.
25. Fedorov V. M., Altunin I. V., Frolov D. M. Influence of anthropogenic carbon dioxide on the thermal regime of the atmosphere and its changes. *Zhizn' Zemli = Life of the Earth*. 2022;44(4):402—414. (In Russ.).
26. Lightfoot H. D., Mamer O. A. Back radiation versus CO2 as the cause of climate change. *Energy & Environment*, 2017;28(7):661—672. doi: 10.1177/0958305X17722790.
27. Malinin V. N., Gordeeva S. M., Naumov L. M. Moisture content of the atmosphere as a climate-forming factor. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018;15(3):243—251. (In Russ.). doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-243-251.
28. Malinin V. N., Vainovsky P. A. Moisture exchange between the ocean and the atmosphere in the intratropical convergence zone. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021;(63):255—278. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-255-278. (In Russ.).
29. Malinin V. N., Vainovsky P. A. Trends in moisture exchange components in the “ocean-atmosphere” system under global warming according to the Reanalysis-2 archive. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2021;18.3:9—25. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25. (In Russ.).
30. Manabe S. Role of greenhouse gas in climate change. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 2019;71:1:2—13. doi: 10.1080/16000870.2019.1620078.
31. Vakulenko N. V., Kotlyakov V. M., Sonechkin D. M. On the leading-lag relationships between atmospheric trends in temperature and carbon dioxide concentration during the Pliocene. *Doklady akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*. 2016;467(6):709—712. doi: 10.7868/S0869565216120239. (In Russ.).
32. Humlum O., Stordahl K., Solheim J.-E. The phase relation between atmospheric carbon dioxide and global temperature. *Global and Planetary Change*. 2013;(100):51—69. doi: 10.1016/j.gloplacha.2012.08.008.
33. Malinin V. N., Vainovsky P. A. On the interannual variability of the most intense sources and sinks of CO₂ in the ocean based on observational data. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2022;(66):51—70. doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-51-70. (In Russ.).
34. Binenko V. I., Donchenko V. K., Malinin V. N., Radionov V. F. Kyoto Protocol and some aspects of modern climate change (based on the results of scientific readings dedicated to the 95th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences K. Ya. Kondratiev). *Regional'naya ekologiya = Regional Ecology*, 2015;2(37):3—15. (In Russ.).
35. Semenov S. M. Greenhouse effect and modern climate. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2022;(10):5—17. (In Russ.).
36. Mokhov I. I., Smirnov D. A. Contribution of the radiative forcing of greenhouse gases and the Atlantic multidecadal oscillation to surface temperature trends. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 2018;(9):5—13. (In Russ.).
37. Sherstyukov B.G. *Izmeneniya, izmenchivost' i kolebaniya klimata = Climate change, variability and fluctuations*. Obninsk: RIHMI-WDC, 2021: 293 p. (In Russ.).
38. Sherstyukov B.G. *Regional'nyye i sezonnyye zakonomernosti izmeneniy sovremennogo klimata = Regional and seasonal patterns of modern climate change*. Obninsk: RIHMI-WDC, 2008: 246 p. (In Russ.).

39. Fedorov V. M. Evolution of the modern global climate of the Earth and its possible causes. *GeoRisk*. 2020;XIV(4):16—29. doi: 10.25296/1997-8669-2020-14-4-16-29. (In Russ.).
40. Fedorov V. M. Astronomical theory of climate: issues of modernization and development. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021;(64):435—465. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-435-465. (In Russ.).
41. Alekseev G. V, Glok N. I., Vyazilova A. E., Kharlanenkova N. E. Climate change in the Arctic: causes and mechanisms. IOP Conference Series. 2020. EES 606, EESE6061(002). Available at: http://old.aari.ru/resources/meteoarct/docs/Alekseev%20et%20al_red.pdf (accessed: 31.01.2023).
42. Alekseev G. Rise of Insolation of Low Latitudes Affects Arctic Warming. *Global Scientific Research in Environmental Science*. 2021;1(3):1—3. doi: 10.53902/GSRES.2021.01.000514.
43. Alekseev G. V., Glok N. I., Vyazilova A. E., Kharlanenkova N. E., Kulakov M. Y. Influence of SST in Low Latitudes on the Arctic Warming and Sea Ice. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021;9,1145. doi: 10.3390/jmse9101145.
44. Sherstyukov B. G. *Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'niye svyazi, prognozy = Vibrational climate system, resonances, long-distance communications, forecasts*. Obninsk: RIHMI-WDC, 2021: 222 p. (In Russ.).
45. Sherstyukov B. G. Dynamic synchronization of ocean climate fluctuations with barycentric motion of the Sun. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. 2021;85(3):380—391. doi: 10.31857/S2587556621030146. (In Russ.).
46. Sherstyukov B. G., Sherstiukov A. B. Long-range asynchronous connections of long-term fluctuations in air temperature in England. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021;(63):207—226. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-207-226. (In Russ.).
47. Broecker W. S. The great ocean conveyor. *Oceanography*. 1991;4(2):79—89. doi: 10.5670/oceanog.1991.07.
48. Byalko A. V. Relaxation theory of climate. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in the physical sciences*. 2012;182(1):111—116. doi: 10.3367/UFNr.0182.201201h.0111. (In Russ.).
49. Smith T. M., Reynolds R. W., Peterson T. C., Lawrimore J. Improvements NOAA's Historical Merged Land—Ocean Temp Analysis (1880—2006). *Journal of Climate*. 2008;(21):2283—2296. doi: 10.1175/2007JCLI2100.1.
50. Blekhman I. I. *Sinkhronizatsiya dinamicheskikh system = Synchronization of dynamic systems*. Moscow: Nauka, 1971: 894 p. (In Russ.).
51. Mokhov I. I., Smirnov D. A., Karpenko A. A. Estimates of the relationship between changes in global near-surface temperature and various natural and anthropogenic factors based on observational data. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*. 2012;443(2):225—231. (In Russ.).
52. Pudovkin M. I. Kozelov V. P., Lazutin L. L. et al. *Fizicheskiye osnovy prognozirovaniya magnitosfernykh vozmushcheniy = Physical bases of forecasting magnetospheric disturbances*. Moscow: Nauka, 1977: 317 p. (In Russ.).
53. Eliseev A. V., Mokhov I. I. Influence of extraterrestrial factors on climate: possible mechanisms of influence and modeling results. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology*. 2015;(1):119—132. (In Russ.).
54. Molchanov A. M. Hypothesis of the resonant structure of the solar system. *Prostranstvo i vremya = Space and time*. 2013;1(11):34—48. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/gipoteza-rezonansnoy-struktury-solnechnoy-sistemy.pdf> (accessed 31.01.2023). (In Russ.).
55. There is no climate emergency. World climate declaration. Global climate intelligence group. October 1, 2022. Available at: <https://clintel.org/wp-content/uploads/2022/10/WCD-version-100122.pdf> (accessed: 31.01.2023).
56. Burkov V. D., Shalaev V. S., Krapivin V. F. On the role of forest ecosystems in climate change. *Lesnoy vestnik = Forest Bulletin*. 2012;(9):30—42. (In Russ.).
57. Akatov P. V. Plant response to the growth of carbon dioxide concentration in the atmosphere. *Zhivye i biokosnye sistemy = Living and bioinert systems*. 2013;(5). Available at: [http://www.jbks.ru/archive/issue 5/article-14](http://www.jbks.ru/archive/issue%205/article-14) (accessed 31.01.2023). (In Russ.).
58. Taub D. Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants. *Nature Education Knowledge*. 2010;1(8):21. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/284515083> (accessed 31.01.2023).

59. Weather and climate change. Available at: www.metoffice.gov.uk (accessed 31.01.2023).
60. Meehl G. A., Goddard L., Murphy J. et al. Decadal Prediction: Can It Be Skillful? *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2009;(90):1467—1485. doi: 10.1175/2009BAMS2778.1. Available at: https://www.researchgate.net/publication/240631906_Decadal_Prediction_Can_It_Be_Skillful (accessed 31.01.2023).
61. Vakulenko N. V., Nigmatulin R. I., Sonechkin D. M. On the issue of global climate change. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2015;(9):89—97. (In Russ.).
62. Lorenz E.N. *Priroda i teoriya obshchey tsirkulyatsii atmosfery = Nature and theory of the general circulation of the atmosphere*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970: 259 p. (In Russ.).
63. Marchuk G. I. *Chislennoye resheniye zadach dinamiki atmosfery i okeana = Numerical solution of problems of atmosphere and ocean dynamics*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1974: 308 p. (In Russ.).
64. Matishov G. G., Dzhenyuk S. L., Moiseev D. V. Climate and large marine ecosystems of the Arctic. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2017;87(2):110—120. doi: 10.7868/S0869587317020086. (In Russ.).
65. Semenov V. A. Fluctuations of the modern climate caused by feedback in the system atmosphere — Arctic ice — ocean. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology*. 2015;(1):232—248. (In Russ.).
66. Boden T., Andres B. Global CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751—2014. Available at: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2014.ems (accessed 1.12.2022).
67. Kosaka Y., Xie S-P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*. 2013;(501):403—407. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature12534> (accessed 1.12.2022).
68. Xie S-P., Kosaka Y. What Caused the Global Surface Warming Hiatus of 1998—2013? *Current Climate Change Reports*. 2017;(3):128—140. doi: 10.1007/s40641-017-0063-0.

Информация об авторе

Борис Георгиевич Шерстюков, д-р геогр. наук, зав. лабораторией исследования последствий изменения климата, Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, Обнинск, boris@meteo.ru.

Information about authors

Boris G. Sherstyukov, Dr. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Head of Laboratory for Research on the Effects of Climate Change, Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center”, Obninsk, boris@meteo.ru.

Статья поступила 22.12.2022

Принята к печати после доработки 02.02.2023

The article was received on 22.12.2022

The article was accepted after revision on 02.02.2023

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 38—53.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70):38—53.

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 556.535.3(282.247.29)
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-38-53

Количественная оценка величины расходов в реках Нижняя Преголя и Дейма (юго-восточная Балтика) по данным измерения придонных течений

***Ефим Игоревич Гмыря^{1, 2},
Борис Валентинович Чубаренко²***

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия, gmtyuaefim@mail.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, chuboris@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается оценка скоростей течений и расходов на судоходных участках рек Нижняя Преголя и Дейма с помощью инструментальных измерений. Выполнены расчеты коэффициента пересчета, учитывающего разницу между течением, измеренными в придонном горизонте, и средним по створу течением. Значения таких коэффициентов (в пределах 1,1—2,5) получены в трех точках на рукаве Нижняя Преголя и двух точках на рукаве Дейма, створы в которых характеризуются разными максимальными глубинами и площадями поперечного сечения. Эти работы были проведены в разные сезоны (19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022). В первом приближении получены линейные интерполяционные зависимости величины коэффициента пересчета от максимальной глубины створа и площади створа, которые могут быть использованы для других речных створов.

Ключевые слова: скорость течения, расход рек, гидроствор, река Преголя, река Дейма, юго-восточная Балтика.

Благодарности: работа проведена при поддержке госзадания Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (тема № FMWE-2021-0012). Авторы благодарны коллегам за существенную помощь — Паке В. Т., Коржу А. О., Кондрашеву А. А., Граве А. Н. за аппаратурное обеспечение, Закирову Р. Б. и Боскачеву Р. В. за данные промеров, а также Пинчуку В. С. за участие в измерениях.

Для цитирования: Гмыря Е. И., Чубаренко Б. В. Количественная оценка величины расходов в реках Нижняя Преголя и Дейма (юго-восточная Балтика) по данным измерения придонных течений // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 38—53. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-38-53.

Original article

Quantification of discharges in the Downstream Pregolya and Deyma rivers (the southeast Baltic) according to near-bottom current measurement data

Efim I. Gmyrya^{1, 2}, Boris V. Chubarenko²

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, gmyryaefim@mail.ru

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, chuboris@mail.ru

Summary. The estimation of currents and discharges using instrumental measurements in the navigable sections of lowland rivers is possible only by the installation of instruments in the near-bottom horizon of the river to avoid to impede the movement of ships. Estimating the discharges based on such data, the conversion factors are needed that take into account the difference between the currents measured in the near-bottom horizon and the currents averaged along the cross-section. These data are needed to solve the problem – in what proportion will the flow of the Pregolya River (Kaliningrad Oblast, Russia) be divided between two mouth branches (Downstream Pregolya and Deyma). Instrumental measurements of currents were carried out at three hydraulic sections on the Downstream Pregolya branch and two hydraulic sections on the Deima Branch on May 19, 2021, November 11, 2021, and March 27, 2022. Two methods were used in parallel at the same time. The first one was the installation of an inclinometric currentmeter of bottom currents (registration frequency — 2 sec). It is supposed to be used in the future. The second one, rather time-consuming method was the measurement of the flow velocity with the SeaGuard probe (point ADCP) on three verticals at each section, 3—4 points per vertical, the exposure time is 20 seconds (8—9 casts) per point. The latter method made it possible to calculate the cross-sectional average velocity with sufficient accuracy, and, therefore, allowed us to calibrate the first method. As a result, the conversion factors (in a range of 1,1—2,5 depending on the hydraulic section) were determined, which made it possible to estimate the flow from the speed measured by the bottom currentmeter. Strictly speaking, the obtained conversion factors are correct only for the considered hydraulic sections. But, using the obtained data as a reference, linear interpolations were constructed between the conversion factor and (a) the maximum depth and (b) the area of the hydraulic section, which, in a first approximation, can be applied to other hydraulic sections.

Keywords: flow velocity, river discharge, hydraulic cross-section, Pregolya River, Deyma River, South-East Baltic.

Acknowledgments. The work was carried out with the support of the state assignment of the Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (theme No FMWE-2021-0012). The authors are grateful to colleagues for their valuable help — to Paka V. T., Korzh A. O., Kondrashev A. A., Grave A. N. for providing hardware for the instrumental measurements, Zakirov R. B. and Boskachev R. V. for the depth measurements data, as well as to Pinchuk V.S. for taking part in the measurements.

For citation: Gmyrya E. I., Chubarenko B. V. Quantitative assessment of discharges in the Downstream Pregolya and Deyma rivers (southeast Baltic) according to near-bottom current measurement data. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):38—53 (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-38-53.

Введение

Основным водотоком Калининградской области является р. Преголя (рис. 1), которая в своем нижнем течении разделяется на два рукава — Нижнюю Преголю



Рис. 1. Местоположение гидростворов на рукавах Нижняя Преголя и Дейма.

Fig. 1. Location of the hydrometric cross-sections in Downstream Pregolya and Deyma rivers.

и Дейму [1]. Речная система р. Преголи занимает фактически всю территорию области, поэтому она имеет потенциально большое рекреационное [2] и хозяйственное значение для региона. Также около 61 % питьевого водоснабжения Калининграда поставляется именно из р. Преголи [3].

Расходы рек являются одним из ключевых параметров для оценки поступления взвешенных наносов и загрязняющих веществ в прибрежную зону [4, 5], а также для изучения трендов водности рек и питания приемных водоемов. Получение первичных данных, необходимых для оценки величин расходов воды

в реках, возможно только при помощи непрерывных инструментальных измерений. Однако установка прибора, измеряющего показатели скорости и направления течения реки в поверхностном горизонте реки на длительный срок, представляет сложную задачу, поскольку, чтобы такой прибор не препятствовал движению плавсредств, необходимы специальные усилия по обеспечению его сохранности. Более оптимальным способом проведения измерений является установка оборудования в придонном горизонте [6] при условии отсутствия придонной укорененной растительности.

Ранее проводились [6] исследования расходов вод Нижней Преголи и Деймы при помощи инклинометрических измерителей скорости придонных течений (далее — инклинометры) [7]. Из-за придонной постановки измерителей течений данные скорости и направления течения реки будут отличаться от их действительных оценок вследствие неоднородности водного потока [8, 9]. Поэтому цель настоящей работы состояла в определении пересчетных коэффициентов, учитывающих разницу между измеренными в придонном горизонте течениями и течениями средними по створу. Результаты имеют значение для оценки расходов воды в рукавах Нижней Преголи и Деймы (юго-восточная Балтика) с использованием данных только придонных инклинометрических измерителей.

Объект исследования

Р. Преголя — крупнейшая река Калининградской области. Она образуется слиянием рек Инструч (длина 101 км, площадь водосбора 1250 км²) и Анграпа (длина 169 км, площадь водосбора 3957 км²) [10]. Реки Преголя и Дейма принадлежат к типу равнинных приморских рек со смешанным питанием и паводочным режимом в течение года. Скорости течения Нижней Преголи варьируются от 0,3 до 0,1 м/сек. Выше места разделения реки на рукава Дейму и Нижнюю Преголю они достигают 0,4 м/сек. Скорость течения Деймы также слаба, в устьевой части реки она составляет около 0,1 м/сек, в верхней части реки достигает 0,5 м/сек [11].

Р. Преголя разделяется на два рукава в г. Гвардейске [11, 12]. Рукав (длина 56 км), который течет на запад и впадает в Калининградский (Вислинский) залив (несет 60 % объема вод от общего стока) [11], будем называть Нижняя Преголя, согласно [11]. За 30 км до устья русло Нижней Преголи разделяется на два протока (Старая и Новая Преголя), которые вновь соединяются в г. Калининграде за 9 км до устья [13, 14]. Рукав Дейма (длина 37 км) течет на север, впадает в Куршский залив и отводит 40 % объема вод от их общего стока [11].

По причине малых уклонов (перепад высот от устья до Гвардейска при межженных уровнях [11] составляет 0,7 м) в Нижней Преголе во время ветров западных направлений течение разворачивается в обратную сторону, вследствие чего воды Калининградского залива поднимаются вверх по руслу реки [15].

Исходные материалы и методы исследований

Существуют разные способы измерения скорости течений в речном створе, и у каждого метода имеются свои преимущества. Наиболее современные методы

основаны на использовании доплеровских измерителей течений в режиме поверхностной буксировки профилографа от одного берега к другому с помощью системы натянутых поперек реки тросов [16] или установке горизонтальных акустических измерителей потока около одного из берегов [17—19]. По причине активного рекреационного судоходства по рекам Преголе и Дейме, было принято решение использовать точечный акустический измеритель потока и более традиционную методику «промерных вертикалей» [20, 21].

На рукавах р. Преголи (Нижняя Преголя и Дейма) были проведены три экспедиционных выезда (19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022) по измерению скорости течения рек при помощи двух приборов одновременно — инклинометрического измерителя скорости придонных течений [7] и точечного акустического измерителя скорости течений SeaGuard. Измерения проводились на пяти створах: № 1 — Родники, № 2 — Медовое, № 3 — Гвардейск, № 4 — Ратное, № 5 — Загородный (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики гидростворов на рукавах Нижняя Преголя и Дейма

Characteristics of the hydrometric cross-section
in Downstream Pregolya and Deyma rivers

№	Название	Координаты		Максимальная глубина, м	Площадь створа, м ²
		Широта	Долгота		
1	Родники	54,698	20,639	6,1	320
2	Медовое	54,658	20,798	3,4	210
3	Гвардейск	54,644	21,059	2,2	110
4	Ратное	54,689	21,103	3,8	130
5	Загородный	54,858	21,147	9,9	280

По прибытию на гидрометрический створ (далее — гидро створ, рис. 2 а) экспедиционное плавсредство выходило на центральную вертикаль для установки инклинометра. Работы проводились с малого плавсредства, устанавливаемого на каждой вертикали на два якоря (рис. 2 б). Скорость и направление течения регистрировались инклинометром с шагом 2 с (рис. 2 в, г) в течение всего времени работы на данном гидро створе (30—50 мин), которое было необходимо для измерения течения с помощью зонда SeaGuard на трех вертикалях (рис. 2 а) на фиксированных горизонтах (согласно МИ 1759-87 [21]). По завершению замеров на гидро створе инклинометр поднимался со дна русла реки.

Инклинометр [7] представляет собой физический «маятник» длиной 1 м, обладающий положительной плавучестью (рис. 2 б). Он оснащался грузом и устанавливался на 0,5—1 м от дна русла реки, т. е. вся информация, полученная с его помощью, относилась к придонному горизонту толщиной 1 м. Угол отклонения инклинометра от вертикали пересчитывался в скорость потока по показаниям акселерометра и магнитометра, которые записывались на встроенное устройство хранения памяти. Прибор калибровался по измерениям в проточном лотке [7].

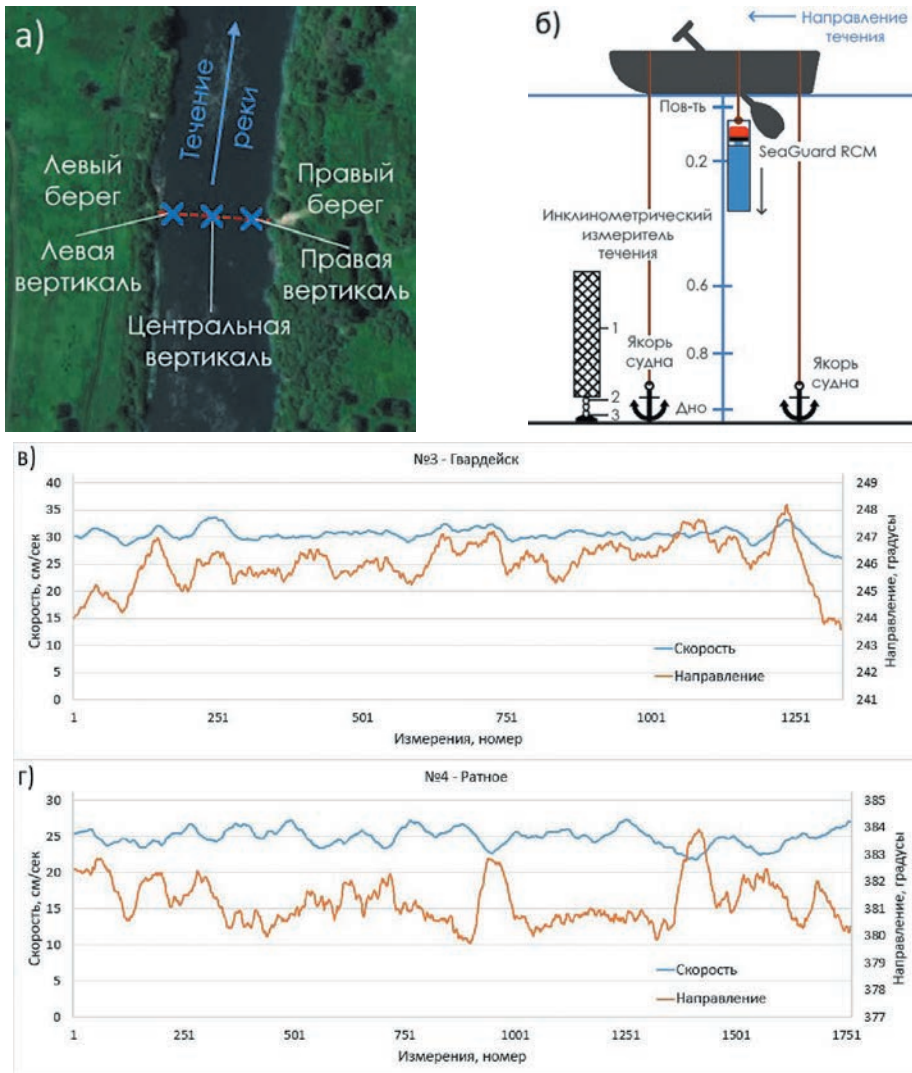


Рис. 2. Схема проведения измерений скорости речного потока. Расположение промерных вертикалей (а); схема измерения на центральной вертикали (б) с указанием горизонтов методики МИ 1759-87 (для измерения SeaGuard RCM) и составных частей инклинометра [7] (1 — чувствительная часть прибора, 2 — шарнирное крепление подвеса, 3 — груз); примеры записей инклинометра для гидростворов (в) № 3 (Гвардейск) и (з) № 4 (Ратное).

Fig. 2. Scheme of measuring the speed of the river flow. The location of the measuring verticals (a); scheme of measurement on the central vertical (b) with the horizons according to the MI 1759-87 method (for measuring SeaGuard RCM) and the parts of the inclinometer [7] (1 — sensitive part of the device, 2 — swivel hanger, 3 — load); examples of the records of the inclinometer for the transects: (v) № 3 (Gvardeysk) and (z) № 4 (Ratnoe).

Для оценки расхода реки на гидростворе (на момент измерений) использовалось среднее значение вдольрусловой¹ составляющей течений, зафиксированных инклинометром за период измерений на гидростворе:

$$Q = u \cdot S, \quad (1)$$

где Q — искомый расход воды ($\text{м}^3/\text{сек}$); u — среднее значение вдольрусловой скорости течения реки в гидростворе по показаниям инклинометра ($\text{м}/\text{сек}$) за промежуток измерений; S — площадь поперечного сечения гидроствора (м^2) по данным [22].

Одновременно на гидростворе (рис. 3) выполнялись измерения при помощи точечного акустического измерителя скорости течений SeaGuard в соответствии с методикой государственной системы обеспечения измерений (ГСИ) МИ 1759-87 [21], предназначенной для оценки расхода в заданном створе реки. На линии гидроствора выбирались 3 промерные вертикали (рис. 2 а), каждая из которых делилась на 5 горизонтов: поверхность реки, 20, 60 и 80 % глубины и дно реки (рис. 3). На каждом из вышеперечисленных горизонтов зонд SeaGuard удерживался по 3 мин и регистрировал показания скорости течения речного потока. Так как дискретность записи прибора составляет 20 с, на одном горизонте получалось 8—9 отсчетов значений скорости и направления течения, которые усреднялись. В качестве скорости течений всегда бралась вдольрусловая составляющая скорости.

Согласно МИ 1759-87, для оценки расхода необходимо иметь данные скорости течения реки по вертикалям на строго указанных горизонтах — поверхность реки, 20, 60 и 80 % глубины и дно реки (горизонт 10 см от дна). Из-за конструктивных особенностей (зонд SeaGuard дает значение придонной скорости в 0,55 м от дна) провести замеры на горизонте 10 см от дна не удалось, поэтому недостающие данные для придонного горизонта были экстраполированы по данным измерений на двух вышележащих горизонтах.

Так как исследуемое русло реки свободно ото льда и водной растительности, то средняя скорость на вертикали вычислялась по формуле (2) с использованием пятиточечного способа (МИ 1759-87):

$$v = 0,05 \cdot v_{\text{пов}} + 0,347 \cdot (v_{0,2} + v_{0,6}) + 0,173 \cdot v_{0,8} + 0,083 \cdot v_{\text{дно}}, \quad (2)$$

где v ($\text{м}/\text{сек}$) — средняя вдольрусловая скорость течения реки на вертикали, а $v_{\text{пов}}$, $v_{0,2}$, $v_{0,6}$, $v_{0,8}$ и $v_{\text{дно}}$ — скорости на соответствующих горизонтах.

Расчет расхода воды через гидроствор проводился при помощи линейно-детерминированной модели (формула (3) из МИ 1759-87):

$$Q = K \cdot v_1 \cdot f_0 + (v_1 + v_2) \cdot f_1/2 + (v_2 + v_3) \cdot f_2/2 + K \cdot v_3 \cdot f_3, \quad (3)$$

где f_i — площади отсеков потока (f_0, f_3 — отсеки, примыкающие к левому и правому берегам), $v_{1,3}$ — средние вдольрусловые скорости на вертикалях, разделяющих отсеки. Коэффициент K для скоростей v_1 и v_3 на прибрежных скоростных вертикалях принимался равным 0,7 (МИ 1759-87) — как при пологом берегу с нулевой глубиной на урезе. Необходимые для использования в методике МИ 1759-87

¹ Под вдольрусловой составляющей течений понимается проекция вектора течения на азимут оси русла. При естественном течении реки она положительна, при обратном течении — отрицательна.

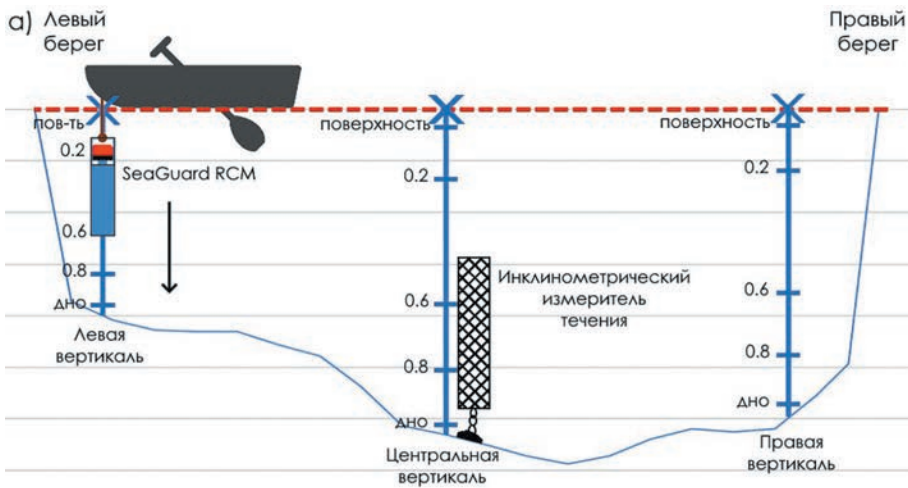


Рис. 3. Схема измерения скорости речного потока на поперечном сечении гидроствора. Указано положение инклинометрического измерителя течений и вертикалей (МИ 1759-87), на которых проводились измерения зондом SeaGuard (красным выделено место расположения чувствительного элемента).

Fig. 3. Scheme of measuring the velocity of the river flow in the hydrometric cross-section. The position of the inclinometric current meter, and the verticals (MI 1759-87), which were measured with the SeaGuard probe, are indicated (the measuring element is highlighted in red).

площади 4-х отсеков поперечного сечения вычислялись на основе разбиения профиля на трапеции (2—7 трапеций на отсеке).

Таким образом, для каждого гидроствора были получены по две оценки расходов (формулы (1) и (3)) — по данным инклинометра (формула (1)) и методики МИ 1759-87, которые использовались для вычисления коэффициента пересчета R :

$$R = Q_{mi} / Q_{incl} \quad (4)$$

где R — коэффициент пересчета; Q_{mi} ($\text{м}^3/\text{сек}$) — расход, полученный при помощи методики МИ 1759-87 с использованием измерений зондом SeaGuard, формула (3); Q_{incl} ($\text{м}^3/\text{сек}$) — расход, полученный при помощи инклинометрического измерителя, формула (1).

В дальнейшем коэффициент пересчета должен использоваться при оценках расходов по скоростям, измеренным придонными измерителями.

Результаты расчетов

Результаты оценок средней скорости и расходов в гидрометрических створах, полученные по измерениям инклинометра и методикой МИ 1759-87 на гидростворах рукавов Нижней Преголи и Деймы 19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022, приводятся в табл. 2. Коэффициент пересчета вычислен с точностью до одного знака после запятой, учитывая невысокую точность измерения исходных характеристик.

Таблица 2

Результаты оценок средней скорости и расходов в гидрометрических створах, полученные по измерениям инклинометра и методикой МИ 1759-87 на гидростворах рукавов Нижняя Преголя и Дейма 19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022

The results of estimates of the average velocity and flow rates in the hydrometric cross-sections, obtained from inclinometer measurements and the MI 1759-87 method in the Downstream Pregolya and Deyma rivers on 05.19.2021, 11.11.2021 and 03.27.2022

Дата	№	Средняя скорость, МИ 1759-87 (см/сек)	Скорость, инклинометр (см/сек)	Расход, МИ 1759-87 (м ³ /сек)	Расход, инклинометр (м ³ /сек)	Коэф. пересчета R (б/р)
19.05.2021	1	7	4	24	12	2,0
	2	15	12	31	26	1,2
	3	24	53	27	59	0,5
	4	25	28	33	38	0,9
	5	13	7	35	19	1,8
11.11.2021	1	7	3	21	9	2,3
	2	1	1	3	1,5	2,0
	3	22	14	24	16	1,5
	4	13	9	16	12	1,3
	5	6	2	17	6	2,8
27.03.2022	1	14	7	42	24	1,8
	2	16	10	31	22	1,4
	3	30	29	31	32	1,0
	4	27	25	32	33	1,0
	5	17	5	41	14	2,9

Примечание. Пояснение выделения см. в тексте на с. 48.

Погрешность в определении скорости течений (вызванная естественными вариациями скорости) оценивалась через сопоставление величин скоростей, полученных при помощи инклинометра и зонда SeaGuard. На каждом гидростворе рассчитывались относительные отклонения показаний скорости от среднего значения между ними (табл. 3). Величина полученного относительного отклонения варьируется от 5 до 61 %, среднее отклонение — 29 % (табл. 3). Полученные таким образом оценки относительного отклонения могут быть использованы для характеристики относительной погрешности для всех результатов, полученных на основе измерений течений.

Обсуждение результатов

Результаты измерений (19.05.2021, 11.11.2021 и 27.03.2022 г., табл. 2) свидетельствуют о том, что расходы рек в рукавах Нижняя Преголя и Дейма, полученные при помощи инклинометра и зонда SeaGuard, сопоставимы.

Найденные при помощи МИ 1759-87 расходы (а также ширина русел) увеличиваются (табл. 2) в направлении от истока к устью как для Нижней Преголи, так и для Деймы, что соответствует естественному увеличению площади

Таблица 3

Скорости течения в точках установки инклинометра на гидростворах на рукавах Нижней Преголи и Деймы 19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022, измеренных при помощи инклинометра и зонда SeaGuard

The flow velocities at the inclinometer installation points in the hydrometric cross-sections in Downstream Pregolya and Deyma rivers on 19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022, measured using the inclinometer and the SeaGuard probe

Дата	№	Скорость, SeaGuard (см/сек)	Скорость, инклинометр (см/сек)	Средняя скорость (см/сек)	Относительное отклонение, %
19.05.2021	1	10	4	7	46
	2	16	12	14	14
	3	32	53	43	24
	4	26	28	27	5
	5	11	7	9	25
11.11.2021	1	8	3	5	48
	2	1	1	1	7
	3	26	14	20	29
	4	13	9	11	19
	5	8	2	5	56
27.03.2022	1	14	7	11	30
	2	20	10	15	33
	3	42	29	36	18
	4	31	25	28	12
	5	21	5	13	61

водосбора [8, 9]. Исключение составляет величина расхода в гидростворе № 1 в результате того, что русло Нижней Преголи разделяется на два рукава (Старая и Новая Преголя), вследствие чего часть объема воды уходит в другое русло.

В тоже время расходы, вычисленные по данным инклинометра на гидростворах рукава Дейма (№ 4 — Ратное, № 5 — Загородный) не соответствуют естественному увеличению расходов воды в реках по направлению к устью. Данные всех трех экспедиционных выездов свидетельствуют о том, что расход на нижнем гидростворе рукава Дейма (гидроствор № 5) меньше, чем расход в гидростворе № 4 (выше по течению). Это может быть объяснено большей глубиной русла реки в месте гидроствора № 5 (Загородный, 10 м) и, соответственно, возможными возвратными течениями в глубинных слоях, замедляющими придонные течения, которые фиксирует инклинометр.

Основываясь на традиционных представлениях о вертикальном профиле скорости течения в русле реки [8, 9] (рис. 4), следует ожидать, что измеренная инклинометром скорость должна быть меньше средней скорости, полученной при помощи зонда SeaGuard, так как скорость придонного горизонта реки меньше, чем скорость поверхностных горизонтов. Результаты, полученные 11.11.2021 и 27.03.2022, полностью это подтверждают. В результатах от 19.05.2021 данное предположение подтверждается измерениями на трех гидростворах (№ 1 — Родники, № 2 — Медовое, № 5 — Загородный). В гидростворах № 3 (Гвардейск) и № 4

(Ратное), в которых глубины составляют 2 и 4 м соответственно, оценки расходов дают сопоставимые значения. Единственный случай, когда различия оказались существенными, относится к измерению на гидростворе № 3 для 19.05.2021 г. (соответствующая строка в таблицах 2 и 3 выделена). Этот результат в дальнейшем не учитывался.

Исходя из классического вида вертикального профиля скорости [8, 9] (рис. 4) ожидается, что коэффициент пересчета R будет всегда больше или равен единице. В зависимости от глубины на гидростворе горизонт измерений инклинометра накрывает как придонные, так и срединные слои потока. Результаты свидетельствуют о наличии корреляции между максимальной глубиной гидроствора и отклонением полученного коэффициента пересчета от единицы (рис. 5). Для гидростворов № 1 (Родники) и № 5 (Загородный), где максимальная глубина русла реки составляет 6 и 10 м соответственно, коэффициенты пересчета наиболее далеки от единицы (табл. 2). Максимально приближенными к единице оказались коэффициенты пересчета (табл. 2) для гидростворов № 3 (Гвардейск) и № 4 (Ратное), где максимальная глубина русла реки составляет 2 и 4 м соответственно.

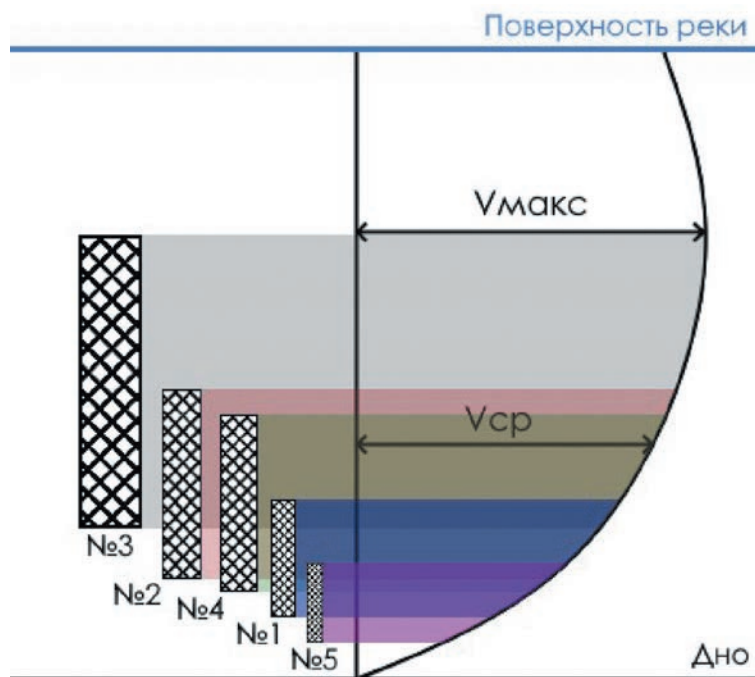


Рис. 4. Локализация слоя измерения скорости инклинометром для каждого измерительного створа (обозначены номерами) в пропорции к идеальной эпюре вертикального распределения скорости потока [8].

Fig. 4. The location of the inclinometer measuring layer at each measurement transect (numbered) in the proportion to the diagram of the vertical velocities profile in the river flow [8].

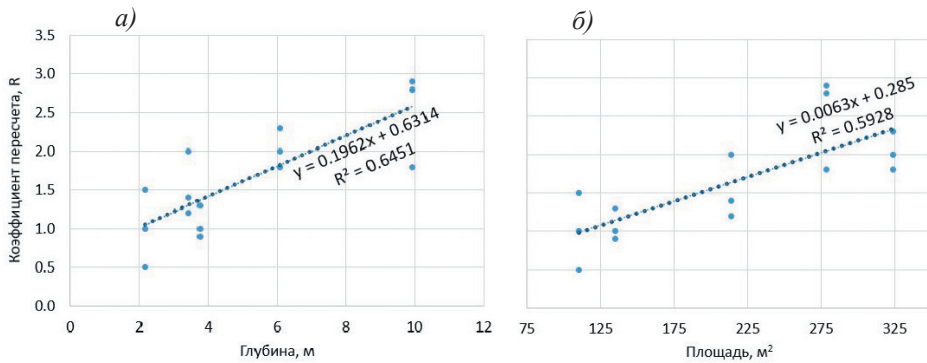


Рис. 5. Интерполяционные зависимости коэффициента пересчета R в зависимости от максимальной глубины (а) и от площади поперечного сечения гидроствора (б).

Fig. 5. The interpolation of the conversion factor R in dependence of the maximum depth (a) and the cross-sectional area of the hydraulic section (b).

По данным коэффициента пересчета на каждом гидростворе был найден средний коэффициент пересчета для всех трех экспедиционных выездов (табл. 4), который с учетом разброса от 5 до 61 % (среднее отклонение — 29 %), может быть использован для оценки расходов воды в данных створах рукавов Нижняя Преголя и Дейма при естественном направлении потока в речном русле в периоды отсутствия экстремального стока.

Таблица 4

Усредненные коэффициенты пересчета R по данным трех экспедиционных выездов
19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022

Average conversion factors R based on the data of three expedition trips
19.05.2021, 11.11.2021, 27.03.2022

№	Название створа	19.05.2021	11.11.2021	27.03.2022	Среднее по всем измерениям
1	Родники	2,0	2,3	1,8	2,0
2	Медовое	1,2	2,0	1,4	1,5
3	Гвардейск	—	1,5	1,0	1,3
4	Ратное	0,9	1,3	1,0	1,1
5	Загородный	1,8	2,8	2,9	2,5

Полученные данные позволили построить линейные интерполяционные зависимости (рис. 5) между коэффициентом пересчета и максимальной глубиной и площадью гидроствора, согласно которым коэффициент R ожидаемо возрастает с увеличением глубины и площади.

Ошибки построенных регрессионных зависимостей составляют 0,41 для зависимости от глубины и 0,44 для зависимости от площади сечения, что в относительных величинах соответствует примерно 70 % от величины стандартного

отклонения от среднего для всего множества коэффициентов R (свидетельствует об удовлетворительной точности предложенных регрессионных зависимостей).

Заключение

Результаты подтвердили потенциальную возможность расчета расходов рек Калининградской области по скоростям течений, полученных при помощи инклинометрических измерителей скорости течения, устанавливаемых в придонных горизонтах. Впервые были рассчитаны соответствующие коэффициенты пересчета, учитывающие разницу между измеренными в придонном горизонте течениями и течениями средними по створу.

Коэффициенты пересчета для количественной оценки величин расходов в руслах Нижняя Преголя и Дейма (юго-восточная Балтика) по данным инклинометрических измерителей составляют: гидроствор № 1 (Родники) — 2,0; № 2 (Медовое) — 1,5; № 3 (Гвардейск) — 1,3; № 4 (Ратное) — 1,1; № 5 (Загородный) — 2,5. Использование этих коэффициентов пересчета дает приближенную оценку расходов с относительной погрешностью от 5 до 60 %.

В первом приближении получены линейные интерполяционные зависимости (абсолютная погрешность $\pm 0,41 \div 0,44$) коэффициентов пересчета от максимальной глубины и площади гидроствора, которые могут использоваться для других речных створов.

Для снижения погрешности оценок необходимо дальнейшее пополнение базы данных для скоростей речного потока, измеренных в придонном горизонте и по всему поперечному профилю.

Список источников

1. Chubarenko B., Domin D., Navrotskaya S. et al. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6) // The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. R. Kosyan (ed.) Switzerland: Springer International Publishing, 2017. P. 149—191. doi: 10.1007/978-3-319-43392-9_6.
2. Ямкова М. В. Индикаторная оценка туристической деятельности на примере Калининградской области // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. Вып. 21. С. 185—191.
3. ВОДОКАНАЛ: Государственное предприятие Калининградской области: Система водоснабжения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vk39.ru/o-vodokanale/vodosnabzhenie/>. Дата обращения: 12.07.2022.
4. Шмакова М. В., Кондратьев С. А. Транспортирующая способность речного потока // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. Вып. 56. С. 176—187.
5. Чалов Р. С. Руслые процессы (руслеведение): учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2016. 565 с.
6. Боскачев Р. В., Чубаренко Б. В., Кондрашов А. А., Корж А. О. Инструментальные инклинометрические измерения течения в реках Преголя и Дейма в период 10.12—26.12.2019 // Процессы в геосредах. 2020. № 3(25). С. 747—754.
7. Пака В. Т., Набатов В. Н., Кондрашов А. А. и др. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений // Океанологические исследования. 2019. Т. 47, № 2. С. 220—229.
8. Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 463 с.

9. Тихонова И. О., Кручинина Н. Е., Десятов А. В. Механизм течения рек // Экологический мониторинг водных объектов. М.: ИНФРА-М, 2017. С. 24—28.
10. Нечай И. Я., Силич М. В., Яблонская Т. Гидрография территории бассейна залива // Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н. Н. Лазаренко, А. Маевского. Л.: Гидрометиздат, 1971. С. 10—13.
11. Маркова Л. Л., Нечай И. Я. Гидрологический очерк устьевых областей рек Немана и Преголи // Тр. ГОИН. 1960. Вып. 49. С. 118—187.
12. Боскачев Р. В., Чубаренко Б. В. Анализ изменчивости гидрологических характеристик на устьевом участке реки Преголи (юго-восточная Балтика) // Гидрометеорология и экология. 2022. Вып. 69. С. 644—674. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-644-674.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР: Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В. Е. Водограцкого. Т. 4, вып. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 508 с.
14. Наумов В. А., Маркова Л. В. Гидрологические и климатические ряды: Статистический анализ для Калининградской области и соседних регионов. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. 109 с.
15. Чубаренко Б. В., Боскачев Р. В. Возможность перетока вод в системе «Калининградский залив — река Преголя — Куршский залив» // Процессы в геосредах. 2018. № 2(15). С. 911—919.
16. Bolognesi A., Gottardi G., Maglionico M. Discharge measurements in a small ungauged river: comparison between conventional current-meter and tracer dilution methods // River Flow 2006: Proc. Int. Conf. on Fluvial Hydraulics / R. M. L. Ferreira, E. C. T. L. Alves, J. G. A. B. Leal and A.H. Cardoso (eds.). Taylor&Francis, London, 2006. P. 1835—1842.
17. Le Coz J., Pierrefeu G., Paquier A. Evaluation of river discharges monitored by a fixed side looking Doppler profiler // Water Resources Research. 2008. V. 44, № 4. W00D09. doi: 10.1029/2008WR006967.
18. Nihei Y., Kimizu A. A new monitoring system for river discharge with horizontal acoustic Doppler current profiler measurements and river flow simulation // Water Resources Research. 2008. V. 44, № 4. W00D20. doi: 10.1029/2008WR006970.
19. Hoitink A. J. F., Buschman F. A., Vermeulen B. Continuous measurements of discharge from a horizontal acoustic Doppler current profiler in a tidal river // Water resources research. 2009. V. 45, № 11. W11406. doi: 10.1029/2009WR007791.
20. Gunawan B., Sterling M., Tang X., Knight D. W. Measuring and modelling flow structures in a small river // River Flow 2010: Proc. Int. Conf. on Fluvial Hydraulics / A. Dittrich, Ka. Koll, J. Aberle, P. Geisenhainer (eds). Bundesanstalt für Wasserbau, 2010. P. 179—186.
21. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость—площадь»: МИ 1759-87: утв. 11.06.86. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1986. 86 с.
22. Chubarenko B., Boskachev R. Hydraulic connection between Vistula and Curonian lagoons of the Baltic Sea // Baltica. 2021. V. 34, № 1. P. 81—94. doi: 10.5200/baltica.2021.1.7.

References

1. Chubarenko B., Domnin D., Navrotskaya S. et al. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea (Chapter 6). The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence, Estuaries of the World. R. Kosyan (ed.) Switzerland: Springer International Publishing, 2017: 149—191. doi: 10.1007/978-3-319-43392-9_6.
2. Yamkovaya M. V. Indicator assessment of tourism activities on the example of the Kaliningrad Oblast. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2011;(21):185—191. (In Russ.).
3. VODOKANAL: State enterprise of the Kaliningrad region: Water supply system. Available at: <https://www.vk39.ru/o-vodokanale/vodosnabzhenie/> (accessed 07.12.2022). (In Russ.).
4. Shmakova M. V., Kondratiev S. A. Transporting capacity of the river flow. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2019;(56):176—187. (In Russ.).

5. Chalov R.S. *Ruslovyye protsessy (ruslovedeniye): uchebnoye posobiye = Channel processes (channel science): study guide*. Moscow: INFRA-M, 2016: 565 p. (In Russ.).
6. Boskachev R.V., Chubarenko B.V., Kondrashov A.A., Korzh A.O. Instrumental inclinometric measurements of flows of the Pregolya and Deima rivers during a period 10.12—26.12.2019. *Protsessy v geosredakh = Processes in Geomedia*. 2020;3(25):747—754. (In Russ.).
7. Paka V. T., Nabatov V. N., Kondrashov A. A. et al. On the improvement of the tilting current meter. *Okeanologicheskie issledovaniya = Journal of Oceanological Research*. 2019;47(2):220—229. (In Russ.).
8. Davydov L. K., Dmitrieva A. A., Konkina N. G. *Obshchaya gidrologiya = General Hydrology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973: 463 p. (In Russ.).
9. Tikhonova I. O., Kruchinina N. E., Desyatov A. V. *Mechanism techenia rek. Ecologicheskii monitoring vodnykh objektov = The mechanism of river flow. Ecological Monitoring of Water Objects*. Moscow: INFRA-M, 2017: 24—28 p. (In Russ.).
10. Nechay. I. Ya., Silich M. V., Yablonskaya T. *Hydrografia territorii basseina zaliva. Gidrometeorologicheskii rezhim Vislinskogo zaliva = Hydrography of the lagoon basin. Hydrometeorological Regime of the Vistula Lagoon*. N. N. Lazarenko, A. Maevsky (eds.). Leningrad: Gidrometizdat, 1971: 10—13 p. (In Russ.).
11. Markova L. L., Nechay I. Ya. Hydrological outline of the mouth areas of the Neman and Pregolya rivers. *Trudy GOIN = Proc. GOIN*. 1960;(49):118—187 p. (In Russ.).
12. Boskachev R. V., Chubarenko B. V. Analysis of the variability of hydrological characteristics at the mouth section of the Pregolya River (Southeast Baltic). *Gidrometeorologia i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2022;(69):644—674. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-644-674.
13. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Litovskaya SSR i Kaliningradskaya oblast' RSFSR = Surface Water Resources of the USSR: Lithuanian SSR and Kaliningrad Oblast of the RSFSR*. V.E. Vodogretsky (ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969;4(3): 508 p. (In Russ.).
14. Naumov V. A., Markova L. V. *Gidrologicheskiye i klimaticheskiye ryady: Statisticheskii analiz dlya Kaliningradskoy oblasti i sosednikh regionov = Hydrological and climatic series: Statistical analysis for the Kaliningrad region and neighboring regions*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013: 109 p. (In Russ.).
15. Chubarenko B. V., Boskachev R. V. Possibility of water overflow in the system “Vistula Lagoon-Pregolya River-Curonian Lagoon”. *Protsessy v geosredakh = Processes in Geomedia*. 2018;(2):911—919. (In Russ.).
16. Bolognesi A., Gottardi G., Maglionico M. Discharge measurements in a small ungauged river: comparison between conventional current-meter and tracer dilution methods. *River Flow 2006. Proc. Int. Conf. on Fluvial Hydraulics*. R. M. L. Ferreira, E. C. T. L. Alves, J. G. A. B. Leal and A. H. Cardoso (eds.). Taylor&Francis, London. 2006: 1835—1842.
17. Le Coz J., Pierrefeu G., Paquier A. Evaluation of river discharges monitored by a fixed side looking Doppler profiler. *Water Resources Research*. 2008;44(4):W00D09. doi: 10.1029/2008WR006967.
18. Nihei Y., Kimizu A. A new monitoring system for river discharge with horizontal acoustic Doppler current profiler measurements and river flow simulation. *Water Resources Research*. 2008;44(4):W00D20. doi: 10.1029/2008WR006970.
19. Hoitink A. J. F., Buschman F. A., Vermeulen B. Continuous measurements of discharge from a horizontal acoustic Doppler current profiler in a tidal river. *Water resources research*. 2009;45(11):W11406. doi: 10.1029/2009WR007791.
20. Gunawan B., Sterling M., Tang X., Knight D. W.. Measuring and modelling flow structures in a small river. *River Flow 2010. Proc. Int. Conf. on Fluvial Hydraulics*. A. Ditttrich, Ka. Koll, J. Aberle, P. Geisenhainer (eds). Bundesanstalt für Wasserbau, 2010: 179—186.
21. State system for ensuring the uniformity of measurements. *Water flow in rivers and canals. Raskhod vody na rekakh i kanalakh. Metodika vypolneniya izmereniy metodom «skorost' — ploshchad'»: MI 1759-87. Method for performing measurements using the “speed — area” method: MI 1759-87: approved. 06.11.86. M.: USSR state committee for standards, 1986: 86 p. (In Russ.).*
22. Chubarenko, B., Boskachev, R. Hydraulic connection between Vistula and Curonian lagoons of the Baltic Sea. *Baltica*. 2021;34(1):81—94. doi 10.5200/baltica.2021.1.7.

Информация об авторах

Ефим Игоревич Гмыря, студент, Балтийский Федеральный университет им. Иммануила Канта, gmyruaefim@mail.ru.

Борис Валентинович Чубаренко, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией прибрежных систем, Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН, chuboris@mail.ru.

Information about authors

Efim I. Gmyrya, student, Immanuel Kant Baltic Federal University, gmyruaefim@mail.ru.

Boris V. Chubarenko, PhD (Phys. and Math. Sci.), Head of the Laboratory of Coastal Systems Study, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, chuboris@mail.ru

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 20.07.2022

Принята к печати после доработки 12.11.2022

The article was received on 20.07.2022

The article was accepted after revision on 12.11.2022

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 54—70.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70):54—70.

Научная статья
УДК 556.16.072(282.247.13)
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-54-70

Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний стока р. Северной Двины

Анатолий Васильевич Фролов, Ирина Владимировна Соломонова

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия, anatolyfrolov@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты применения динамико-стохастической модели многолетних колебаний речного стока к исследованию закономерностей многолетних колебаний основных составляющих водного баланса водосбора Северной Двины. Решались прямая и обратная задачи: а) оценка влияния изменений статистических характеристик осадков и испарения на статистические характеристики стока и б) оценка неизвестных дисперсии и коэффициента автокорреляции испарения с водосбора. Речной водосбор рассматривался как гидрологическая система с входными и выходными процессами.

Показанная статистическая неоднородность в многолетних колебаниях составляющих водного баланса водосбора Сев. Двины может быть следствием климатических изменений на водосборе, в том числе вызванных циклической сменой типов атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: многолетний сток, Северная Двина, моделирование, статистическая неоднородность, осадки, испарение.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН.

Для цитирования: Фролов А. В., Соломонова И. В. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний стока р. Северной Двины // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 54—70. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-54-70.

Original article

Dynamic-stochastic modeling of the Northern Dvina runoff long-term fluctuations

Anatoly V. Frolov, Irina V. Solomonova

Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
anatolyfrolov@yandex.ru

Summary. The article presents the results of applying the dynamic-stochastic (DS) model of long-term runoff fluctuations to the study of the patterns of long-term fluctuations in the main components of the water balance of the Northern Dvina catchment. The river catchment is considered as a hydrological system with input and output processes. When constructing a DS model, assumptions are made about the applicability of the models of input processes in the form of the 1st order autoregression processes and direct proportionality of the runoff from the catchment to the effective water storage in the catchment. The DS-model of the

Northern Dvina long-term runoff fluctuations was used to solve direct and inverse problems: a) assessing the effect of changes in the statistical characteristics of precipitation and evaporation on the statistical characteristics of runoff and b) estimating unknown statistical parameters of evaporation from the watershed. It is shown that the variances of the Northern Dvina long-term runoff fluctuations for 1911—1959 and 1960—2008 are statistically different. Long-term fluctuations in river runoff, precipitation, and evaporation over catchment area were considered as implementations of stationary random processes with different statistical parameters over the selected time intervals. Statistical heterogeneity in long-term fluctuations of the components of the Northern Dvina catchment water balance may be a consequence of climatic changes over the catchment, including those caused by a cyclical change in the types of atmospheric circulation — zonal and meridional transport of air masses.

A similar change in variances, sign of the autocorrelation coefficient and the constancy of the average values in the series of river catchment water balance components were revealed on different time intervals identified for the rivers Mezen (g.s. Malonisogorskaya) and Pinega (g.s. Kulogor) closest to the Northern Dvina basin.

Keywords: long-term runoff, Northern Dvina, modeling, statistical heterogeneity, precipitation, evaporation.

Acknowledgments. This study was carried out under Governmental Order to Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, subject no FMWZ-2022-0001.

For citation: Frolov A. V., Solomonova I. V. Dynamic-stochastic modeling of the Northern Dvina runoff long-term fluctuations. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):54—70. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-54-70.

Введение

Относительно недавно в многолетних колебаниях годовых величин речного стока были выявлены достаточно длительные временные интервалы, для которых статистические характеристики стока могут заметно различаться. Формально, при длительности таких интервалов 30 лет и более, согласно определению ВМО, можно говорить о климатических изменениях стока (в техногенно ненарушенных естественных условиях). Исследование влияния режимных характеристик основных составляющих водного баланса водосбора — осадков и испарения как непосредственной причины изменения статистических характеристик речного стока — представляет собой предмет данного исследования.

Актуальность темы обосновывается необходимостью совершенствования моделирования многолетних колебаний речного стока. Долгое время многолетний речной сток моделировался простым марковским процессом, причем в рамках чисто статистического моделирования, вне связи с основными стокоформирующими процессами — осадками и испарением по водосбору. При таком подходе невозможно объяснить особенности многолетнего стока некоторых рек, например, отрицательную автокорреляцию стока и причины изменчивости стохастической структуры модели стока на длительных интервалах времени. Применение динамико-стохастических моделей многолетнего процесса речного стока в определенной степени дает ответы на эти вопросы.

Для достижения поставленной цели мы используем представление речного водосбора в виде динамико-стохастической (ДС) гидрологической системы с входными процессами — осадками и испарением по водосбору и выходными процессами — речным стоком с водосбора и эффективным (т. е. участвующим в формировании речного стока) влагозапасом на водосборе. Такой подход

позволяет получить целостное представление о функционировании речного водосбора, учитывающее связи (функциональные и стохастические) между основными составляющими водного баланса.

Примерно до 70-х годов прошлого столетия в гидрологии доминирующим было представление о природных многолетних колебаниях речного стока как о стационарном случайном процессе. К числу первых исследователей, обративших внимание на возможность нестационарности гидрометеорологических процессов, относятся Б. Мандельброт и Дж. Уоллис, назвавшие длительные интервалы времени с экстремальными (минимальными и максимальными) осадками «эффектом Иосифа» [1] и предложившие соответствующие математические модели. К настоящему времени накопились относительно длительные ряды наблюдений за речным стоком и другими гидрометеорологическими процессами, что расширило наше представление о возможных нарушениях стационарности процессов. Во-первых, нестационарность на всем интервале наблюдений за процессом может быть обусловлена наличием тренда. Во-вторых, на отдельных интервалах времени процесс может выглядеть как стационарный, однако статистические характеристики процесса (или некоторые из них) для этих интервалов значительно различаются. При этом возможны ситуации, когда процесс на интервалах наблюдений стационарен по одним моментам распределения и нестационарен по другим [2—5].

Например, нестационарность по отношению к математическому ожиданию обнаружена в ряде наблюдений за наводнениями на р. Нил за 622—1469 гг. Продолжительность маловодных и многоводных интервалов времени, в течение которых многолетние изменения отметок нильских наводнений могут рассматриваться как стационарные случайные процессы, достигала примерно полутора столетий. В работе [6] приведены результаты анализа месячных индексов засухи (PDSI) для штата Иллинойс (США), показывающие выраженную нестационарность по средним и дисперсиям для интервалов 1950—1967 и 1968—1985 гг.

Оценка такого рода изменений обычно проводится в рамках квазистационарного приближения, т. е. в предположении о стационарности процесса на сравнимых временных интервалах. В этом смысле показательна работа П. Гройсмана с коллегами [7], в которой анализируются изменения вероятностей ливневых осадков как индикаторов климатических изменений. Авторы этой статьи сравнили вероятности ливневых осадков для «прошлого» и «будущего» климата, как следствие изменения средних величин осадков, и получили вывод о том, что изменение математического ожидания осадков приводит к существенному изменению вероятностей осадков (при прочих равных условиях). Возможно и менее очевидное проявление нестационарности процесса, например, изменение экстремальных характеристик процесса при изменении его средней величины (или линейной функции от этой величины) [8].

Научная новизна наших результатов состоит в получении полного набора функциональных зависимостей между статистическими характеристиками стока Сев. Двины, осадков и испарения на водосборе. При этом, из-за отсутствия многолетних наблюдений за испарением, соответствующие дисперсия и коэффициент

автокорреляции компонент водного баланса получены как решение системы уравнений, связывающих статистические характеристики основных составляющих водного баланса водосбора.

Достоверность полученных результатов базируется, во-первых, на применении физически обоснованной модели многолетних колебаний стока — стохастического разностного уравнения водного баланса, во-вторых, на применении современных математических методов обработки и анализа используемой гидрологической информации.

Прикладная значимость полученных результатов определяется возможностью их применения для расчетов речного стока с водосбора при решении различных практических задач: имитационного моделирования стока, получения прогностических характеристик речного стока при климатически измененных осадках и испарения, для исследования распространения загрязняющих веществ со стоком и т.д.

Методика исследования

В соответствии с поставленной целью динамико-стохастического моделирования водного баланса водосбора, были проанализированы ряды годовых величин речного стока Сев. Двины (ст. Усть-Пинега) и годовых слоев осадков на водосбор этой реки.

Информационной основой проведенных исследований послужил созданный нами архив годовых значений многолетних инструментальных наблюдений за стоком и атмосферными осадками. Данные по стоку реки за 1881—1999 гг. были получены на основе R-ArcticNET V4.0, за 2000—2008 гг. — ArcticRIMS. Осадки на водосборе получены на основе данных KNMI Climate Explorer (является частью регионального климатического центра Всемирной метеорологической организации). Нами были рассчитаны годовые суммы осадков на каждом из доступных постов по всей площади водосбора Сев. Двины, а затем осреднены. Полученные данные сравнивались с надежным рядом осадков (модульные величины), полученные Ф. З. Батталовым для района, примерно совпадающим с бассейном Сев. Двины [9]. Коэффициент корреляции между осадками по Ф. З. Батталову и рассчитанными нами осадками по бассейну за 1891—1962 гг. составляет $r = 0,80$, что указывает на удовлетворительное согласие между этими данными.

Сток Сев. Двины не зарегулирован, изъятия из стока незначительны, поэтому режим стока этой реки можно считать практически не искаженным прямым техногенным воздействием [10—12].

Для выявления нестационарности в многолетних колебаниях стока Сев. Двины анализировались ряды наблюдений за 1891—2008 гг. Были построены графики скользящих 50-летних отрезков исходного ряда, для которых вычислялись средние значения, дисперсии и коэффициенты автокорреляции. Выбор 50-летнего интервала усреднения, в отличие от обычно рекомендуемого ВМО 30-летнего, обосновывался необходимостью получения более надежных оценок статистических характеристик осадков и стока Сев. Двины. Для оценки средних величин можно

использовать и 30-летний интервал, однако, для оценки дисперсий и коэффициентов автокорреляции желательны более длительные интервалы.

Нами были проанализированы несколько интервалов наблюдений различной длительности. Наибольшие различия имеют место для оценок дисперсий и коэффициентов автокорреляции, приходящихся на 1911—1959 и 1960—2008 гг. (в дальнейшем I и II интервалы соответственно), поэтому эти интервалы использовались в наших исследованиях (рис. 1).

Графики на рис. 1 показывают, что среднее значение стока было практически постоянно на всех отрезках интервала наблюдений. Качественно похожий ход среднеквадратического отклонения (СКО) и коэффициентов автокорреляции осадков и стока Сев. Двины указывает на уменьшение коэффициента автокорреляции за счет более быстрого, по сравнению с дисперсией, уменьшения ковариации. Другими словами, имеет место уменьшение линейной зависимости между смежными значениями каждого из названных выше процессов.

От I ко II интервалу дисперсия осадков на водосбор уменьшилась в 1,6 раза, стока Сев. Двины — в 1,8 раза, отношения средних осадков и стока равны 1,0 и 1,1, соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики процессов на водосборе Сев. Двины
Statistical characteristics of the processes in the catchment area of the Northern Dvina

Процесс	Характеристика					
	Среднее, мм/год		Дисперсия, (мм/год) ²		Коэффициент автокорреляции	
	I	II	I	II	I	II
Осадки	557 (±9)	575 (±7)	4172	2688	0,27 (±0,14)	-0,16 (±0,14)
Сток Сев. Двины	306 (±9)	289 (±7)	3951	2247	0,43 (±0,14)	-0,05 (±0,14)

Примечание. Интервалы: I — 1911—1959 гг., II — 1960—2008 гг.

Таким образом, за исключением практически неизменных средних величин (на ~3 % осадки и на ~6 % сток), остальные статистические характеристики многолетних колебаний стока р. Сев. Двины и осадков в ее бассейне для 1911—1959 гг. и 1960—2008 гг. заметно различаются. Дисперсии осадков и стока уменьшились (на ~36 и ~43 %, соответственно), коэффициенты автокорреляции осадков и стока на первом сдвиге уменьшились, округленно, от 0,3 и 0,4, до слабоотрицательных. Различия этих параметров, отвечающих указанным интервалам времени, значимы на уровне 95 %.

Выявление непосредственной причины различия статистических характеристик стока для этих интервалов представляет предмет нашего исследования. При этом нам приходится решать «обратную гидрологическую задачу» («doing hydrology backward», [13, 14]), т. е. по статистическим характеристикам речного стока и осадков находить соответствующие характеристики испарения. Для этого используются решения системы уравнений Фридмана—Келлера (см., например, [15]), образованных аналитическими зависимостями между статистическими

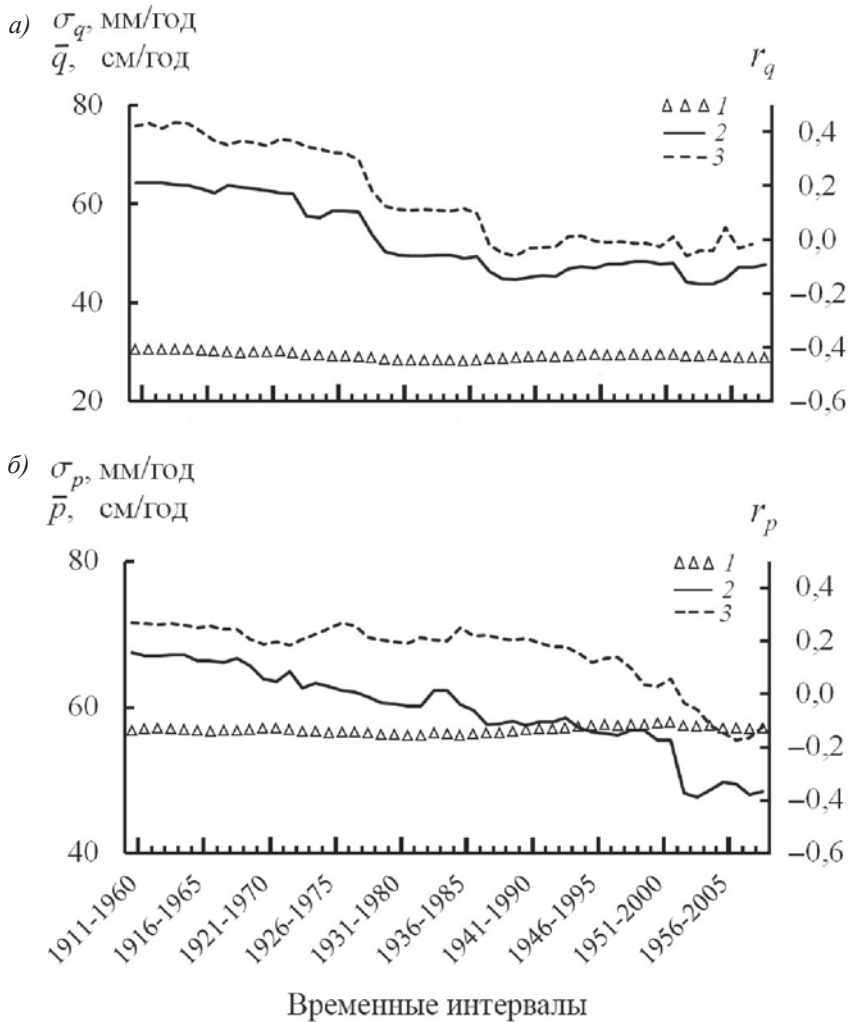


Рис. 1. Статистические характеристики 50-летних скользящих средних годовых значений стока Северной Двины на ст. Усть-Пинега (а) и годовых сумм осадков над речным водосбором (б).

На (а) и (б): 1 — средние арифметические стока (\bar{q}) и осадков (\bar{p});
 2 — стандартные отклонения стока (σ_q) и осадков (σ_p); 3 — коэффициенты автокорреляции на первом сдвиге стока (r_q) и осадков (r_p).

Fig. 1. Statistical characteristics of 50-year moving average annual runoff values of the Northern Dvina at g.s. Ust-Pinega (a) and annual precipitation over the river catchment (b).

On (a) and (b): 1 — mean of river runoff (\bar{q}) and precipitation (\bar{p}); 2 — standard deviation of river runoff (σ_q) and precipitation (σ_p); 3 — autocorrelation coefficient at the first shift of river runoff (r_q) and precipitation (r_p).

характеристиками входных и выходных процессов динамико-стохастической модели многолетних колебаний речного стока.

Применение системы уравнений Фридмана—Келлера обусловлено следующими обстоятельствами. Достаточно длительные наблюдения за многолетними колебаниями испарения с речных водосборов, в том числе и с водосбора Сев. Двины, чаще всего, отсутствуют. Средне многолетняя величина испарения легко находится из уравнения водного баланса (в предположении стационарности его компонентов). Однако, восстановить ряд годовых величин испарения по уравнению водного баланса водосбора невозможно, поскольку для замыкания этого уравнения необходима неизвестная функциональная зависимость между стоком Q_t и эффективным влагозапасом w_t на водосборе, $Q_t = Q(w_t)$. В первом приближении мы используем предположение о допустимости линейной зависимости $Q_t = \alpha w_t$, α — числовой коэффициент, однако, получить величину α в результате наблюдений практически невозможно. Поэтому мы решаем систему из трех уравнений, связывающих дисперсии, коэффициенты автокорреляции и коэффициенты взаимной корреляции стока, осадков и испарения. Эта система нелинейных уравнений замкнута, что и позволяет решить ее численно для трех неизвестных — коэффициента α , дисперсии и коэффициента автокорреляции многолетних колебаний испарения с водосбора. Идея о применении подобной системы для получения оценок неизвестных статистических характеристик моделируемого процесса была предложена А. А. Фридманом и Л. В. Келлером в статье, опубликованной в 1924 г.

Моделирование многолетних колебаний стока Сев. Двины. Основные уравнения и соотношения

Используемая модель многолетних колебаний речного стока относится к классу концептуальных моделей, получивших широкое распространение в гидрологии ([16—18] и другие). Мы рассматриваем речной водосбор как динамико-стохастическую систему с входными процессами — осадками и испарением на территории водосбора, и выходными процессами — речным стоком с водосбора и эффективным влагозапасом. Предполагается, что между компонентами водного баланса водосбора существуют связи: функциональная — между стоком с водосбора и влагозапасом, и стохастическая — между стоком, осадками и испарением.

Динамическая составляющая ДС-системы описывается уравнением водного баланса водосбора. Стохастичность ДС-системы есть следствие стохастичности составляющих водного баланса. Так же, как и сток с водосбора, колебания эффективного влагозапаса на водосборе рассматриваются выходным процессом в силу функциональной зависимости от изменения речного стока.

Уравнение, описывающее изменения влагозапаса на водосборе, в общем случае имеет вид:

$$w_t = w_{t-1} + p_t - e_t - Q_t(w_t), \quad (1)$$

w_t — эффективный влагозапас, т. е. влагозапас, участвующий в формировании речного стока; p_t и e_t — осадки и испарение на водосборе; Q_t — речной сток с водосбора

как функция эффективного влагозапаса w_t ; t — время (годы). Зависимость $Q_t(w_t)$ «... является фундаментальным свойством водосбора. Понимание того, что контролирует эту зависимость, лежит в основе науки о водосборном бассейне» [19].

Все величины в уравнении (1) отнесены к площади водосбора, поэтому имеют размерность слоя. В дальнейшем, для краткости, w_t будем называть просто влагозапасом. Уравнение (1) используется как концептуальная модель водосбора [13, 14, 19—21].

В предположении, что сток Q_t с водосбора прямо пропорционален величине w_t , т. е. $Q_t = \alpha w_t$, уравнение (1) принимает вид:

$$w_t = w_{t-1} + p_t - \alpha w_t - e_t. \quad (2)$$

Из уравнения (2), с учетом зависимости $Q_t = \alpha w_t$, получаем уравнение, описывающее многолетние колебания речного стока с водосбора:

$$Q_t = \beta Q_{t-1} + \alpha \beta (p_t - e_t), \quad (3)$$

где $\beta = 1/(1 + \alpha)$; t — время (годы).

В качестве моделей процессов многолетних колебаний осадков $p_t(t)$ и испарения $e_t(t)$ используем марковские (авторегрессионные) негауссовы последовательности первого порядка, АР(1):

$$p_t = \rho_p p_{t-1} + n_{p,t} \quad (4)$$

и

$$e_t = \rho_e e_{t-1} + n_{e,t}, \quad (5)$$

где ρ_p и ρ_e — коэффициенты автокорреляции осадков и испарения; $n_{p,t}$ и $n_{e,t}$ — белые шумы, причем процессы p_t и e_t взаимно коррелированы с коэффициентом r_{pe} .

Авто- и взаимная корреляции процессов p_t и e_t существенно влияет на статистические характеристики речного стока — дисперсию, автокорреляционную функцию и другие.

Взаимная корреляция между компонентами водного баланса водосбора отражает физико-географические условия формирования речного стока. Например, высокая корреляция между испарением и осадками характерна для водосборов, расположенных в аридной зоне, для водосборов же гумидной зоны эта корреляция мала [22]. Результаты оценки взаимной корреляции между речным стоком и осадками на водосбор для ряда рек в Китае приведены в работе [23]. Например, для водосборов крупных рек Китая (Янцзы, Желтая и др.) статистически значимые коэффициенты взаимной корреляции находятся в интервале от 0,39 до 0,85. Информация о величинах коэффициента взаимной корреляции между осадками и стоком рек представляется полезной, поскольку этот коэффициент используется при решении уравнений Фридмана—Келлера.

Система стохастических разностных уравнений (3)—(5) представляет собой динамико-стохастические модели многолетних колебаний влагозапаса на водосборе и речного стока. Без уменьшения общности, считается, что все процессы, входящие в уравнения (3)—(5) центрированы, т. е. имеют нулевые математические

ожидания. Система (1)—(3) позволяет получить аналитические зависимости между статистическими параметрами стока и вынуждающих процессов — осадков и испарения [24, 25].

$$R_Q(\tau) = \frac{\alpha^2 \beta^2}{1 - \beta^2} \left\{ \frac{\sigma_p^2 [(1 - \beta^2) \rho_p^{|\tau|+1} - (1 - \rho_p^2) \beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_p - \beta)(1 - \rho_p \beta)} + \frac{\sigma_e^2 [(1 - \beta^2) \rho_e^{|\tau|+1} - (1 - \rho_e^2) \beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_e - \beta)(1 - \rho_e \beta)} - \right. \\ \left. - r_{pe} \sigma_p \sigma_e \left[\frac{[(1 - \beta^2) \rho_p^{|\tau|+1} - (1 - \rho_p^2) \beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_p - \beta)(1 - \rho_p \beta)} + \frac{[(1 - \beta^2) \rho_e^{|\tau|+1} - (1 - \rho_e^2) \beta^{|\tau|+1}]}{(\rho_e - \beta)(1 - \rho_e \beta)} \right] \right\}. \quad (6)$$

Полагая $\tau = 0$, из (6) получаем формулу для безусловной (т. е. не зависящей от времени) дисперсии стока, σ_Q^2 :

$$\sigma_Q^2 = \frac{\alpha^2 \beta^2}{1 - \beta^2} \left\{ \frac{\sigma_p^2 (1 + \beta \rho_p)}{(1 - \beta \rho_p)} + \frac{\sigma_e^2 [(1 + \beta \rho_e)]}{(1 - \beta \rho_e)} - \right. \\ \left. - r_{pe} \sigma_p \sigma_e \left[\frac{1 + \beta \rho_p}{(1 - \rho_p^2)(1 - \beta \rho_p)} + \frac{1 + \beta \rho_e}{(1 - \rho_e^2)(1 - \beta \rho_e)} \right] \right\}. \quad (7)$$

Коэффициент автокорреляции речного стока:

$$r_Q = R_Q(1) / \sigma_Q^2, \quad (8)$$

где $R_Q(1)$ — значение $R_Q(\tau)$ при $\tau = 1$; σ_Q^2 определяется формулой (7).

Коэффициенты взаимной корреляции между стоком с водосбора и осадками r_{Qp} и между стоком и испарением r_{Qe} определяются выражениями:

$$r_{Qp} = \alpha \beta (\sigma_p^2 - r_{pe} \sigma_p \sigma_e) / \sigma_Q \sigma_p \quad (9)$$

и

$$r_{Qe} = \alpha \beta (-\sigma_e^2 + r_{pe} \sigma_p \sigma_e) / \sigma_Q \sigma_e. \quad (10)$$

Уравнения (7)—(10) образуют т.н. систему уравнений Фридмана—Келлера, связывающих статистические характеристики входных и выходных процессов моделируемой гидрологической системы — речного водосбора.

Применение ДС-модели многолетних колебаний речного стока

Система стохастических дифференциальных уравнений (3)—(5), представляющая собой ДС-модель многолетних колебаний речного стока, позволяет решать две задачи. Во-первых, *прямую*, т. е. получать оценки статистических характеристик стока как функций статистических параметров входных процессов. Во-вторых, дает возможность решать *обратную* задачу — по известным параметрам речного стока и одного из входных процессов находить неизвестные характеристики

второго из вынуждающих процессов — обычно, многолетних колебаний испарения с водосбора.

Первая задача может возникнуть при сценарных проекциях режима стока с водосбора в условиях измененного климата. В этом случае используются результаты климатического моделирования — характеристики осадков и испарения на водосборе.

Решение второй задачи, как правило, предшествует решению первой, поскольку позволяет получить правдоподобные оценки многолетних колебаний испарения с крупных водосборов — процесса, для которого почти всегда отсутствуют достаточно длительные ряды наблюдений; одним из редких исключений является работа [26]. Уравнения, образующие систему, решение которой дает основные характеристики испарения — дисперсию и коэффициент автокорреляции, необходимые для построения авторегрессионной модели многолетних колебаний испарения, представляют уравнения Фридмана—Келлера. Такого рода уравнения используются в полуэмпирической теории турбулентности [15, 27].

В табл. 2 приведены статистические характеристики испарения с водосбора Сев. Двины, дисперсия и коэффициент автокорреляции, а также параметр α из зависимости $Q_i = \alpha w_p$, полученные как решение системы уравнений Фридмана—Келлера (7)—(9).

Таблица 2

Оценки статистических характеристик испарения с водосбора Северной Двины
Estimates of Statistical Characteristics of Evaporation from the N. Dvina Watershed

Процесс	Характеристика							
	Среднее, мм/год		Дисперсия, (мм/год) ²		Коэффициент автокорреляции		Параметр α , год ⁻¹	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Испарение	251	286	3176	2270	0,28	-0,31	4,59	4,64

Примечание. Интервалы: I — 1911—1959 гг.; II — 1960—2008 гг. Для I и II интервалов коэффициенты взаимной корреляции между стоком и осадками равны 0,75 и 0,56, соответственно.

Параметр α естественно называть параметром инерционности водосбора, по аналогии с параметром инерционности уровня бессточного озера, предложенного Д. Я. Ратковичем [28]. Величина α существенно влияет на коэффициент автокорреляции и другие характеристики стока с водосбора. Заметим, что оценки параметра α для двух интервалов (см. табл. 2) практически совпадают, что указывает на инвариантность α по отношению к различным сценариям водного баланса. Подтверждение возможной зависимости величины коэффициентов автокорреляции стока одной и той же реки от временных интервалов, на которых коэффициенты вычислялись, содержится, например, в статье [29], посвященной исследованию формирования в стоке серий маловодных и многоводных лет.

Анализ данных в таблицах 1 и 2 позволяет сделать следующие предположения о физических причинах изменений (от I ко II интервалу времени) дисперсии и автокорреляции стока Сев. Двины.

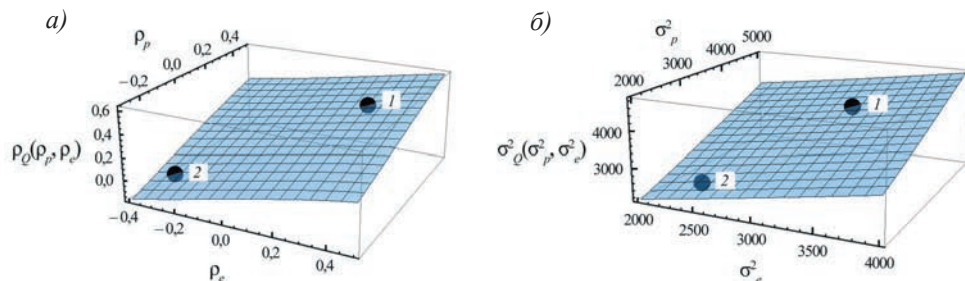


Рис. 2. Зависимости: *a*) коэффициента автокорреляции стока Северной Двины $\rho_Q(\rho_p, \rho_e)$ как функции двух переменных — коэффициентов автокорреляции осадков ρ_p и испарения ρ_e на водосборе; *б*) дисперсии стока Сев. Двины $\sigma_Q^2(\sigma_p^2, \sigma_e^2)$ как функции дисперсий осадков σ_p^2 и испарения σ_e^2 на водосборе для 1911—1959 гг.

Точки 1 и 2 на графике (*a*) обозначают коэффициенты автокорреляции стока $\rho_Q(\rho_p, \rho_e)$ для 1911—1959 гг. и 1960—2008 гг., соответственно; точки 1 и 2 на графике (*б*) обозначают дисперсии $\sigma_Q^2(\sigma_p^2, \sigma_e^2)$ стока для тех же временных интервалов.

Fig. 2. Dependences: *a*) autocorrelation coefficient $\rho_Q(\rho_p, \rho_e)$ of N. Dvina runoff as function of two variables — autocorrelation coefficients of precipitation ρ_p and evaporation ρ_e over watershed; *б*) variance $\sigma_Q^2(\sigma_p^2, \sigma_e^2)$ of N. Dvina runoff as function of variances σ_p^2 of precipitation and σ_e^2 evaporation over watershed for 1911—1959.

Points 1 and 2 on graph (*a*) denote autocorrelation coefficients $\rho_Q(\rho_p, \rho_e)$ of runoff for 1911—1959 and 1960—2008, respectively; points 1 and 2 on graph (*б*) denote the variances $\sigma_Q^2(\sigma_p^2, \sigma_e^2)$ of runoff for the same time intervals, respectively.

Уменьшение коэффициентов автокорреляции осадков и испарения приводит к уменьшению автокорреляции стока (рис. 2 *a*); уменьшение дисперсий осадков и испарения вызывает уменьшение дисперсии стока (рис. 2 *б*).

Наша модель несколько уточняет условия корректности физически прозрачного вывода о реакции дисперсии стока на изменения дисперсий осадков и испарения. Предположительно, во многих случаях увеличение (уменьшение) дисперсии осадков (и/или испарения) приводит к увеличению (уменьшению) дисперсии речного стока. Однако, как показывает наша модель, такая реакция дисперсии стока имеет место только «при прочих равных условиях». Если же с уменьшением, например, дисперсии осадков одновременно уменьшается и коэффициент взаимной корреляции между осадками и испарением, то дисперсия стока может, вместо уменьшения, увеличиться.

Изменения в характеристиках осадков и испарения от I интервала ко II привели к уменьшению коэффициента автокорреляции стока Сев. Двины при сдвиге на 1 год практически до нуля.

Таким образом, многолетние колебания испарения с водосбора Сев. Двины для I и II интервалов времени имеют несколько различный характер (рис. 3).

Коэффициенты автокорреляции стока Сев. Двины при сдвиге на 2 года больше по сравнению с той же величиной при сдвиге на 1 год (рис. 3 *a*) для обоих интервалов времени. Однако, эта разница несущественна для автокорреляционной

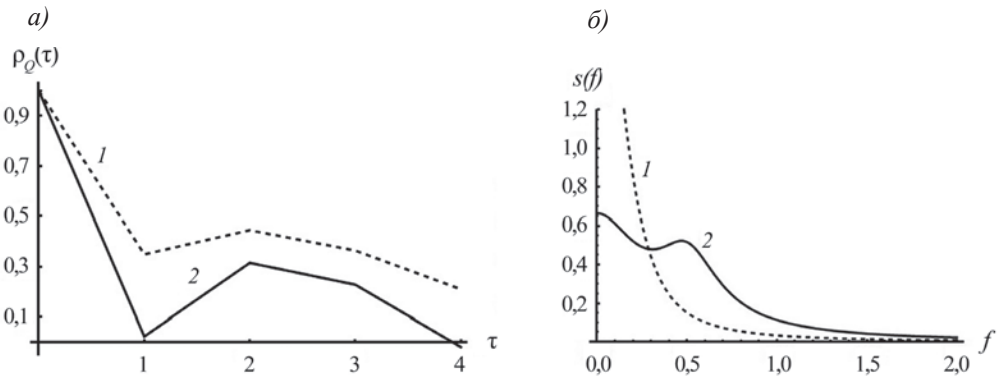


Рис. 3. Автокорреляционные функции $\rho_0(\tau)$ и спектры $s(f)$ стока Сев. Двины, f — частота.

1 и 2 — для условий интервалов 1911—1959 и 1960—2008 гг., соответственно.

Fig. 3. Autocorrelation functions $\rho_0(\tau)$ and spectra $s(f)$ of N. Dvina runoff, f — the frequency.

1 and 2 — for the conditions of the intervals 1911—1959 and 1960—2008, respectively.

функции 1 на рис. 3 а в том смысле, что соответствующий спектр колебаний стока близок к спектру простого марковского процесса (график 1 на рис. 3 б). Примечательно, что аналогичное изменение автокорреляционной функции (превышение 2-го коэффициента автокорреляции над 1-м) имело место для двух интервалов времени для притока в Байкал, впервые выявленное В. Н. Синюковичем с соавторами [30].

Спектр многолетних колебаний стока Сев. Двины для 1960—2008 гг. существенно отличается от спектра для 1911—1959 гг. (графики 1 и 2 на рис. 3 б). Для I интервала времени спектр колебаний стока Сев. Двины близок «красному» шуму, спектр для II интервала показывает смещение энергии колебаний стока в сторону высоких частот [25]. Строго говоря, в рамках нашей ДС-модели многолетние колебания стока с водосбора следует рассматривать как компоненту трехкомпонентного марковского процесса.

Аналогичное изменение величин дисперсий, смена знака коэффициента автокорреляции и неизменность средних значений в рядах составляющих водного баланса речного водосбора была выявлена при выделении соответствующих временных интервалов в ближайших к бассейну р. Сев. Двины рек Мезень (ст. Малонисогорская) и Пинеги (ст. Кулогора) [31]. Выявления похожих статистических неоднородностей в осадках на водосборах этих рек может рассматриваться аргументом для реальности существования нестационарности в стоковых рядах.

Результаты исследования многолетнего стока на 64 створах рек мира (Европы, России, Северной Америки и Австралии), представленные в работе [32] показали, что почти в половине рассмотренных случаев (29 случаев из 64) обнаружены относительно длительные интервалы времени (в основном 50 и более лет), характеризующиеся существенным различием дисперсий многолетнего стока (на 30—60 %).

При этом математические ожидания (средние значения) стока практически не менялись. Во всех этих случаях дисперсия стока рек Северной Америки, Австралии и Европы увеличивалась во втором интервале времени (за исключением четырех рек), в то время как дисперсия стока проанализированных нами рек России вела себя противоположным образом, т. е. уменьшалась. Таким образом, изменение дисперсии в сравнимые интервалы времени, а в некоторых случаях и коэффициента автокорреляции, при практически неизменных средних значениях существует не только в бассейне Сев. Двины, но и в бассейнах других рек мира.

Изменение дисперсии от одного интервала к другому, смена знака коэффициента автокорреляции, сдвиг максимума спектра стока в высокие частоты указывает на возможные климатические причины.

По данным [33] в европейском секторе Северного полушария, в том числе бассейне Сев. Двины, в середине шестидесятых годов XX в. произошла перестройка атмосферы (сменилась циркуляционная эпоха). Отмечавшаяся ранее зональная циркуляция атмосферы (1899—1965 гг.) сменилась на меридиональную (1966 — н.в.). Обнаруженные нами различия дисперсий и коэффициентов автокорреляции в рядах осадков, испарения и стока Сев. Двины, согласуются со сменой одной циркуляционной эпохи на другую.

Заключение

Динамико-стохастическая модель многолетних колебаний стока Сев. Двины позволяет решать прямую и обратную задачи: а) оценку влияния изменений статистических характеристик осадков и испарения на статистические характеристики стока и б) оценку дисперсии и коэффициента автокорреляции испарения с водосбора. Наша ДС-модель построена в рамках корреляционной теории случайных процессов. Речной водосбор рассматривается как гидрологическая система с входными и выходными процессами. При построении ДС-модели приняты предположения о применимости моделей входных процессов в виде процессов авторегрессии I порядка и о пропорциональности стока с водосбора от эффективного запаса воды на водосборе.

Выявленные изменения режима многолетних колебаний стока и осадков в бассейнах рек Сев. Двина, именно, нестационарность по вторым моментам — дисперсии и коэффициенту автокорреляции, вероятнее всего, связаны с перестройкой общей циркуляции атмосферы, например, с переходом от зонального на меридиональный перенос [33]. Существенное уменьшение дисперсий в рядах стока, осадков и испарения от I интервала ко II-му в стоке Сев. Двины предположительно связано с тем, что при меридиональном переносе атмосферный перенос более стабилен по сравнению с зональным, что приводит уменьшению размаха многолетних изменений осадков [34].

Список литературы

1. Mandelbrot B. B., Wallis J. R. Noah, Joseph and operational hydrology // Water Resour. Res. 1968. V. 4. No. 5. P. 909—918. doi: 10.1029/WR004i005p00909.

2. Добровольский С. Г. Глобальные изменения речного стока. М.: ГЕОС, 2011. 660 с.
3. Добровольский С. Г. Глобальная гидрология. Процессы и прогнозы. М.: ГЕОС, 2017. 526 с.
4. Добровольский С. Г., Соломонова И. В. О вековых изменениях параметров стационарности колебаний речного стока // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 123—144.
5. Фролов А. В., Соломонова И. В. Климатическая неоднородность в многолетних колебаниях водного баланса водосбора р. Северной Двины // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 275—281.
6. Smith K., Richman M. Recent hydroclimatic fluctuations and their effects on water resources in Illinois // *Climatic Change*. 1993. V. 24. P. 249—269.
7. Groisman P. Ya., Karl T. R., Easterling D. R. et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change // *Climatic Change*. 1999. V. 42. P. 243—283. doi: 10.1023/A:1005432803188.
8. Бузин В. А., Горошкова Н. И., Стриженок А. В., Палкина Д. А. Зависимости для прогнозов максимальных заторных уровней воды Сухоны, Юга и Малой Северной Двины и влияние на них климатических и антропогенных факторов // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 36. С. 12—21.
9. Батталов Ф. З. Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 183 с.
10. Георгиевский М. В., Горошкова Н. И., Хомякова В. А. и др. Влияние климатических изменений в осенне-зимний период на гидрологический режим рек бассейна Малой Северной Двины // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 466—479. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-466-479.
11. Гордеева С. М., Малинин В. Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 30—44.
12. Сумачев А. Э., Банщикова Л. С. Ледовый режим реки Печора и особенности прогнозирования высшего уровня ледохода // Гидрометеорология и экология. 2020. № 61. С. 446—459. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459.
13. Kirchner J. W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology // *Water Resour. Res.* 2006. V. 42, No. 3. W03S04. doi: 10.1029/2005WR004362.
14. Kirchner J. W. Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-run-off modeling, and doing hydrology backward // *Water Resour. Res.* 2009. V. 45, No. 2. W02429. doi:10.1029/2008WR006912.
15. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Ч. 1. М.: Наука, 1965. 639 с.
16. Klemesš V. Physical based stochastic hydrologic analysis // *Advances in Hydroscience*. 1978. V. 11. P. 285—356. doi: 10.1016/B978-0-12-021811-0.50010-3.
17. Klemesš V. The essence of mathematical models of reservoir storage // *Canadian journal of civil engineering*. 1982. V. 9, No. 4. P. 624—635. doi: 10.1139/182-072.
18. Meert P., Nossent J., Vanderkimpfen P. et al. Development of conceptual models for an integrated catchment management: Subreport 1 – Literature review of conceptual models structures. Antwerp., Belgium: Flanders Hydraulics Research, 2014. 83 p.
19. Creutzfeldt B., Troch P. A., Güntner A. et al. Storage-discharge relationships at different catchment scales based on local high-precision gravimetry // *Hydrological Processes*. 2014. V. 28, No. 3. P. 1465—1475. doi: 10.1002/hyp.9689.
20. Botter G., Porporato A., Rodriguez-Iturbe I., Rinaldo A. Nonlinear storage-discharge relations and catchment streamflow regimes // *Water Resour. Res.* 2009. V. 45, No. 10. W10427. doi:10.1029/2008WR007658.
21. Teuling A. J., Lehner I., Kirchner J. W., Seneviratne S. I. Catchments as simple dynamical systems: Experience from a Swiss prealpine catchment // *Water Resour. Res.* 2010. V. 46, No. 10. W10502. doi:10.1029/2009WR008777.
22. Давыдов Л. К. Водоносность рек СССР. Ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. Л.: Гидрометеоиздат, 1947. 161 с.
23. Zhang Z., Chen X., Xu C.-Y. et al. Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years // *Journal of Hydrology*. 2011. V. 409, No. 1–2. P. 81—93. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.07.041.

24. Фролов А. В. Дискретная динамико-стохастическая модель многолетних колебаний речного стока // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 5. С. 538—547.
25. Фролов А. В. Оценка статистических характеристик многолетних колебаний испарения с крупных речных водосборов // Доклады академии наук СССР. 2014. Т. 458, № 3. С. 345—348. doi: 10.7868/S0869565214270188.
26. Голубев В. С., Сперанская Н. А., Цыцунко К. В. Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб: Гидрометеоиздат, 2003. С. 35—53.
27. Баренблатт Г. И. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. Теория и приложение к геофизической гидродинамике. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 207 с.
28. Музылев С. В., Привальский В. Е., Раткович Д. Я. Стохастические модели в инженерной гидрологии. М.: Наука, 1982. 184 с.
29. Раткович Д. Я. Закономерности чередования маловодных и многоводных лет как основа регулирования речного стока // Труды ГГИ. 1970. Вып. 180. С. 179—293.
30. Синюкович В. Н., Сизова Л. Н., Курбатова Н. Н., Шимараев М. Н. Особенности современных изменений притока воды в озеро Байкал // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 57—63.
31. Соломонова И. В., Фролов А. В. Статистические неоднородности в водном балансе крупных рек Архангельской области // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования Иркутского государственного университета. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019. С. 241—248.
32. Соломонова И. В. Статистические неоднородности в рядах годового стока рек // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития: тр. II Всерос. конф. СПб.: Химиздат, 2018. С. 594—597. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://mgo-spb.ru/f/190iv_solomonova.pdf. (дата обращения: 21.10.2022).
33. Кононова Н. К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899—2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 108—123. doi: 10.21513/2410-8758-2018-3-108-123.
34. Восканян К. Л., Иванова Т. И., Кузнецов А. Д. и др. Анализ смены периодов климатической стабильности северной территории России // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 207—220. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220.

References

1. Mandelbrot B. B., Wallis J. R. Noah, Joseph and operational hydrology. *Water Resour. Res.* 1968;4(5):909—918. doi: 10.1029/WR004i005p00909.
2. Dobrovolskiy S. G. *Global'nyye izmeneniya rechnogo stoka = Global changes in river runoff*. Moscow: GEOS, 2011: 660 p. (In Russ.).
3. Dobrovolskiy S. G. *Global'naya gidrologiya. Protsessy i prognozy = Global hydrology. Processes and forecasts*. Moscow: GEOS, 2017: 526 p. (In Russ.).
4. Dobrovolsky S. G., Solomonova I. V. On secular changes in the parameters of stationarity of fluctuations in river runoff. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of the RSHU*. 2018;(53):123—144. (In Russ.).
5. Frolov A. V., Solomonova I. V. Climatic heterogeneity in long-term fluctuations in the water balance of the catchment of the river. Northern Dvina. *Water resources: new challenges and solutions*. Novocherkassk: Lik, 2017: 275—281. (In Russ.).
6. Smith K., Richman M. Recent hydroclimatic fluctuations and their effects on water resources in Illinois. *Climatic Change*. 1993;(24):249—269.
7. Groisman P. Ya., Karl T. R., Easterling D. R. et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change. *Climatic Change*. 1999;(42):243—283. doi: 10.1023/A:1005432803188.
8. Buzin V. A., Goroshkova N. I., Strizhenok A. V., Palkina D. A. Dependencies for forecasting the maximum jam levels of water in the Sukhona, the South and the Lesser Northern Dvina and the influence of

- climatic and anthropogenic factors on them. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of the RSHU*. 2014;(36):12—21. (In Russ.).
9. Battalov F. Z. *Mnogoletniye kolebaniya atmosferykh osadkov i vychisleniye norm osadkov = Long-term fluctuations in atmospheric precipitation and calculation of precipitation norms*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968: 183 p. (In Russ.).
 10. Georgievsky M. V., Goroshkova N. I., Khomyakova V. A. et al. Influence of climatic changes in the autumn-winter period on the hydrological regime of the rivers of the Malaya Northern Dvina basin. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021;(64):466—479. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-466-479. (In Russ.).
 11. Gordeeva S. M., Malinin V. N. Using Data Mining in the Problem of Hydrometeorological Forecasting. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of the RSHU*. 2016;(44):30—44. (In Russ.).
 12. Sumachev A. E., Banshchikova L. S. Ice regime of the Pechora River and features of forecasting the highest level of ice drift. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2020;(61):446—459. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459. (In Russ.).
 13. Kirchner J. W. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Resour. Res.* 2006;42(3):W03S04. doi: 10.1029/2005WR004362.
 14. Kirchner J. W. Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rain-fall-runoff modeling, and doing hydrology backward. *Water Resour. Res.* 2009;45(2): W02429. doi:10.1029/2008WR006912.
 15. Monin A. S., Yaglom A. M. *Statisticheskaya gidromekhanika. Ch. 1 = Statistical hydromechanics. Part 1*. Moscow: Nauka, 1965: 639 p. (In Russ.).
 16. Klemeš V. Physical based stochastic hydrologic analysis. *Advances in Hydrosience*. 1978;(11):285—356. doi: 10.1016/B978-0-12-021811-0.50010-3.
 17. Klemeš V. The essence of mathematical models of reservoir storage. *Canadian journal of civil engineering*. 1982;9(4):624—635. doi: 10.1139/182-072.
 18. Meert P., Nossent J., Vanderkimpfen P. et al. Development of conceptual models for an integrated catchment management: Subreport 1 — Literature review of conceptual models structures. Antwerp, Belgium: Flanders Hydraulics Research, 2014: 83 p.
 19. Creutzfeldt B., Troch P. A., Güntner A. et al. Storage-discharge relationships at different catchment scales based on local high-precision gravimetry. *Hydrological Processes*. 2014;28(3):1465—1475. doi: 10.1002/hyp.9689.
 20. Botter G., Porporato A., Rodriguez-Iturbe I., Rinaldo A. Nonlinear storage-discharge relations and catchment streamflow regimes. *Water Resour. Res.* 2009;45(10):W10427. doi: 10.1029/2008WR007658.
 21. Teuling A. J., Lehner I., Kirchner J. W., Seneviratne S. I. Catchments as simple dynamical systems: Experience from a Swiss prealpine catchment. *Water Resour. Res.* 2010;46(10):W10502. doi: 10.1029/2009WR008777.
 22. Davydov L. K. *Vodonosnost' rek SSSR. Yeye kolebaniya i vliyaniye na neye fiziko-geograficheskikh faktorov = Water content of the rivers of the USSR. Its fluctuations and the influence of physical and geographical factors on it*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1947: 161 p. (In Russ.).
 23. Zhang Z., Chen X., Xu C.-Y. et al. Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years. *Journal of Hydrology*. 2011;409(1—2):81—93. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.07.041.
 24. Frolov A. V. Discrete dynamic-stochastic model of long-term river runoff variations. *Water Resources*. 2011;38(5):583—592.
 25. Frolov A. V. Estimation of statistical characteristics of long-term fluctuations in evaporation from large river watersheds. *Doklady akademii nauk SSSR = Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 2014;458(3):345—348. doi: 10.7868/S0869565214270188. (In Russ.).
 26. Golubev V. S., Speranskaya N. A., Tsytunko K. V. Total evaporation in the Volga basin and its variability. *Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin*. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003: 35—53. (In Russ.).
 27. Barenblatt G. I. *Podobiye, avtomodel'nost', promezhutochnaya asimptotika. Teoriya i prilozheniye k geofizicheskoy gidrodinamike = Similarity, self-similarity, intermediate asymptotics. Theory and application to geophysical hydrodynamics*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978: 207 p. (In Russ.).

28. Muzylev S. V., Prival'skiy V. Ye., Ratkovich D. Ya. *Stokhasticheskiye modeli v inzhenernoy gidrologii = Stochastic models in engineering hydrology*. Moscow: Nauka, 1982: 184 p. (In Russ.).
29. Ratkovich D. Ya. Patterns of alternation of low-water and high-water years as the basis for regulating river flow. *Trudy GGI = Proceedings of the GGI*. 1970:(180):179—293. (In Russ.).
30. Sinyukovich V. N., Sizova L. N., Kurbatova N. N., Shimaraev M. N. Features of modern changes in water inflow into Lake Baikal. *Geografiya i prirodnyye resursy = Geography and Natural Resources*. 2013:(4):57—63. (In Russ.).
31. Solomonova I. V., Frolov A. V. Statistical inhomogeneities in the water balance of large rivers in the Arkhangelsk region. *Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia: materials of the II All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Department of Hydrology and Environmental Management of Irkutsk State University*. Irkutsk: IGU Publishing House, 2019: 241—248. (In Russ.).
32. Solomonova I. V. Statistical inhomogeneities in the series of annual river runoff. *Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya. tr. II Vseros. konf. = Hydrometeorology and Ecology: Achievements and Development Prospects: Proceedings of the II All-Russian Conference*. St. Petersburg: Himizdat, 2018: 594—597. (In Russ.). Available at: http://mgo-spb.ru/f/190iv_solomonova.pdf. (accessed on: 21.10.2022).
33. Kononova N. K. Types of global atmospheric circulation: results of monitoring and retrospective assessment for 1899—2017. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology*. 2018:(3):108—123. doi: 10.21513/2410-8758-2018-3-108-123. (In Russ.).
34. Voskanyan K. L., Ivanova T. I., Kuznetsov A. D. et al. Analysis of the change in periods of climatic stability in the northern territory of Russia. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2022:(67):207—220. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-207-220. (In Russ.).

Информация об авторах

Анатолий Васильевич Фролов, д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, Отдел динамики водной среды, лаборатория глобальной гидрологии, Институт водных проблем РАН, anatolyfrolov@yandex.ru.

Ирина Владимировна Соломонова, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Отдел динамики водной среды, лаборатория глобальной гидрологии, Институт водных проблем РАН, _iren@mail.ru.

Information about authors

Anatoly V. Frolov, Dr. Sci. (Tech.), Chief Scientific Researcher, Department of Aquatic Environment Dynamics, Laboratory of Global Hydrology, Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, anatolyfrolov@yandex.ru.

Irina V. Solomonova, PhD (Tech. Sci.), Senior Researcher, Department of Aquatic Environment Dynamics, Laboratory of Global Hydrology, Water Problems Institute Russian Academy of Sciences, _iren@mail.ru.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 01.02.2023

Принята в печать 28.02.2023

The article was received on 01.02.2023

The article was accepted 28.02.2023

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 71—81.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70):71—81.

ОКЕАНОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 597.556.331(261.74)
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-71-81

Гипотеза возникновения независимой популяции гвинейской тилапии (*Coptodon guineensis* (Günther)) в заливе Арген (Атлантический океан)

Алексей Витальевич Гушчин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Poseidon-47@rambler.ru

Аннотация. Обсуждается гипотеза возникновения независимой популяции гвинейской тилапии (*Coptodon guineensis*) как единственного вида рыб, сохранившегося из ихтиофауны палеореки, впадавшей в залив Арген в период климатического оптимума голоцена (неолитический субплювиал). Благодаря постепенному изменению условий среды в южной части залива Арген гвинейская тилапия адаптировалась к водам повышенной солености (38—41 ‰) и образовала самовоспроизводящуюся популяцию. Популяция изолирована открытым океаном от реки Сенегал и расположенных южнее эстуарий экваториальной Африки — мест традиционного обитания вида, так и от мест находок тилапии на севере, в Марокко.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0007). Автор выражает глубокую благодарность сотруднику Королевского Музея Центральной Африки (Royal Museum for Central Africa) доктору Аденарду (Dr. Thys van den Audenerde) за определение экземпляров гвинейской тилапии и коллеге, доктору Гудварду (P. C. Goudswaard), подавшему идею переопределения тилапии залива Арген.

Ключевые слова: независимая популяция, *Coptodon guineensis*, гипотеза происхождения, залив Арген, соленость, реки голоцена, климатический оптимум голоцена.

Для цитирования. Гушчин А. В. Гипотеза возникновения независимой популяции гвинейской тилапии (*Coptodon guineensis* (Günther)) в заливе Арген (Атлантический океан) // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 71—81. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-71-81.

OCEANOLOGY

Original article

The hypothesis of appearance of an independent population of Guinean tilapia (*Coptodon guineensis* (Günther)) in the Gulf of Argen (Atlantic Ocean)

Alexey V. Gushchin

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
Poseidon-47@rambler.ru

Summary. The article discusses the hypothesis of appearance of an independent population of Guinean tilapia (*Coptodon guineensis*), as the only fish species preserved of the ichthyofauna of the paleo-river

flowing into the Argen Bay (Mauritania) during the Holocene climatic optimum (Neolithic subpluvial). The subsequent climate change in North Africa towards arid one and the onset of the Sahara Desert led to the disappearance of the rivers flowing into the bay. Last such river may have been the river flowing into the St. Joan's Bay in the south of the Gulf of Argen. Hydrological changes in the Gulf of Argen were taking place gradually over several thousand years. As a result, the Gulf of Argen was divided into two hydrological zones: the northern one, affected by the waters of the permanent Canarian upwelling, and the southern shallow one, where the waters transformed due to heating, which led to an increase in the salinity and water temperature. Due to the gradual changes in the environmental conditions in the southern part of the Gulf of Argen, the Guinean tilapia adapted to the waters of high salinity (38—41 ‰) and formed a self-reproducing population. The open ocean isolates the population from the Senegal River and the estuaries of equatorial Africa located to the south, the traditional habitats of the species, as well as from the places of the tilapia finds to the north, in Morocco.

Acknowledgments. The work was carried out with the support of the state task of the IO RAS No. FMWE-2021-0012. The author expresses his deep gratitude to Dr. Thys van den Audenerde of the Royal Museum for Central Africa for identifying the Guinea tilapia specimens and to his colleague Dr. P. C. Goudswaard, who proposed the idea of re-identifying Argen Bay tilapia.

Keywords: independent population, *Coptodon guineensis*, origin hypothesis, Argen Bay, salinity, Holocene rivers, Holocene climatic optimum.

For citation: Gushchin A. V. The hypothesis of the emergence of an independent population of Guinean tilapia (*Coptodon guineensis* (Günther)) in the Gulf of Argen (Atlantic Ocean). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):71—81. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-71-81.

Введение

Тилапия была найдена в 1983 г. в заливе Арген (Мавритания) и описана как *Sarotherodon melanotheron* (Rueppell, 1852) [1]. Исследования ихтиофауны залива в 2000—2004 гг. позволили локализовать ареал тилапии в заливе и переопределить ее как «гвинейскую тилапию» — *Coptodon guineensis* (Günther, 1862), синоним *Tilapia guineensis* (Günther, 1862) [2]. Гвинейская тилапия известна в эстуариях и лагунах Западной Африки [3, 4]. Обычным местом обитания гвинейской тилапии являются реки и опресненные участки моря вблизи устья рек от Сенегала до Анголы [5]. Максимальная соленость воды в местах обитания гвинейской тилапии не превышает 28,5 ‰ [6]. В 2009 г. гвинейская тилапия была обнаружена в районе Дахлы (Sebkha d'Imlily) и Квад Абар (Oued Aabar) [7, 8]. В южной части залива Арген гвинейская тилапия обитает при повышенной солености (38—41 ‰). Популяция изолирована открытым океаном от реки Сенегал и расположенных южнее эстуарий экваториальной Африки, и от мест находок тилапии на севере в районе Дахлы.

Целью данной работы является обсуждение гипотезы появления и существования популяции гвинейской тилапии в заливе Арген.

Материалы и методы исследования

Экземпляры гвинейской тилапии были собраны в ряде рейсов НИС «Амрик» Института Рыболовства и Океанографии Мавритании (IMROP) в залив Арген в 2000—2004 гг. и в экспедициях по ихтиологическому обследованию литорали дельты р. Сенегал в январе 2002 и июле 2003 гг.

В заливе Арген материал собирали на 13 стандартных станциях ежемесячно с учетом охвата всех типов литорали¹. На каждой станции регулярно проводили лов рыбы. Тип литорали определяли по гидрохимическим параметрам воды, уклону дна, типу грунта, степени покрытия грунта водорослями и морской травой, по силе прибойного воздействия. Для лова рыб использовали «пляжный» невод: длина крыльев 19 м (ячей 18 мм), мешок длиной 4 м из дублированной сети (ячей 16 мм). Общая длина горизонтального раскрытия невода 42 м, высота стенки невода на крыльях 2,5 м, в районе мешка — 3 м. Невод высыпают параллельно берегу на расстоянии 20—50 м в зависимости от глубины, затем выбирают на берег. Тиляпия была обнаружена на трех станциях в южной части залива Арген. Эти станции относятся к типу «литораль внутренних бухт, закрытая от ветров и прибой, с полого опускающимся берегом, с зарослями морских трав» [2]. Всего было поймано 16 экз. тиляпии на литоральных станциях и дополнительно проанализировано 22 экз. из уловов местных рыбаков племени имрагенов, которым разрешен лов рыбы в акватории национального парка «Банка Арген» (Parc National du Banc d'Arguin).

Сравнительный материал по гвинейской тиляпии был получен из района дельты р. Сенегал. На литорали дельты р. Сенегал ниже платины Diama пляжным неводом были выполнены ловы (январь 2002, июль 2003 гг.) на восьми станциях. Одна станция была выполнена на литорали открытого океана у места впадения р. Сенегал. Дополнительно были привлечены данные по уловам рыбаков в 8 пунктах регулярных наблюдений IMROP за прибрежным рыболовством на побережье океана, располагающихся между дельтой р. Сенегал и м. Тимирис. Всего было изучено 363 экз. гвинейской тиляпии района дельты р. Сенегал.

Для датировки времени существования реки, впадавшей в залив Арген, и образования самого залива были использованы материалы по находкам из неолитических стоянок, располагавшихся 7000—4000 лет до н.э. на полуострове Кап-Блан [9]. Возраст артефактов из неолитических стоянок был определен радиоуглеродным методом в радиологической лаборатории «Lodys, Paris VI» [10].

Оценка береговой зоны, затопленной океаном 5—6 тыс. лет до н.э., была проведена по находкам в пустыне раковин морского моллюска *Anadara senilis* (Linnaeus, 1758). Места находок определялись с помощью GPS и наносились на карту.

Результаты исследования

Гвинейская тиляпия в заливе Арген встречается в южной части у островов Тирда в проливе Серени и в бухте Св. Жанны. Стацией обитания гвинейской тиляпии служит мелководье литорали с глубинами 1,5—2,0 м, покрытое зарослями морских трав *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa* и частично обнажающееся в отлив. Покрытие травами может быть сплошным или мозаичным с песчано-илистыми

¹ Литораль — применяемый термин подразумевает классическое определение **литорали** (лат. *litoralis* — береговой), принятое в океанологии (литоральная зона или приливно-отливная зона) — участок берега, который располагается между самым высоким уровнем воды в прилив и самым низким в отлив.

проплешинами. Соленость воды в этих местах более 40 ‰, температура выше 29 °C (рис. 1). В уловах пляжным неводом гвинейская тилапия встречается редко, но она обычна в уловах ставными сетями у рыбаков-имрагенов. Размеры гвинейской тилапии колеблются от 84 до 393 мм, в среднем 164 мм (табл. 1). В уловах присутствует молодь и крупные особи, имевшие половые продукты разной степени зрелости, в том числе близкие к вымету (гвинейская тилапия инкубирует и вынашивает икру и молодь в полости рта).

Таблица 1

Размеры и масса рыб из популяций гвинейской тилапии залива Арген и реки Сенегал
 Sizes and masses of fish from the populations of Guinean tilapia
 in the Gulf of Argen and Senegal River

	Залив Арген		Река Сенегал	
	полная длина, мм	полная масса, г	полная длина, мм	полная масса, г
Среднее	$164,79 \pm 12,01$ 74,05	$154,52 \pm 33,72$ 207,85	$62,83 \pm 1,28$ 24,37	$7,49 \pm 0,77$ 14,61
Минимум / максимум	84 / 393	15 / 960	25 / 205	0,3 / 152
Количество экз.	38		363	

Примечание. Здесь над чертой — среднее значение и его ошибка, под чертой — стандартное отклонение.

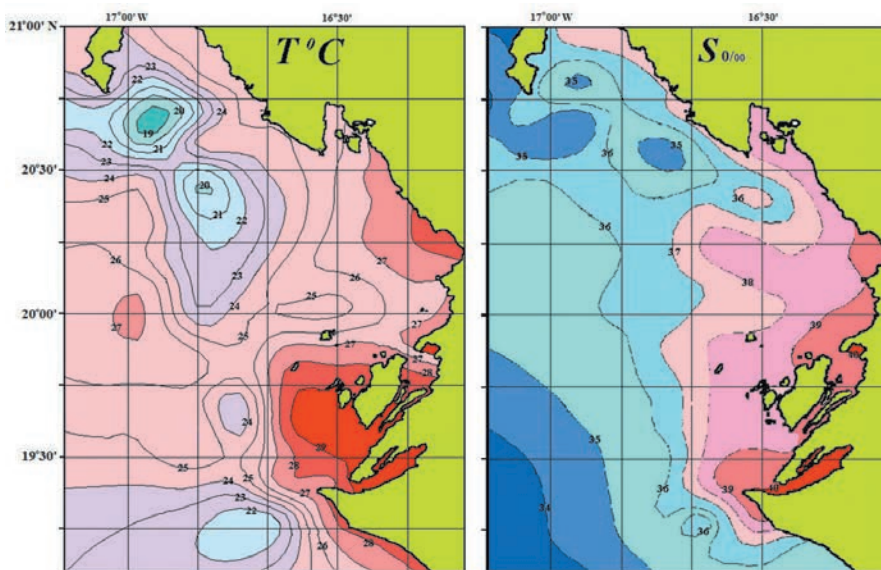


Рис. 1. Распределение осредненных температур ($T^{\circ}\text{C}$) и солености ($S\text{‰}$) воды в заливе Арген (Мавритания) по данным 2000—2005 гг. [2].

Fig. 1. Distribution of an average temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and the salinity ($S\text{‰}$) of water in the Argon Bay (Mauritania) according to the data of 2000—2005 [2].

Гвинейская тилапия р. Сенегал встречается на всем протяжении дельты. Стацией обитания гвинейской тилапии дельты р. Сенегал служат глинистые и илистые грунты, в редких случаях встречаются песчаные отложения. Водной растительности, макрофитов нет. Скорость течения невелика и не превышает 0,01 м/с. Температура воды в р. Сенегал в период ихтиологических исследований дельты составляла в январе 19—21 °С, в июле 26—30 °С, соленость колебалась от 0,2 до 8,1 ‰. Близкие значения солености 1—7,5 ‰, и ее зависимость от сезона отмечают другие авторы [11]. Молодь гвинейской тилапии встречалась в уловах пляжным неводом на всех литоральных станциях дельты. Размеры гвинейской тилапии на литорали дельты колеблются от 25 до 205 мм, в среднем 62 мм (см. табл. 1). Крупные половозрелые особи наблюдались в уловах профессиональных рыбаков вне зоны литорали.

Обсуждение

Залив Арген представляет собой обширное мелководье площадью 12,6 тыс. км² со средней глубиной 2,5 м. В заливе наблюдается неправильный полусуточный прилив с амплитудой 1,2—2,0 м. Залив отделен от океана скальным баром с глубинами 1,5—25 м, снижающим прибойное воздействие океана. Воды повышенной продуктивности Канарского апвеллинга [12] проникают в залив в районе 20°40' с.ш., где одна ветвь течения поворачивает на север в бухту Леврие. Другая ветвь поворачивает на юг вдоль побережья залива. Поступающие на юг воды трансформируются за счет прогрева и испарения на мелководье залива. Температура воды на юге залива поднимается до 29,5 °С. Соленость воды повышается за счет испарения и достигает максимума (более 40 ‰) в проливах между островами Тирда, в проливе Серени, в бухтах Арген и Св. Жанны на юге залива (рис. 1). Трансформированные воды вытекают в океан на юге залива у м. Тимирис. Ихтиофауна литорали включает 91 вид рыб, в том числе гвинейскую тилапию [2].

Гвинейская тилапия обитает в реках и в акватории устьев рек и лагун от Сенегала до Анголы [13]. Проведенные работы показали, что гвинейская тилапия встречается в разветвленной дельте р. Сенегал, но отсутствует в акватории океана, расположенной рядом с дельтой. Гвинейской тилапии нет на литорали открытого океана на всем промежутке от впадения р. Сенегал до м. Тимирис, южной оконечности залива Арген. Это подтверждается ловами рыбы на восьми пунктах регулярных наблюдений за прибрежным рыболовством мавританского Института рыболовства и океанографии (IMROP), расположенных между дельтой р. Сенегал и м. Тимирис. Рыбаки кустарного промысла, работающие в прибрежной зоне, гвинейскую тилапию не встречают. Отсутствует гвинейская тилапия в многочисленных уловах исследовательских судов IMROP в прибрежной части океана между м. Кап-Блан и р. Сенегал. Приведенные сведения позволяют утверждать, что гвинейской тилапии нет в океане между р. Сенегал и м. Тимирис.

Существует информация о находке в 2009 г. гвинейской тилапии *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862), являющейся синонимом валидного названия *Coptodon guineensis*, в районе Дахлы (Sebkhad' Imlily). Себха представляет озерно-болотистое

образование длиной 13 км, шириной 2,5 км, глубиной до 6 м, она располагается в 15 км от океана. Соленость воды в себхе составляет 39—41 ‰. Себха питается водой за счет временных рек, образованных дождевой водой, и подземными водами [7].

Гвинейская тилапия как эвригалинный вид известна из эстуарий и лагун Западной Африки [3, 4]. В акватории обитания гвинейской тилапии в эстуариях и лагунах максимальная соленость воды может достигать 28,5 ‰ [6]. Гвинейская тилапия, обитающая в заливе Арген, встречается в южной части залива в местах с соленостью более 29 ‰. В зоне с меньшей соленостью тилапия не обнаружена. В водах дельты р. Сенегал гвинейская тилапия отличается меньшими размерами, что, скорее всего, отражает не размерные отличия, а особенности ее распределения в реке, где молодь держится на литорали, а крупные особи в более глубоких водах. Морфологических отличий от приведенных в описании вида в том и другом случае нет.

Находки гвинейской тилапии в заливе Арген и районе Дахлы вызывают вопросы: как и когда возникла популяция тилапии залива Арген и что могло вызвать адаптацию тилапии залива Арген к высокой солености?

Гипотеза происхождения гвинейской тилапии в заливе Арген

Одной из наиболее частых причин появления вселенцев на ранее чуждой акватории является занос их икры и личинок вместе с балластными водами судов. В данном случае это предположение не оправдано, так как суда не заходят в южную мелководную часть залива, входящую в охраняемую акваторию Национального парка «Банка Арген», и тем более не могут появиться в себхе. Гвинейская тилапия инкубирует икру и вынашивает личинок во рту, охраняя потомство. Следовательно, случайный перенос икры и личинок маловероятен.

Более вероятным объяснением существования популяции тилапии в заливе Арген и районе Дахлы может быть то, что в период атлантического климатического оптимума голоцена или неолитического субплювиала в Северной Африке (8—4 тыс. лет до н.э.) в этих местах существовали реки, где могла обитать гвинейская тилапия. Такие реки, впадавшие в океан, были нанесены на ряд старых карт Северной Африки. Они есть на карте Птолемея, Меркатора, который на своей карте «*Carte d'Afrique in Cosmographicae*» указывает реки, впадающие в бухту Дахла, реку Арген, впадающую в залив Арген [14]. Имеются они и на других картах. На картах немецкого атласа «*Grosser Deutscher Atlas*» 1794—1796 гг. указана река, впадающая в бухту Св. Жанны в заливе Арген. На более поздней карте Гарнье (Garnier F. A.) XIX века [15] нанесены реки, впадающие в залив Дахлы и бухту Св. Жанны. Можно предполагать, что эти реки исчезли в XVII—XIX веках и были последними в западной Сахаре. Долины исчезнувших рек залива Арген, бухты Дахла и прилегающих мест нанесены на современные топографические карты Марокко и Мавритании и хорошо видны при посещении этих мест. Таких долин-вади в зоне залива Арген три: на севере залива в районе бухты Архимед, в районе бухты Арген и в районе пролива Серени и бухты Св. Жанны. Сам залив Арген был сформирован как дельты трех рек, впадавших в океан. Речные долины-вади служат убедительным подтверждением такого заключения (рис. 2).

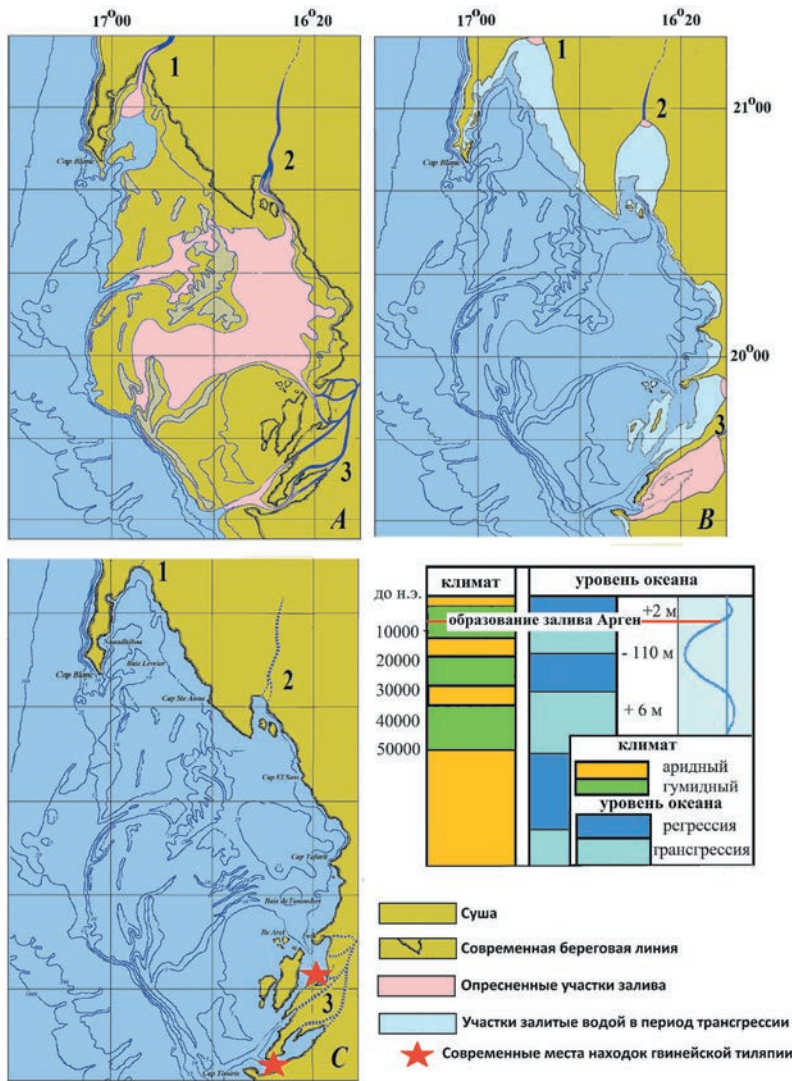


Рис. 2. Залив Арген в различные периоды своего существования:

A — начало формирования залива (8 тыс. лет до н.э.); *B* — залив в период максимального поднятия вод (5—6 тыс. лет до н.э.); *C* — современное положение залива с местами находок гвинейской тилапии. 1, 2, 3 — возможные места впадения рек. Схема климатических изменений и уровня океана по Vernet [17].

Fig. 2. Gulf of Argentin in the different periods of its existence:

A — the beginning of the formation of the bay (8 thousand years BC); *B* — the bay during the period of maximum water rise (5—6 thousand years BC); *C* — the current position of the bay with the sites of the finds of Guinean tilapia. 1, 2, 3 — the possible places where the rivers flow.

Scheme of climate change and ocean level according to Vernet [17].

В Сахаре в период климатического оптимума голоцена 8—6 тыс. до н.э. был мягкий влажный климат, что подтверждается множеством фактов, в том числе климатическим моделированием [16]. Территория современной пустыни представляла собой влажную саванну, которую можно наблюдать в бассейне р. Сенегал. Уровень океана 5—6 тыс. лет до н.э. в зоне современных Марокко и Мавритании превышал современный на 2 м [17]. Залив Арген простирался на 10—30 км на восток от современного положения, что доказывают многочисленные россыпи раковин морских моллюсков на этой территории. К этому периоду относится существование многочисленных стоянок человека неолита, которые возникли при наличии доступной пищи и пресной воды. Артефакты из этих стоянок были датированы радиоуглеродным методом в радиологической лаборатории «Lodyc, Paris VI». Был определен возраст следующих артефактов: отолиды рыб — 6740 лет до н.э.; фрагменты яиц страуса — 5980 лет до н.э.; кости человека из могильника — 4790 лет до н.э. [10]. Всего на полуострове Кап-Блан располагалась 51 стоянка-поселение человека неолита (7—5 тыс. лет до н.э.) [18]. Современные океанологические условия вод у Северо-Западной Африки окончательно сформировались в этот период, на что указывают исследования фауны фораминифер голоцена [19].

Изменениям климата Северной Африки в сторону современного аридного [17] способствовало повышение температур, превышающих среднемировые температуры на 1,5 и 2 °С в других местах планеты [20]. Процесс опустынивания начался в 4-м тысячелетии до н.э. и вызвал постепенное превращение Сахары в пустыню. В этот период уровень океана на границе западной Сахары начинает снижаться [17], материковый сток сокращается, реки начинают исчезать. На побережье возникает дефицит пресной воды. Как следствие из-за дефицита пресной воды во 2-м тысячелетии до н.э., несмотря на обилие доступной пищи в заливе, число неолитических стоянок на полуострове Кап-Блан сокращается до 5 [18], в более позднее время они исчезают совсем. Залив Арген становится морским водоемом. Его южная, когда-то опресненная часть за счет постоянной трансформации вод на мелководье превращается в зону повышенной солености и температуры. Затянувшееся опреснение южной части залива позволило локальной популяции гвинейской тилапии на этой акватории приспособиться и сохраниться в новых условиях среды. Причиной адаптации послужила генетическая предрасположенность гвинейской тилапии к эвригалинности. Другие виды пресноводной ихтиофауны не смогли адаптироваться к новым условиям среды и исчезли. Очевидно, этих видов было не меньше, чем в р. Сенегал, где сейчас обитает 146 пресноводных и солоноватоводных видов рыб [5].

Контрольным тестом, показывающим, что в современный период гвинейская тилапия не могла попасть в залив, служит популяция гвинейской тилапии р. Сенегал. Соленость в дельте реки, в местах, где была найдена гвинейская тилапия, не превышает 8,1 ‰. Это показывает, что обитание гвинейской тилапии в р. Сенегал ограничено зоной опресненных вод соленостью более 8 ‰. В других тропических водах Африки гвинейская тилапия обитает в лагунах, где максимальная соленость не превышает 28,5 ‰ [6]. По-видимому, океаническая соленость воды более 30 ‰

служит преградой для распространения гвинейской тилапии в современных условиях.

Остается открытым вопрос, почему гвинейская тилапия популяции залива Арген, обитающая при солености более 38 ‰, не освоила океанические воды Северо-Западной Африки. По-видимому, кроме солености, ограничивающим условием экспансии гвинейской тилапии служит температура воды и набор условий существования (в заливе Арген спокойные воды мелководий, без прибойного воздействия, наличие доступной пищи и укрытия в виде зарослей морских трав *Z. noltei*, *C. nodosa*).

Выводы

Наиболее вероятной причиной появления и сохранения популяции гвинейской тилапии южной части залива Арген является постепенная адаптация гвинейской тилапии к изменяющейся водной среде в заливе при условии генетической предрасположенности этого вида к евригалинности на фоне исчезновения рек, существовавших в гумидный период (7—3 тыс. лет до н.э) и исчезнувших в современный аридный климатический период в северной Африке. Нечто подобное, по-видимому, относится и к гвинейской тилапии, найденной в районе Дахлы в Марокко.

Список литературы

1. Sevrni-Reyssac J., de Forges B. R. Particularité de la faune ichthyologique dans un milieu sursalé du parc national du banc d'Arguin (Mauritanie) // *Océanogr. Trop.* 1985. V. 20 (1). P. 85—90.
2. Гушин А. В., Каллахи У. Мохамед Фаль. Ихтиофауна залива Арген (Мавритания) // *Вопр. Ихтиологии.* 2012. Т. 52 (2). С. 195—206. doi: 10.1134/S0032945212010055.
3. Philippart J.-Cl., Ruwet J.-Cl. Ecology and distribution of tilapias. The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. 1982. P. 15—59.
4. Campbell D. A review of the biology and culture of *Tilapia guineensis* // FAO PROJECT RAF/82/009. ARAC. 1987. Working Paper. ARAC/87/WP/3. URL: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac165e/ac165e00.htm>.
5. Froese, R., Pauly D. (Ed.). *Coptodon guineensis*. Fish Base. 2022. URL: <https://www.fishbase.se/summary/Coptodon-guineensis.html>.
6. Uzukwu P. U., Aranyo A. A., Uzukwu C. O. Relationship among *Tilapia guineensis* fingerlings abundance and water quality variations in a brackish water reservoir in Lagos // *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 2013. V. 8 (1). P. 257—260. doi: 10.3923/jfas.2013.257.260.
7. Qninba A., Ibn Tattou M., Radi M. et al. Sebkheth Imlily, une zone humide originale dans le Sud marocain // *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie.* 2009. V. 31 (1). P. 51—55.
8. Qninba A., M. Aziz EL Agbani, Radi M. et al. Sur la présence de *Tilapia guineensis* (Teleostei, Cichlidae) dans les gueltas d'un affluent de l'Oued Chbeyka, l'Oued Aabar (Province de Tan Tan, Sud-ouest du Maroc) // *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie.* 2012. V. 34 (2). P. 125—126.
9. Гушин А. В., Гущина Т. А., Клепичкая А. М., Шаврина И. А. Человек у океана: история длиной в 8000 лет // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. Естественные науки.* 2007. Вып. 7. С. 43—49.
10. Vernet R., Tous Ph., Gutchine A. (Gushchin) et al. Man and sea on Cap Blanc peninsula 6000 years ago // *SNIM news.* Nouadhibou, Mauritania. 2002. V. 23. P. 29—36.

11. Duvail S. Scénarios hydrologiques et modèles de développement en aval d'un grand barrage. Les usages de l'eau et le partage des ressources dans le delta mauritanien du fleuve Sénégal. Thèse en Géographie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2001. 313 p.
12. Jing Z., Wang S., Wu L. et al. Geostrophic flows control future changes of oceanic eastern boundary upwelling // *Nat. Clim. Chang.* 2023. V. 13. P. 148—154. doi: 10.1038/s41558-022-01588-y.
13. Teugels G.G. Thys van den Audenaerde. Cichlidae // Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest. V. 2. Faune Tropicale num 28. Musée Royal de l'Afrique Centrale. Tervuren, Belgique. O.R.S.T.O.M. Paris. 1992. P. 714—779.
14. Африка: Старинные карты. URL: <https://ohmaps.ru/afrika>.
15. Garnier F. A. Afrique occidentale et centrale // Publisher: Veuve Jules Renouard, Libraire Paris. 1862. URL: <http://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~22045~710006:Afrique-Occidentale-et-Centrale,-co>.
16. Tierney J.E., Lewis S.C., Cook B.I. et al. Model, proxy and isotopic perspectives on the East African Humid Period // *Earth and Planetary Science Letters* 2011. V. 307 (1). P. 103—112. doi: 10.1016/j.epsl.2011.04.038.
17. Vernet R. Préhistoire de la Mauritanie. Centre Culturel Français-Sépiá. Nouakchott. 1993. 427 p.
18. Гущин А. В., Гущина Т. А., Шаврина И. А. Климатические факторы и появление неолитических поселений человека на полуострове Кап-Блан (Мавритания) // Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности. XXIII Международная береговая конференция в честь столетия со дня рождения профессора В. П. Зенковича. Материалы конференции. С.-Петербург. 5—9 октября 2010. СПб.: РГГМУ, 2010. С. 194—197.
19. Лукашина Н. П. Палеоокеанология Северной Атлантики в позднем мезозое и кайнозое и возникновение современной термогалинной океанической циркуляции по данным изучения фораминифер. М.: Научный мир, 2008. 288 с.
20. Мамаи М. Т., Лобанов В. А. Современные климатические изменения температуры воздуха в Центральной Африке // *Гидрометеорология и экология.* 2022. № 69. С. 722—745. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-722-745.

References

1. Sevrni-Reyssac J., de Forges B.R. Particularité de la faune ichtyologique dans un milieu sursalé du parc national du banc d'Arguin (Mauritanie). *Océanogr. Trop.* 1985;20(1):85—90.
2. Gushchin A. V., Khallagi Ould Mokhammad Fall. Ichthyofauna of Littoral of the Gulf Arguin, Mauritania. *Journal of Ichthyology.* 2012;52(2):160—171. doi: 10.1134/S0032945212010055.
3. Philippart J-Cl., Ruwet J-Cl. Ecology and distribution of tilapias. The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. 1982: 15—59. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-722-745.
4. Campbell D. A review of the biology and culture of *Tilapia guineensis*. FAO PROJECT RAF/82/009. ARAC. 1987. Working Paper. ARAC/87/WP/3. Available at: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac165e/ac165e00.htm>.
5. Froese, R., Pauly D. (Eds.). *Coptodon guineensis*. Fish Base. 2022. Available at: <https://www.fishbase.se/summary/Coptodon-guineensis.html>.
6. Uzukwu P. U., Aranyo A. A., Uzukwu C. O. Relationship among *Tilapia guineensis* fingerlings abundance and water quality variations in a brackish water reservoir in Lagos. *Journal of Fisheries and Aquatic Science.* 2013;8(1):257—260. doi: 10.3923/jfas.2013.257.260.
7. Qninba A., M. Ibn Tattou, Radi M. et al. Sebkheth Imlily, une zone humide originale dans le Sud marocain. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie.* 2009;31(1):51—55.
8. Qninba A., M. Aziz El Agbani, Radi M. et al. Sur la présence de *Tilapia guineensis* (Teleostei, Cichlidae) dans les gultas d'un affluent de l'Oued Chbeyka, l'Oued Aabar (Province de Tan Tan, Sud-ouest du Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie.* 2012;34(2):125—126.
9. Gushchin A. V., Gushchina T. A., Klepickaya A. M., Shavrina I. A. The man by the ocean: a story of 8000 years. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta. Estestvennye nauki = Bulletin of the Russian State University I. Kant. Natural Sciences.* 2007;(7):43—49. (In Russ.).

10. Vernet R., Tous Ph., Gutchine A. (Gushchin) et al. Man and sea on Cap Blanc peninsula 6000 years ago. SNIM news. Nouadhibou, Mauritania. 2002. January—June. 23: 29—36.
11. Duval S. Scénarios hydrologiques et modèles de développement en aval d'un grand barrage. Les usages de l'eau et le partage des ressources dans le delta mauritanien du fleuve Sénégal. Thèse en Géographie de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2001: 313 p.
12. Jing Z., Wang S., Wu L. et al. Geostrophic flows control future changes of oceanic eastern boundary upwelling. *Nat. Clim. Chang.* 2023;(13):148—154. doi: 10.1038/s41558-022-01588-y.
13. Teugels G. G. Thys van den Audenaerde. Cichlidae. Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest. V. 2. Faune Tropicale núm 28. Musée Royal de l'Afrique Centrale. Tervuren, Belgique. O.R.S.T.O.M. Paris, 1992: 714—779.
14. Africa: Vintage maps. *Afrika: Starinnyye karty*. Available at: <https://ohmaps.ru/afrika>.
15. Garnier F. A. Afrique occidentale et centrale. Publisher: Veuve Jules Renouard, Libraire Paris. 1862. Available at: <http://www.davidrumsey.com/luna/servlet/detail/RUMSEY~8~1~22045~710006:Afrique-Occidentale-et-Centrale,-co>.
16. Tierney J. E., Lewis S. C., Cook B. I. et al. Model, proxy and isotopic perspectives on the East African Humid Period. *Earth and Planetary Science Letters*. 2011;307(1):103—112. doi: 10.1016/j.epsl.2011.04.038.
17. Vernet R. Préhistoire de la Mauritanie. Centre Culturel Français–Sépia. Nouakchott, 1993: 427 p.
18. Gushchin A. V., Gushchina T. A., Shavrina I. A. Climatic factors and the emergence of Neolithic human settlements on the Cap Blanc peninsula (Mauritania). *Uchenie o razvitií morskikh beregov: vekovye traditsii i idei sovremennosti. XXIII Mezhdunarodnaia beregovaia konferentsiia v chest' stoletíia so dnia rozhdeniia professora V. P. Zenkovicha. Materialy konferentsii. S.-Peterburg, 5—9 oktiabria 2010 = The doctrine of the development of sea coasts: centuries-old traditions and ideas of modernity. XXIII International Coastal Conference in honor of the centenary of the birth of Professor V. P. Zenkovich. Conference materials. St. Petersburg, October 5—9, 2010*. St. Petersburg: RSHU, 2010: 194—197. (In Russ.).
19. Lukashina N. P. *Paleoceanology of the North Atlantic in the late Mesozoic and Cenozoic and the emergence of modern thermohaline oceanic circulation according to the study of foraminifers = Paleooceanologiya Severnoj Atlantiki v pozdnem mezozoe i kajnozoe i voznikovenie sovremennoj termogalinnoj okeanicheskoy cirkulyacii po dannym izucheniya foraminifer*. Moscow: Nauchnyi mir, 2008: 288 p. (In Russ.).
20. Mami M. T., Lobanov V. A. Modern climatic changes in air temperature in Central Africa. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2022;(69):722—745. doi: 10.1134/S0032945212010055. (In Russ.).

Информация об авторе

Алексей Витальевич Гуцин, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, лаборатория морской экологии Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Poseidon-47@rambler.ru.

Information about author

Alexey V. Gushchin, PhD (Biol. Sci.), Senior scientific researcher, The P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Poseidon-47@rambler.ru.

Статья поступила 07.10.2022

Принята к печати после доработки 26.02.2023

The article was received on 07.10.2022

The article was accepted after revision on 26.02.2023

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 82—99.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70):82—99.

Научная статья
УДК 621.1(282.247.418)
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-82-99

Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть II (XIX—XXI вв.)

*Пётр Иванович Бухарицин^{1,2}, Владимир Борисович Ушивцев¹,
Сергей Анатольевич Котеньков¹*

¹ Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН, Астрахань, Россия, astrgo@mail.ru, piter@bukharitsin.com

² Институт водных проблем РАН

Аннотация. Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК), или Главный Банк, соединяет глубоководный участок р. Бахтемир (главный рукав в дельте Волги) и глубоководную часть Каспийского моря через мелководную часть дельты Волги. С эпохи раннего средневековья — времени открытия каспийского судоходства — и по сегодняшний день мели Волжского Понизовья продолжают оставаться серьезным препятствием для мореплавания. Показано, что существующая в настоящее время технология проведения дноуглубительных работ недостаточно эффективна. Установлено, что часть уже изъятых грунтов, под воздействием природных факторов, возвращается обратно в ложе канала. Предлагается внедрить новый механизм дноуглубления на трассе Главного Банка, полностью исключающий повторное попадание изъятых грунтов в ложе канала.

Ключевые слова: Бахтемир, Волго-Каспийский канал, дноуглубление, мели, судоходство.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № FMWE-2021-0004).

Для цитирования: Бухарицин П. И., Ушивцев В. Б., Котеньков С. А. Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть II (XIX—XXI вв.) // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 82—99. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-82-99.

Original article

Difficult rifts of the Volga-Caspian. Historical retrospective. Part II (XIX—XXI centuries)

*Peter I. Bukharitsin^{1,2}, Vladimir B. Ushivtsev¹,
Sergey A. Koten'kov¹*

¹ Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Astrakhan, Russia, astrgo@mail.ru; piter@bukharitsin.com

² Water Problems Institute of RAS

Summary. Starting from 1818, ship movement from the Volga to the Caspian Sea was shifted to the Bakhtemir, the right Volga arm. Navigators faced hardships already on the approaches to the Caspian Sea.

© Бухарицин П. И., Ушивцев В. Б., Котеньков С. А., 2023

The passage from Astrakhan to the open sea and back could take several days, due to numerous shoals and headwinds. In 1874, survey, research and dredging works were initiated to bring the Bakhtemir fairway to the navigable condition. In the 1970s—1980s, these works were performed regularly, with a positive effect on the increased cargo traffic via the canal. The modern Volga-Caspian Sea Shipping Canal is 188 km long, 4.5 m deep and 100 m wide and is intended for bidirectional navigation of vessels with a loaded draft of 4.2 m. There exists a serious problem that prevents the effective dredging. Currently, dredgers used in operations dump the excavated soil near the dredging sites. This results in the increased recurring sediment accumulation on the canal bed, since the extracted soil gradually returns to the canal bed. The new project makes it possible to avoid additional costs of transporting soil extracted by dredgers or dumping soil near the dredging sites and thus to minimize the recurring sediment accumulation of the canal. According to the new proposed design, the targeted soil will be taken by special vessels, removed either beyond the depth slope or to a coastal landfill, and further used for economic purposes. The implementation of this project will contribute to increasing canal capacity, and the throughput of the Olya and Astrakhan ports will strengthen Russia's position in the Caspian Sea region, allowing the full implementation of the International North–South Transport Corridor project.

Keywords: Bakhtemir, Volga-Caspian Canal, dredging, shallows, navigation.

Acknowledgment. This research was conducted in the framework of State assignment of IORAS (Subject No. FMWE-2021-0004).

For citation: Bukharitsin P. I., Ushivtsev V. B., Koten'kov S. A. Difficult rifts of the Volga-Caspian. Historical retrospective. Part II (XIX—XXI centuries). *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):82—99. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-82-99.

Введение

Данная работа является продолжением темы истории освоения Главного волжского Банка, трасса которого в различные исторические периоды меняла направления, продвигаясь по Болде, Старой Волге и Бузану [1]. С течением времени указанные водотоки постепенно заносились, создавая проблему судоходству, особенно в зоне устьевого взморья, где проходит отмелая зона, примыкающая к морскому краю дельты. Начиная с X в., одной из старейших в российской судоходной практике и надежным фарватером для входящих с моря в волжское устье судов являлась протока Старая Волга. Но и она не «прошла проверку временем»; к началу XIX века ее фарватер начал мелеть. С этого времени р. Бахтемир становится Главным Банком, фарватер которого также периодически заносился, создавая препятствия судоходству. Применение примитивной техники для дноуглубительных работ в виде землечерпалок на конной тяге не позволяло добиться существенных результатов в углублении канала. Была предпринята попытка построить новый канал на Камызякском направлении. Но и этот проект был приостановлен в связи с ежегодной заносимостью после каждого половодья углубленных участков строящегося гидротехнического сооружения.

Только в 2-й половине XX в. с применением новых технологий дноуглубительных работ в виде современных земснарядов, удалось достигнуть ощутимого прогресса в деле углубления фарватера канала. Несмотря на падение уровня Каспия, удавалось поддерживать глубины на Волго-Каспийском морском судоходном канале (ВКМСК) на нужном уровне до начала 90-х гг. С конца XX в. и по начало XXI в. отсутствие четкой государственной программы выполнения работ по поддержанию габаритов судового хода на канале, устаревание дноуглубительного флота, выход из строя земснарядов привели к снижению объемов

дноуглубительных работ и, как следствие, малосудоходность канала, недозагруженность судов и их посадки на мель¹.

Цель статьи — на основе совместного анализа материалов гидрографических и гидрологических исследований XIX—XXI в., картографических материалов установить, как осваивался судоходный маршрут по р. Бахтемир — Главному Банку — ВКМСК от первых навигаций в начале XIX в. по настоящее время (1-й четверти XXI в.), с какими проблемами сталкивались судовладельцы при проходе по данному каналу на протяжении двух столетий, пояснить причины невозможности строительства резервных судоходных каналов на других волжских протоках, рассмотреть перспективный проект, позволяющий оптимизировать процесс дноуглубительных работ по Главному Банку, минимизировав возвратную заносимость канала.

Исходные материалы и методика исследований

Для описания истории освоения судоходного маршрута по нынешнему Главному Банку в период с XIX по XXI вв. авторы воспользовались материалами гидрографических и гидрологических исследований проток устьевого взморья XIX в., трудами ученых-океанологов о Волго-Каспии, отчетами АФ ФГУП «Росморпорт» и Астраханского отдела ОАО «Союзморниипроект» XX—XXI вв., данными Интернет-ресурсов и картографическими материалами XIX—XX вв.

В начале XIX в. вследствие занесения русла главной протоки — Старой Волги — судоходство проводилось по волжскому рукаву — Бахтемиру. Новая судоходная трасса проходила по Волге, Бахтемиру, затем протоками Петухово плесо, Маракуша, Княжье плесо, и, далее, прежним «староволжским» маршрутом, минуя о. Четырехбугорный (Четыре Бугра) до выхода в открытое море [2]. Отметим, что данный маршрут проходил практически параллельно прежнему главному фарватеру — по р. Старая Волга. Минуя остров Могильный, суда сталкивались с серьезными препятствиями. На этом участке начиналась зона «россыпей» — крупных мелей: Шадинской, Ракушинской, Зюзинской, Лопатина, в районе которых глубины составляли от 4 до 2 футов (**1, 2—0,6 м**)² [3] (рис. 1).

В это время отмечены случаи, когда на Шадинской, Ракушинской мелях под воздействием «сгонного» юго-западного ветра, глубины уменьшались с 4-х до 1,5 футов (**0,45 м**). Протяженность крупных отмелей участков составляла 37 км с запада на восток, 55,7 км с севера на юг [2]. Суда, порой, в ожидании нагонного ветра моряны могли задерживаться на мелях до нескольких месяцев. Судовладельцы терпели убытки не только от «просрочки» доставки грузов, но и от порчи судов в результате их посадки на мели. Иногда при выходе или приходе с моря «запоздавшие» суда сковывало ранним льдом, в результате чего зазимовавшие суда приходили в негодность; порой, зимовавшие на них люди погибали, а груз захватывали грабители [2].

¹ Щеголихин П. В. Дноуглубление. От истоков до современности: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/dnougublenie_ot_istokov_do_sovremennosti.html.

² Здесь и далее использовано авторское оформление.

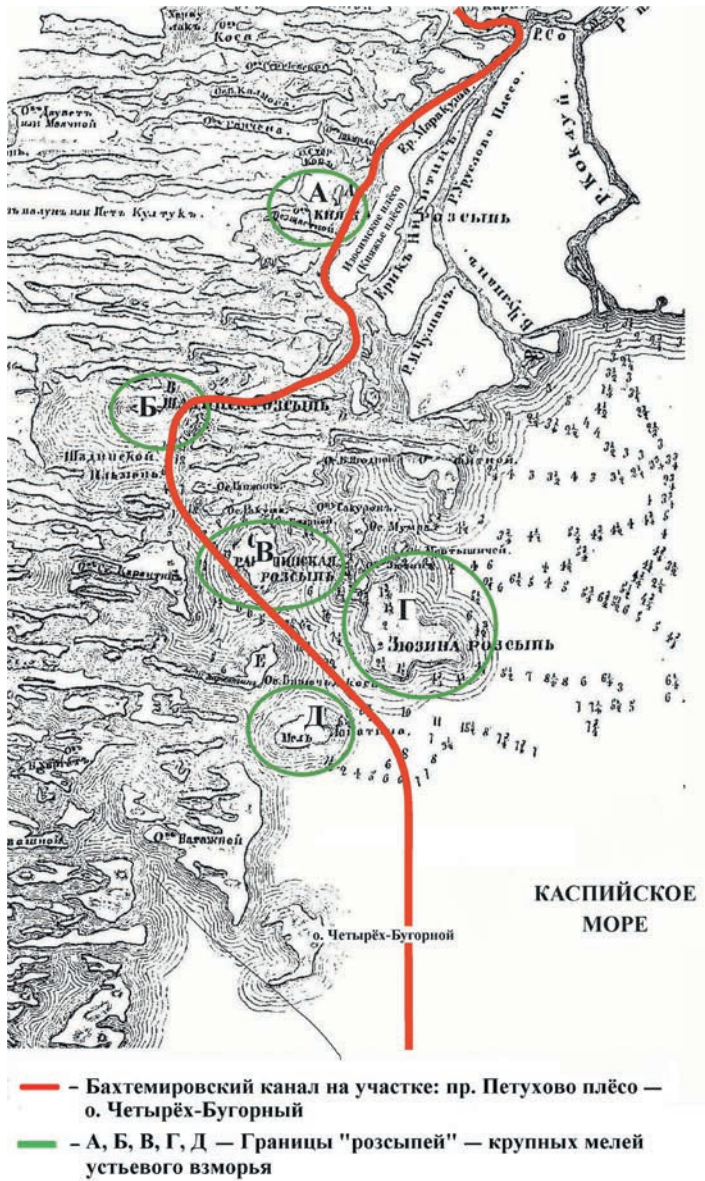


Рис. 1. Фрагмент карты устья реки Волги от г. Астрахани до Каспийского моря. 1854 г. [3].
Трасса Бахтемировского канала на участке Петухово Плёсо — о. Четырёхбугорный (Четыре Бугра)
и участки отмелей устьёвого взморья.

Fig. 1. A fragment of a map of the mouth of the Volga River from Astrakhan
to the Caspian Sea. 1854. [3].

The route of the Bakhtemirovsky channel in the section Petukhovo Pleso — about.
Chetyrekhbugorny (Four Hillocks) and areas of shoals of the estuarine coast.

Следуя по указанному фарватеру, миновав указанные мели, корабли проходили к востоку от островов Старо-Карантинного, Бирючьей косы и Четырехбугорного — через 9-футовый рейд, и, далее, обогнув мель «Чистый банк» (о. Чистой Банки), выходили на 12-футовые глубины (12-футовый рейд) (рис. 2) [4].

В этом районе проводилась разгрузка кораблей с осадкой в 12 фут (3,65 м) на мелкосидящие суда и начиналось морское судоходство [2]. Но в зоне самой мели,

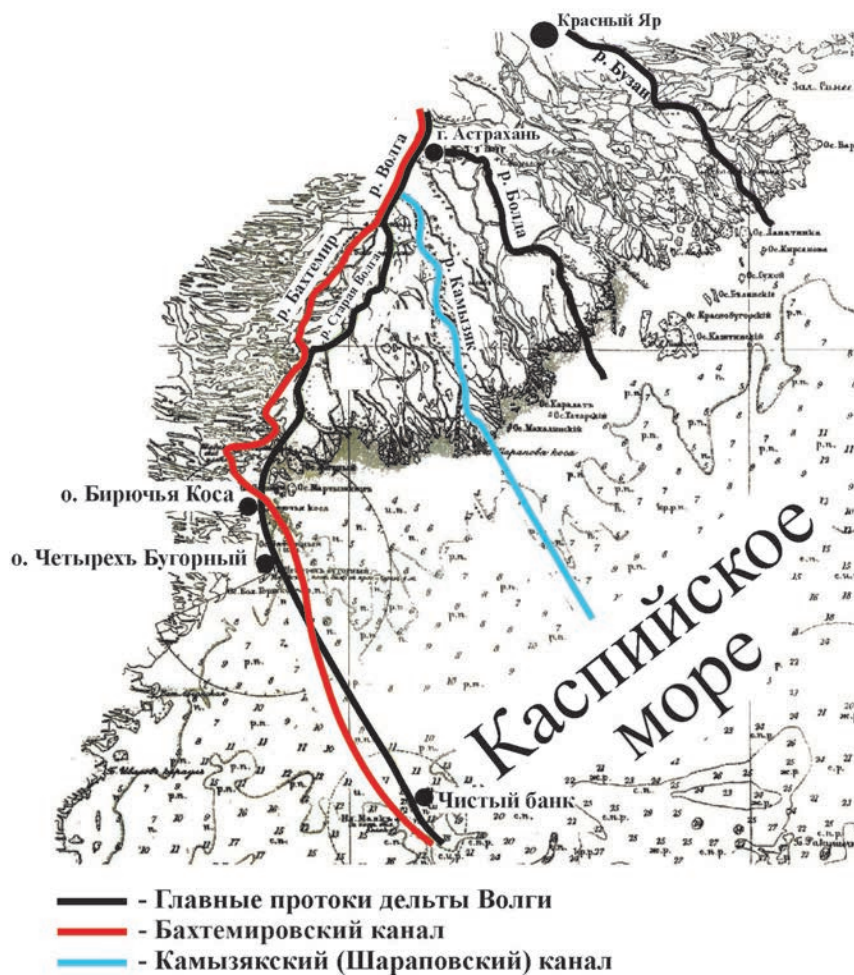


Рис. 2. Карта Каспийского моря по съемке и промеру 1861—1873 гг. с показаниями фарватера. 1873 г [4]. Главные протоки дельты Волги. Функционирующий Бахтемировский канал и недостроенный Камызякский канал.

Fig. 2. Map of the Caspian Sea according to the survey and sounding of 1861—1873 with fairway indications. 1873 [4]. The main ducts of the Volga delta. Functioning Bakhtemirovsky Channel and unfinished Kamyzyaksky channel.

с глубинами 2 фута (**0,61 м**), всегда существовала опасность для судов «сесть на мель». О случаях кораблекрушений XVII—XVIII вв. у о. Чистой Банки свидетельствуют находки на острове старинных адмиралтейских якорей с надписью «Петр» и с цепями длиной до 200 м, скоплений русских и шведских монет конца XVII — начала XVIII в. [5]. Но главную опасность в этом районе представляли ветра, вызывавшие сильные шторма, приводившие к кораблекрушениям и потере груза. Данный рейд функционировал с апреля до середины ноября, когда появлялся риск быстрого обледенения судов. Страшная трагедия произошла на этом рейде 13 ноября 1910 г., когда сильный штормовой ветер с юго-востока нагнал воды в место скопления судов, и большие волны потопили десятки судов. Затем северо-западный ветер согнал воду, и наступившее оледенение уничтожило оставшиеся суда. В итоге, оставшиеся без помощи команды суда потеряли свыше 300 человек и огромное количество груза [6].

Отметим, что начиная с 1837 г. начались регулярные наблюдения за уровнем моря, что позволило воспроизвести его межгодовые колебания, в соответствии с которыми до 1930 г. отмечались случайные колебания относительно отметки –26 м БС (Балтийская система высот). Затем, почти в течение 50 лет происходило довольно значительное падение уровня. В 1979 г. он достиг минимальной отметки –29 м БС. После этого уровень стал интенсивно расти (рис. 3). Закономерности и причины такого «поведения» уровня обсуждаются в работах [7—11].

Данный фактор способствовал обмелению Главного банка, где на некоторых участках возникали препятствия для судоходства. В 1-й четверти XIX в. были проведены изыскания и спроектированная трасса канала по новому — Камызякскому направлению (Шараповский канал) через водотоки Мордань — Кизань — Терновая — Камызяк — Артельная — Никитинский Банк — Архиерейская с выходом в море у Шараповой косы [5] (рис. 2). На торжественном открытии строительства

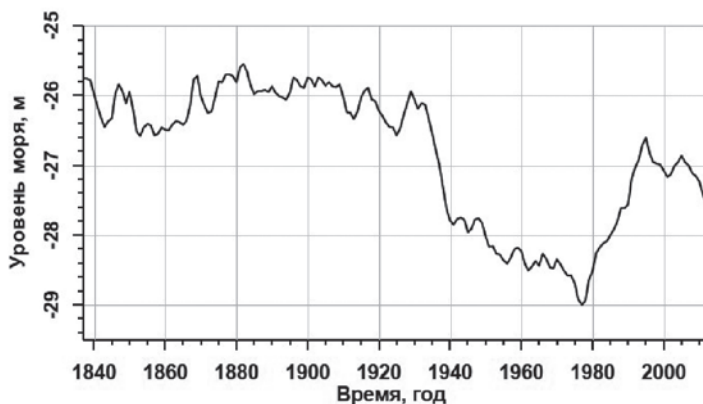


Рис. 3. Межгодовая изменчивость уровня Каспия за период инструментальных наблюдений с 1837 по 2012 г.

Fig. 3. Interannual variability of the Caspian level for the period of instrumental observations from 1837 to 2012.

канала 30 октября 1858 г. присутствовал находившийся проездом в Астрахани французский писатель Александр Дюма-старший [12]. Летом 1863 г. член царствующего дома, будущий император Александр III со своей свитой побывал в Астраханской губернии и посетил место строительства морского судоходного канала из Волги в Каспий. Преподаватель законовещения у цесаревича — профессор К. Победоносцев, описавший это событие, отметил, что этот проект открывает новые перспективы для развития «азиатской» торговли и повысит авторитет России в Персии и Туркестане [13].

Но через 5 лет строительство было остановлено, т. к. после каждого половодья все углубленные участки канала заносились, превращая строительство гидротехнического сооружения в «Сизифов труд». В память о «великой стройке» остались лишь едва видимые на поверхности земли обломки песчаниковых насыпей, впоследствии густо заросшие камышом.

В 2020 г., когда на больших участках дельты выгорели камышовые крепи, трасса старого канала стала отчетливо просматриваться из космоса в виде причудливых геометрических узоров, которые были приняты за древние геоглифы, наделав много шума в Интернете [5] (рис. 4).

Действительно, трудно было объяснить многочисленные скопления на дневной поверхности в дельтовой зоне крупных обломков песчаника. Тем более, что в дельте песчаник залегает на глубине более 1300 м, а ближайшие месторождения данной породы находятся в Казахстане и в Волгоградской области в сотнях километрах от места их обнаружения. Местные старожилы издавна именовали сохранившиеся каменные валы канала — «дорогой к морю, построенной во времена Екатерины II или Петра I». Администрации разных уровней г. Астрахани, учреждения архитектуры, отделы землеустройства не смогли предоставить вразумительных пояснений по насыпям из обломков песчаника. Авторы статьи провели обследование сохранившихся участков трассы канала, выполнили архивные изыскания, на основании которых с трудом удалось развеять в Интернете ажиотаж вокруг так называемых «геоглифов» [12].

В 1905 г. опять вернулись к идее строительства канала по Камызякскому (Шараповскому) направлению, которое было признано «*судобнейшим и кратчайшим*». В 1940—1953 гг. канал по Камызякскому направлению был построен, только не судоходный, а рыбоходный, получивший название Кировский или Рытый Банк [14].

В 1874 г. начались опытные работы по приведению Бахтемировского фарватера в судоходное состояние. Фарватер между устьевым взморьем и Астраханью был углублен до 8 футов, позволяющий заменить мелкосидящие баржи, на пароходы с осадкой 3,5 фута. Дноуглубительные работы носили регулярный характер, что положительно влияло на увеличение грузопотока по каналу. Торговый оборот Астраханского порта увеличился с 4 млн руб. в 1873 г. до 96 млн руб. к началу 90-х гг. XIX в. [15].

С начала XX в. уровень Каспия в течение 50 лет понизился на 3 м, затем на 20 лет — период стабилизации уровня и вновь падение уровня (рис. 3). К началу 70-х гг. в результате дноуглубительных работ удалось добиться проходной глубины канала в речной части 4,9 м в морской — 5,1 м [15].

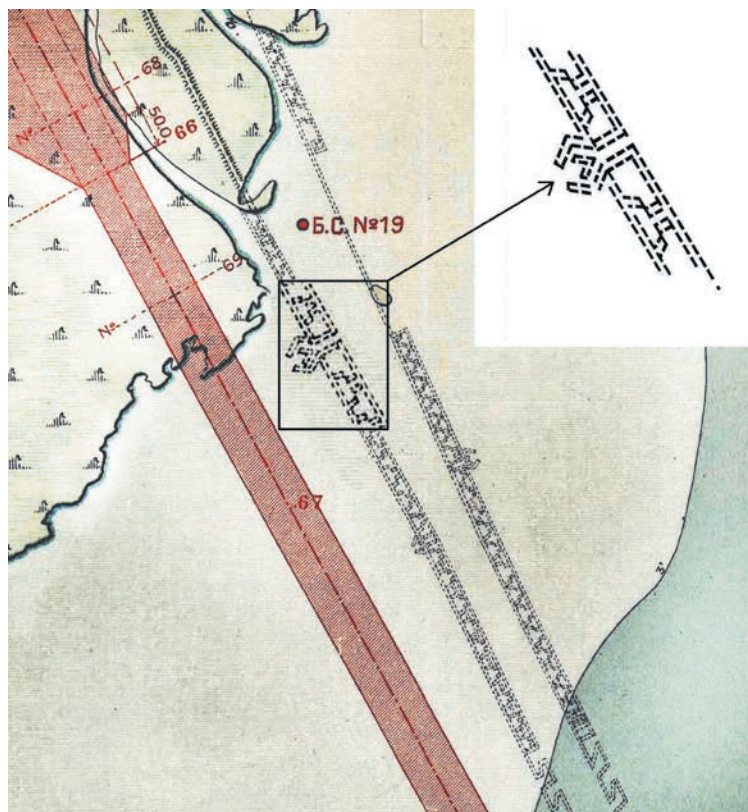


Рис. 4. Карта устья Волги 1914 г. с изображением трассы канала 60-х гг. XIX вв. [4].

Fig. 4. Map of the mouth of the Volga, 1914 with the image of the channel route of the 60 years of the 19th century [4].

Современный Волго-Каспийский канал протяженностью 188 км, глубиной 4,5 м и шириной 100 м рассчитан на двухстороннее плавание судов с осадкой в грузу 4,2 м [16] (рис. 5).

В 90-е гг. подъем уровня Каспийского моря привел к изменению гидрологического режима в канале, увеличению отложения наносов в его баровой части, а объем дноуглубительных работ на канале по сравнению с прошлым десятилетием сократился почти в 40 раз, что привело к резкому сокращению грузоперевозок. Институт океанологии им. П. П. Ширшова, который представляют авторы статьи, располагал на Каспии самым мощным научно-исследовательским судном «РИФТ», оборудованным «по последнему слову техники», имевшим на борту несколько лабораторий, барокамеру, проводил на нем несколько морских экспедиций в год. Подобного судна не было в наличии ни у одного из прикаспийских государств. Однако обмеление Волго-Каспийского фарватера стало причиной отправки в 2014 г. НИС «РИФТ» на Чёрное море.



Рис. 5. Трасса современного Волго-Каспийского канала — Главного Банка.
50—52, 120—160 — основные участки дноуглубления.

Fig. 5. The route of the modern Volga-Caspian Channel — the Main Bank.
50—52, 120—160 — main dredging sites.

В настоящее время мы находимся во временном периоде очередного понижения уровня Каспийского моря, что требует ежегодного увеличения объемов дноуглубления (рис. 3).

Навигационная ширина канала — 100—120 м, навигационная глубина на различных участках — от 4,9 (5,6) до 5,1 (5,9) м¹.

Поддержание паспортных характеристик — глубины и ширины на участках, подверженных заносимости, — приоритетная и постоянная задача. Эти участки расположены от 120 до 160 км канала. Организацией ремонтных дноуглубительных работ на ВКМСК занимается Астраханский филиал ФГУП «Росморпорт».

¹ Астраханские ученые предлагают новое решение проблемы дноуглубления на Волге и Каспии: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://casp-geo.ru/astrahanskie-uchyonye-predlagayut-novoe-reshenie-problemy-dnouglubleniya-na-volge-i-kaspii>.

Несмотря на то, что запланированные объемы работ в последние годы идут по нарастающей, фактически указанные работы АФ ФГУП «Росморпорт» не выполняются в полном объеме (табл. 1). Планируемый объем дноуглубления при реконструкцию ВКМСК оценивается в 15 млн м³. Реконструкцию Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) планируется завершить в 2028 г.

Таблица 1

Объем дноуглубительных работ при реконструкцию ВКМСК за период в 2014—2022 гг.

The volume of dredging works during the reconstruction of the Main Bank for the period in 2014—2022

Годы	Планируемые объемы (млн м ³)	Выполненные объемы (млн м ³)	%
2014	4,09	2,55	62
2015	5,36	4,08	76
2016	5,80	3,30	57
2017	н/с	н/с	н/с
2018	7,30	н/с	н/с
2019	8,80	2,80	32
2020	3,90	н/с	н/с
2021	3,94	н/с	н/с
2022	7,00	н/с	н/с

Примечание. н/с — нет сведений.

Отметим, что проводимые в настоящее время работы по углублению участков Главного Банка, предоставляют возможность для прохода судов с осадкой не ниже 4,2 м только в ноябре отчетного года. Однако, под воздействием течений, ветрового волнения, сгонно-нагонных процессов, а в зимние месяцы еще и под воздействием ледовых процессов [17—18], изъятый грунт вновь перемещается обратно в ложе канала, что заставляет вновь и вновь извлекать один и тот же грунт (рисунки 6—9)¹.

На рис. 10. показан суммарный объем изъятых грунта из ложа ВКМСК в течение 1980—2022 гг.

Отсюда вывод — не перекладывать грунт с места на место, а раз и навсегда вывозить его либо на свал глубин, либо на сушу, и складировать там, используя его в дальнейшем в различных хозяйственных целях. Для этого предлагается применять специально оборудованные суда большой грузоподъемности (рис. 11).

С учетом вышеизложенного остается надеяться, что разработки астраханских ученых будут востребованы как представителями «Росморречфлота», так и региональными властями, которые постоянно подчеркивают свою заинтересованность в максимальном использовании возможностей астраханского воднотранспортного узла, неотъемлемой частью которого являются не только порты Астрахань и Оля, но и Волго-Каспийский морской судоходный канал [14].

¹ Фотографии П. И. Бухарицина.



Рис. 6. В речной части канала грунт сбрасывается здесь же, за бровкой.

Fig. 6. In the river part of the channel, soil is dumped here, behind the edge.



Рис. 7. В результате, изъятый грунт вскоре вновь возвращается в ложе канала.

Fig. 7. As a result, the removed soil soon returns to the channel bed.



Рис. 8. Сизифов труд. Изъятый в морской части канала грунт вскоре вновь попадет в ложе канала под воздействием течений, волнения и дрейфующих льдов канала.

Fig. 8. Sisyphus labor. The soil withdrawn from the sea part of the channel will soon fall back into the channel bed under the influence of currents, waves and drifting ice of the channel.



Рис. 9. Морская часть ВКМСК зимой. Дрейфующий под действием ветра и течений лед, как бульдозером, сдвигает с бровок намытый грунт вновь в ложе канала.

Fig. 9. The marine part of the VCMSC in winter. Drifting under the influence of wind and currents, the ice, like a bulldozer, shifts from the edge of the reclaimed soil again in the channel bed.



Рис. 10. График суммарных объемов изъятото грунта из ложа VKMCK по годам. Материалы из официальных отчетов ОАО «Союзморниипроект» (Астраханский отдел).

Fig. 10. Graph of the total volumes of excavated soil from the VKMCK bed by years. Materials from the official reports of OAS “Soyuzmorniiproekt” (Astrakhan department).



Рис. 11. Схема предусматривает вывоз спецсудами извлеченного из ложа канала грунта либо на свал глубин, либо на сушу, на специально отведенные места (карты намыва).

Fig. 11. The scheme provides for the removal by special vessels of the soil extracted from the bed of the channel either to the slope of the depths or to land, to specially designated places (alluvium maps).

Углубление канала до 4,5 м является одним из поручений президента В. Путина. В настоящее время идет работа над привлечением дополнительных участников ремонтных работ на канале. Состоялась встреча с представителями китайской дноуглубительной компании. Потенциальные партнеры готовы в течение двух месяцев перевезти необходимое оборудование и начать работу¹.

В 2022—2024 гг. дноуглубительная компания СССР Dredging Group Co Ltd (Китай) будет участвовать в производстве дноуглубительных ремонтных работ в акватории ВКМСК.²

Неожиданно? Весьма! Как говорится: «Нет пророка в своем Отечестве».

Астраханский губернатор заявил: «На текущий 2022 год план извлечения грунта — 7 миллионов кубометров, это в два раза выше прошлогоднего объема. Таким образом, уже в 2022 году нормативные глубины по всей протяженности ВКМСК могут быть достигнуты». На 2023—2024 гг. в федеральном бюджете запланированы средства на реконструкцию канала.³

Ну, а пока... в Волго-Каспийском морском судоходном канале совсем не судоходная обстановка. 24 марта 2022 г. на 156 км канала село на мель иранское судно, следовавшее в порт Энзели Исламской республики Иран⁴

Заключение

Борьба с аккумуляцией речных и морских наносов была актуальна во все времена эксплуатации Главного Банка.

Планируемый объем дноуглубления при реконструкции ВКМСК оценивается в 15 млн м³. Реконструкцию Волго-Каспийского морского судоходного канала планируется завершить в 2028 г.⁵

При использовании предлагаемой технологии дноуглубительных работ значительно возрастает производительность труда за счет:

- непрерывной, бесперебойной работы земснаряда;
- повышения концентрации твердого грунта в трюме многоцелевого судна (МЦС) за счет отстоя грунта в трюме МЦС слива осветленной воды и вторичной дозагрузки судна;
- безвозвратного удаления изъятых грунта и невозможности его возврата в ложе канала;
- значительно большей вместимости трюма МЦС.

¹ Мингазова А. П. В Астраханской области обеспечат проход по сложным участкам Волго-Каспийского морского судоходного канала: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://radiovolna.fm/news/astrahanskije-novosti/v-astrahanskoy-oblasti-obespechat-prohod-po-slozhn-28313.html>.

² Китайская дноуглубительная компания будет работать в акватории Волго-Каспийского канала: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/268452444>.

³ Глубину Волго-Каспийского канала доведут до нормативной в 2022 году: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ria.ru/20220412/kanal-1783198430.html>.

⁴ Следовавшее в Иран судно село на мель под Астраханью, перекрыв движение в Волго-Каспийском канале — МЧС: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/south-and-north-caucasus/news/sledovavshee-v-iran-sudno-selo-na-mel-pod-astrahanyu-perekryv-dvizhenie-sudov-v-volgo-kaspiyskom-kanale>.

⁵ Планируемый объем дноуглубления при реконструкции ВКМСК оценивается в 15 млн куб. м: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rus-shipping.ru/ru/infstruct/news/?id=46541>.

Принципиально важно, что работа по увеличению пропускной способности ВКМСК, т. е. в буквальном смысле «пуповины» Астраханского региона, загрузка портов Оля и Астрахань многократно укрепит позиции России на Каспии, позволив реализовать в полной мере проект «Международный транспортный коридор «Север—Юг». Это особенно важно сейчас, когда уровень Каспийского моря продолжает понижаться [19]. Вместе с уровнем моря уменьшаются и проходные глубины Главного Банка. По мнению автора работы [19], основной причиной значительного современного падения уровня является полное разрушение дамбы через пролив Кара-Богаз-Гол в 1992 г. Вклад стока в залив КБГ за период 1996—2015 гг. в падение уровня моря достигает 72 %. Остальные 28 % обусловлены компонентами водного баланса: вклад испарения в падение уровня равен 14 %, речного стока — 10 %, осадков — 4 %.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые предлагается внедрить новую технологию проведения ремонтных дноуглубительных работ в Волго-Каспийском морском судоходном канале, предусматривающую извлечение и утилизацию изымаемого из канала грунта, полностью исключаящую его повторное попадание в ложе канала. Все предложения научно обоснованы и подтверждены целым рядом патентов и актом внедрения. Станет ли в XXI веке дельта Волги по-настоящему судоходной? Вопрос риторический. Как говорится, время покажет: будет ВКМСК воротами в Каспийское море, или останется узкой калиткой.

Во всяком случае в Послании Президента России В. Путина к Федеральному собранию 21 февраля 2023 г. было сказано: «...Особое внимание уделим — уделяем уже, те, кто занимается этим в ежедневном режиме, знают, — будем уделять международному коридору Север—Юг. Уже в этом году по Волго-Каспийскому каналу смогут проходить суда с осадкой не менее 4,5 м. Это откроет новые маршруты для делового сотрудничества с Индией, Ираном, Пакистаном, странами Ближнего Востока. Мы и дальше будем развивать этот коридор...»

Р.С. 26.02.2023. В Волго-Каспийском морском судоходном канале сразу два теплохода сели на мель. Один из них получил пробоину. Об этом сообщает Главное управление МЧС России по Астраханской области. Иранское судно «Назмехр» везло груз соли и шесть грузовых автомобилей и при проходе через канал село на мель и получило пробоину. Отмечается, что загрязнения акватории нет. Затопление судну не угрожает. Второй теплоход шел без груза. Он тоже сел на мель, но повреждений нет. Судоходство по каналу не нарушено. У экипажей есть запас еды и воды на 10 суток.¹

Список источников

1. Бухарицин П. И., Котеньков С. А. Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX—XIX вв.) // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 283—305. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304.
2. Материалы для описания русских портов и истории их сооружения. Устья Волги: Сборник материалов. СПб.: Комиссия по устройству коммерческих портов, 1895. Вып. 14. 265 с.

¹ Два теплохода сели на мель в Волго-Каспийском канале: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mk.ru/incident/2023/02/26/dva-teplokhoda-seli-na-mel-v-volgokaspiyskom-kanale.html>.

3. Карта устья реки Волги от г. Астрахани до Каспийского моря. 1854 г. // Российский государственный военно-исторический архив. Ф. 420. Д. 76. Л. 110.
4. Балинский К. А. Устья Волги и Астраханский морской канал. СПб.: Типография Г. де-Кельш, 1914. 276 с.
5. Котеньков С. А., Галактионова М. Л. Что скрывают воды Каспия? Перспективы подводных археологических исследований // Астраханский краеведческий вестник. 2019. Вып. VIII. С. 46—56.
6. Виноградов С. В., Ещенко Ю. Г. Ретроспективный анализ развития астраханского порта как ключевого центра каспийско-волжского торгового пути в конце XIX — начале XX в. // Современная научная мысль. 2021. № 5. С. 27—34. doi: 10.24412/2308-264X-2021-5-27-34.
7. Малинин В. Н. Долгосрочное прогнозирование уровня Каспийского моря // Изв. РАН. Серия географическая. 2009. № 6. С. 7—16.
8. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. М.: Триада Лтд, 2016. 378 с.
9. Малинин В. Н., Гордеева С. М. Уровень Каспийского моря как индикатор крупномасштабного влагообмена в системе «океан—атмосфера—суша» // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 5—20. doi: 10.17076/lim1156.
10. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Серых И. В., Лебедев С. А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Каспийского моря (1980—2020) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 5. С. 277—291. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291.
11. Kazmin A. S. Multidecadal variability of the hydrometeorological parameters in the Caspian Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2021. Vol. 250. doi: 10.1016/j.ecss.2020.107150.
12. Котеньков С. А., Михайлов В. Н. Геоглиф или канал: что же на самом деле скрывали тростниковые заросли? // Каспий: прошлое, будущее, настоящее. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2021. С. 157—165.
13. Победоносцев К., Бабст И. Письма о путешествии государя наследника цесаревича по России от Петербурга до Крыма. М.: Тип. Грачева и К, 1864. 568 с.
14. Каналы-рыбоходы дельты реки Волги. Астрахань: Издатель Сорокин Роман Васильевич, 2012. 140 с.
15. Русанов Н. В., Бухарицин П. И., Беззубиков Л. Г. Волго-Каспийский морской судоходный канал: современное состояние проблемы и пути их решения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4. С. 863—871.
16. Бухарицин П. И., Русанов Н. В., Саинова В. Н. Реальная производительность — главнейшая оценка эффективности любой техники и технологии при производстве дноуглубительных работ // Научный альманах. 2017. № 10-2(36). С. 17—25. doi: 10.17117/na.2017.10.02.017.
17. Лобанов В. А., Наурызбаева Ж. К. Климатические изменения толщины льда на Северном Каспии // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 172—187.
18. Бухарицин П. И. О статье «Климатические изменения толщины льда на Северном Каспии» // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 188—192.
19. Малинин В. Н. Грозит ли Каспию судьба Арала? // Гидрометеорология и экология. 2022. № 69. С. 746—760. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-746-760.

References

1. Bukharitsin P. I., Kotenkov S. A. Difficult rifts of the Volga—Caspian. Historical retrospective. Part I (IX—XIX centuries): *Gidrometeorologija i jekologija = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022;(67):283—305. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304. (In Russ.).
2. *Materialy dlja opisanija russkikh portov i istorii ih sooruzhenija. Ust'ja Volgi = Materials for the description of Russian ports and the history of their construction. The mouth of the Volga*. St. Petersburg: Komissiya po ustroystvu kommercheskikh portov, 1895;(14):265 p. (In Russ.).
3. *Karta ust'ya reki Volgi ot g. Astrakhani do Kaspiyskogo moray = Map of the mouth of the Volga River from Astrakhan to the Caspian Sea*. Russian State Military Historical Archive. 1854:(420)76:110. (In Russ.).

4. Balinsky K. A. *Ust'ya Volgi i Astrakhanskiy morskoy kanal = The mouth of the Volga and the Astrakhan Sea Canal*. St. Petersburg: St. Peterburg: Tipografiya G. de-Kel'sh, 1914: 276 p. (In Russ.).
5. Kotenkov S. A., Galaktionova M. L. What do the waters of the Caspian hide? Prospects for underwater archaeological research. *Astrahanskiy kraevedcheskiy vestnik = Astrakhan local history bulletin*. 2019;(8):46—56. (In Russ.).
6. Vinogradov S. V., Yeshchenko Yu. G. A retrospective analysis of the development of the Astrakhan port as a key center of the Caspian—Volga trade route in the late 19th — early 20th centuries. *Sovremennaya nauchnaya mysl' = Modern scientific thought*. 2021;(5):27—34. doi: 10.24412/2308.264X.2021.5.27.34. (In Russ.).
7. Malinin V. N. Long-term forecasting of the Caspian Sea level. *Izv. RAN. Ser. Geogr = The proceedings of RAN. Geographical ser.* 2009;(6):7—16. (In Russ.).
8. *Vodnyi balans i kolebaniya urovnya Kaspiiskogo morya. Modelirovanie i prognoz = Water balance and level fluctuations of the Caspian Sea. Modeling and predicting*. Moscow: Triada Ltd, 2016: 378 p. (In Russ.).
9. Malinin V. N., Gordeeva S. M. Caspian sea level as an indicator of large-scale moisture exchange in the ocean-atmosphere-land system. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020;(4):5—20. doi: 10.17076/lim1156. (In Russ.).
10. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Serykh I. V., Lebedev S. A. Climatic changes in hydrometeorological parameters of the Caspian Sea (1980—2020). *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2021;18:(5):277—291. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-277-291. (In Russ.).
11. Kazmin A. S. Multidecadal variability of the hydrometeorological parameters in the Caspian Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021;(250):107—150. doi: 10.1016/j.ecss.2020.107150.
12. Kotenkov S. A., Mikhailov V. N. Geoglyph or channel: what did the reeds really hide? *Kaspiy: proshloye, budushcheye, nastoyashcheye = Kaspiy: past, future, present*. Astrakhan: Izdatel'skiy dom Astrahanskiy universitet, 2021:157—165. (In Russ.).
13. Pobedonostsev K., Babst I. *Pis'ma o puteshestvii gosudarja naslednika cesarevicha po Rossii ot Peterburga do Kryma = Letters about the journey of the sovereign heir to the crown prince in Russia from St. Petersburg to the Crimea*. Moscow: Tipografiya Gracheva i K, 1864: 568 p. (In Russ.).
14. *Kanaly-rybohody del'ty reki Volgi. = Channels-fish passages of the Volga delta*. Astrakhan: Izdatel' Sorokin Roman Vasil'yevich, 2012:140 p. (In Russ.).
15. Rusanov N. V., Bukharitsin P. I., Bezzubikov L. G. Volgo-Caspian Sea Shipping Canal Current State of the Problem and Ways of Solution. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;(4):863—871. (In Russ.).
16. Bukharitsin P. I., Rusanov N. V., Sainova V. N. Real productivity is the most important assessment of the effectiveness of any equipment and technology in the production of dredging works. *Nauchnyy al'manakh = Scientific almanac*. 2017;10-2(36):17—25. doi: 10.17117/na.2017.10.02.017. (In Russ.).
17. Lobanov V. A., Naurozbayeva Zh. K. Climate changes of ice thickness on the Northern Caspian. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of RSHU*. 2018;(53):172—187. (In Russ.).
18. Bukharitsin P. I. About the article «Climatic changes of ice thickness in the Northern Caspian». *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of RSHU*. 2018;(53):188—192. (In Russ.).
19. Malinin V. N. Does the fate of the Aral Sea threaten the Caspian? *Gidrometeorologiya i jekologiya = Hydro-meteorology and Ecology*. 2022;(69):746—760. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-746.760. (In Russ.).

Информация об авторах

Петр Иванович Бухарицин, океанолог, д-р геогр. наук, проф., ведущий сотрудник Института водных проблем РАН, старший научный сотрудник, Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, astrgo@mail.ru, piter@bukharitsin.com.

Владимир Борисович Ушивцев, канд. биол. наук, директор Каспийского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, caspy@bk.ru.

Сергей Анатольевич Котеньков, канд. истор. наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, s_kotenkov@mail.ru.

Information about authors

Petr I. Bukharitsin, Dr. of Sci. (Geogr.), Prof., Leading Researcher, Water Problems Institute of RAS; Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, astrgo@mail.ru, piter@bukharitsin.com.

Vladimir B. Ushivtsev, PhD (Biol. Sci.), Director of the Caspian branch of Shirshov Institute of Oceanology of RAS, caspy@bk.ru.

Sergey A. Koten'kov, PhD (Hist. Sci.), Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of RAS, s_kotenkov@mail.ru.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 05.02.2023

Принята в печать 03.03.2023

The article was received on 05.02.2023

The article was accepted 03.03.2023

Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 100—122.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(70): 100—122.

ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья
УДК [66.013.6:621.311]:004.942
doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122

Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов

***Вячеслав Георгиевич Бурлов¹,
Максим Алексеевич Полюхович²***

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия, mpolyukhovich@gmail.com

Аннотация. Управление безопасностью электроснабжения региона осложнено воздействием на воздушные линии электропередачи гидрометеорологических факторов, следствием чего может являться нарушение электроснабжения региона. Для получения требуемых данных о гидрометеорологических факторах целесообразно использовать геоинформационную систему, позволяющую формировать массивы пространственных географических данных, которые используются для выработки комплекса управляющих действий. В работе приведена концепция управления, основанная на синтезе, позволяющая осуществлять системную интеграцию процессов обеспечения безопасности с показателем безопасности электроснабжения региона. Новый подход основан на решении обратной задачи управления. Установлено, что основа управления процессом обеспечения безопасности регионального электроснабжения — решение человека. Результатом проведенного исследования является методика геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона.

Ключевые слова: геоинформационная система, безопасность, угроза нарушения электроснабжения, обратная задача управления, гололедно-ветровая ситуация.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-го проекта № 20-38-90225.

Для цитирования: Бурлов В. Г., Полюхович М. А. Разработка методики геоинформационного управления безопасностью электроснабжения региона в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 100—122. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122.

Original article

Development of a method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region under the hydrometeorological factors destructive impact

Vyacheslav G. Burlov¹, Maxim A. Polyukhovich²

¹ Russian State Hydrometeorological University

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Summary. The hydrometeorological factors destructive impact of on overhead electric power lines is one of the most significant problems in the field of sustainable development of human society. The breakdown of electric power supply to critical facilities leads to various undesirable consequences, in particular, accidents among personnel, under-production of products, etc. Therefore, the task of ensuring the electric power industry facilities safety in the conditions of hydrometeorological factors destructive impact arises. The geographic information system is a management tool that allows taking into account changes in hydrometeorological factors in real time and processing geographical spatial data, which necessarily includes information about the electric power industry objects and the meteorological conditions parameters, within the framework of the system for ensuring the region's electric power supply safety. Since the operator of the electric power system is a person, it is necessary to take into account the peculiarities of human thinking. Human activity is carried out on the basis of a decision. A person works with three categories: system, model and purpose (result). That is, it is necessary to have a decision model, which is a system-forming factor of the system for ensuring the region's electric power supply safety. But in order to achieve the goal of uninterrupted electric power supply, it is necessary to develop a method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system, which allows, based on a human decision model, to form the interaction of components of the system for ensuring the region's electric power supply safety and obtain the required characteristics of the current situation in a certain territory. The results of the study are the determination of the parameters of the geoinformation management of the region's electric power supply safety and the elements of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system, a block diagram of the application of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety. The developed method for geoinformation management of the region's electric power supply safety based on the use of a geographic information system allows us to consider two options for managing the process of ensuring safety: by solving the direct management problem, by solving the inverse management problem. The method proposed in the framework of this study has a number of advantages, including the ability to operate with average times of identification and neutralization of the electric power supply disruption threat and to set the necessary indicator that shows geoinformation management effectiveness.

Keywords: geographic information system, safety, electric power supply disruption threat, inverse management problem, icy-wind situation.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90225.

For citation: Burlov V. G., Polyukhovich M. A. Development of a method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region under the hydrometeorological factors destructive impact. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(70):100—122. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-100-122.

Введение

Передача электрической энергии от источника до конечного потребителя является сложным и непрерывным процессом. Одним из основных элементов системы электроснабжения региона являются воздушные линии электропередачи (ВЛЭП). Эти линии подвержены воздействию многочисленных факторов [1—3], в первую очередь, гидрометеорологических [4—5]. Эти факторы выявляются в виде пространственных географических данных [3, 6]. Для нейтрализации негативного воздействия гидрометеорологических факторов применяется геоинформационное управление. Под геоинформационным управлением (ГИУ) понимается деятельность по созданию условий реализации возможностей объекта управления на основе информационного обеспечения в виде целостной совокупности пространственных географических данных обстановки. Гидрометеорологические факторы оказывают деструктивное воздействие на ВЛЭП [7—8]. Образование гололедно-изморозевых отложений (ГИО) на проводах линий электропередачи является одной из наиболее частых причин нарушения электроснабжения региона, так как приводит к различным авариям. Это может быть обрыв ВЛЭП, падение опор из-за образования на проводе превышаемого по толщине ГИО и дополнительной ветровой нагрузки и т.д. Последствия таких аварий являются причинами массовых отключений целых районов на довольно длительные периоды времени [9—10]. В соответствии с этим создаются Штабы по обеспечению безопасности электроснабжения на основе Постановления Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 86 «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения». Срывы процесса электроснабжения наносят значительный ущерб как для промышленного производства, жизнедеятельности населения, так и для здоровья и жизни задействованного персонала из-за возможного выхода параметров технологического процесса за допустимые пределы [11—13]. Таким образом, возникают задачи идентификации наступления неблагоприятного события (возникновения угрозы нарушения регионального электроснабжения) и адекватного реагирования при сложившейся обстановке в целях обеспечения безопасности объекта управления. В Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216) под энергетической безопасностью понимается состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливно- и энергоснабжению потребителей. Среди угроз энергетической безопасности отмечены неблагоприятные и опасные природные явления, изменения окружающей среды, приводящие к нарушению нормального функционирования и разрушению инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса. Таким образом, под безопасностью понимается свойство объекта (в данном случае ВЛЭП), которое характеризует способность объекта сохранять свое предназначение (электроснабжение потребителей региона) в процессе жизненного цикла в условиях деструктивных воздействий факторов различной природы происхождения (в рассматриваемом случае — гидрометеорологических).

В настоящее время проблема нарушения электроснабжения решается двумя путями:

1) повышение точности определения мест повреждения и сокращения временных и финансовых затрат на поиски места повреждения и организацию ремонтно-восстановительных работ [14—16];

2) осуществление мониторинга гололедообразования на проводах ВЛЭП для предупреждения возможных гололедных аварий [17—20].

Первый подход не обеспечивает в полной мере безопасность электроснабжения. Он позволяет уменьшить время перерыва (среднее время срыва целевого процесса) в передаче электроэнергии потребителям.

Второй подход направлен на мониторинг образования ГИО в режиме реального времени и оценки его нагрузки для определения приближения усилия на проводах к аварийной уставке с учетом температуры окружающей среды, скорости и направления ветра. Данный подход позволяет обеспечивать безопасность электроснабжения с определенным показателем, но он не гарантирует достижение цели деятельности (устойчивое и надежное электроснабжение потребителей в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов). Учитывая непостоянство характеристик погодных условий и необходимость наличия заранее подготовленных материальных и финансовых ресурсов, лица, принимающие решение (ЛПР), должны руководствоваться только тем, что дано в условиях текущей гололедно-ветровой ситуации (ГВС) с прогнозом на определенный период.

Для достижения цели деятельности ЛПР необходим инструмент управления, который позволял бы с заданными показателями реализовывать управляющие воздействия, направленные на предотвращение нарушения электроснабжения региона.

В контексте рассматриваемой проблемы у нас имеется два основных объекта в контуре управления: ВЛЭП и гидрометеорологические факторы, которые можно описать при помощи пространственных географических данных. Наиболее подходящим инструментом для обработки пространственных географических данных является ГИС [21—24]. Исследование пространственных географических данных на базе применения ГИС [25] позволяет установить зависимость показателя безопасности электроснабжения региона от характеристик текущих условий обстановки на рассматриваемой территории. Такой подход позволяет заранее распланировать перечень требуемых мероприятий по предотвращению нарушения электроснабжения региона с учетом имеющихся в наличии ресурсов в целях достижения заранее определенного и согласованного показателя безопасности электроснабжения.

Назначение ГИС в системе обеспечения безопасности объекта – создать условия для формирования решений и повысить эффективность решений, которые должны приниматься на всех уровнях управления ЛПР. Такой подход к использованию ГИС предполагает анализ имитационных моделей объекта в текущих условиях окружающей среды [26—29] для предотвращения аварийных ситуаций (моделирование угроз, оценка уязвимости) и разработки предложений по устранению угроз, обеспечивая при этом снижение влияния человеческого фактора

[30—31]. Таким образом, появляется возможность ГИУ безопасностью электроснабжения региона.

Поэтому целями данного исследования являются выбор, обоснование и реализация условий обеспечения безопасности регионального электроснабжения при деструктивном воздействии гидрометеорологических факторов. Исходя из этого, задачей исследования является разработка методик ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС. Под методикой в работе понимается система правил, изложение методов выполнения какой-нибудь работы [32].

Методика исследования

Так как основой любой деятельности является решение человека [33—34], то решение такой задачи, как обеспечение безопасности электроснабжения региона, зачастую сталкивается со следующими проблемами: полученные результаты управляющих воздействий не соответствуют ожидаемым [35]. Данная ситуация возникает по причине наличия противоречивых выводов, исключить которые можно применением формального аксиоматического метода (ФАМ) [36]. ФАМ в обязательном порядке должен включать:

- 1) основные допущения и предположения;
- 2) базовые понятия, ключевые слова, аксиомы.

Необходимо отметить, что в процессе деятельности участвуют [34]:

- 1) человек, его сознание;
- 2) окружающий мир (объект);
- 3) нечто, что дано природой и позволяет осуществлять познание (всеобщая связь).

Для формирования условий, гарантирующих достижение цели деятельности, используется естественно-научный подход (ЕНП) к управлению безопасностью электроснабжения региона. ЕНП определяется интеграцией свойств мышления человека, окружающего мира и познания [35—36]. ЕНП широко применяется для решения обширного спектра задач различной направленности и тематики научно-педагогической школой «Системная интеграция процессов государственного управления» [37].

Трехкомпонентность ЕНП представляется в виде трех основополагающих принципов [34]:

1. Принцип трехкомпонентности познания, включающий следующие компоненты:

— абстрактное представление (компонент А), заключающийся в формировании условия существования процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой методологический уровень научного познания;

— абстрактно-конкретное представление (компонент Б), заключающийся в формировании причинно-следственных связей, обеспечивающих безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой методический уровень научного познания;

— конкретное представление (компонент В), заключающийся в формировании алгоритмов реализации процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС, представляет собой технологический уровень научного познания.

2. Принцип целостности Мира, выражающийся в виде закона сохранения целостности объекта (ЗСЦО). ЗСЦО — устойчивая, объективная, повторяющаяся связь свойств объекта и действия при фиксированном предназначении [34]. ЗСЦО проявляется во взаимной трансформации свойств объекта и свойств его действия при фиксированном предназначении.

3. Принцип познаваемости Мира, основанный на применении методов научного познания: декомпозиция, абстрагирование, агрегирование.

Содержание первого принципа заключается в том, что человек как ЛПР реализует выбор упорядоченных системообразующим фактором (СОФ) альтернатив путем представления существующей обстановки на уровнях согласно компонентам А, Б, В [34]:

1) абстрактный уровень (формируется условие существования процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС);

2) абстрактно-конкретный уровень (формируются причинно-следственные связи, обеспечивающие безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС);

3) конкретный уровень (формируются условия реализации причинно-следственных связей процесса, обеспечивающего безопасность электроснабжения региона на базе применения ГИС).

В соответствии с разработанным ЕНП [35—36] каждый процесс должен быть представлен тремя компонентами, соответствующими свойствам «Объективность», «Целостность» и «Изменчивость». Эти три компонента располагаются по горизонтали. Они могут интерпретироваться в трех различных уровнях (методологический, методический, технологический) [34]. Такой подход определяет наличие трех уровней по вертикали. На рис. 1 представлена структурная схема развертывания содержания понятия «Решение».

Модель решения человека должна быть адекватна предметной области. Известно нескольких подходов оценивания адекватности модели [38]:

- сравнение с эталоном;
- проверка на практике.

Для сложных систем, к которым относится электроэнергетическая отрасль, целесообразно использовать подход, основанный на «полноте учета основных закономерностей предметной области» [38]. Реализовать данный подход позволяет применение ЗСЦО [33—34].

В статье принято, что решение есть условие реализации предназначения объекта [38] электроэнергетической отрасли (электроснабжение региона посредством ВЛЭП) при деструктивном воздействии гидрометеорологических факторов на базе применения ГИС в интересах достижения цели (безопасность электроснабжения региона).

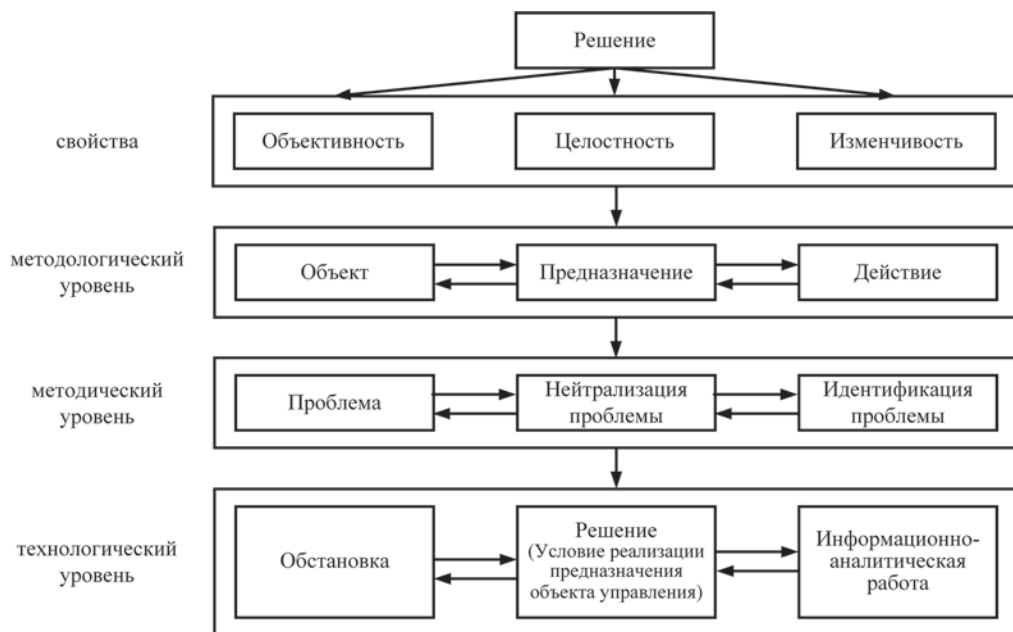


Рис. 1. Структурная схема разворачивания содержания категории «Решение» как процесса.

Fig. 1. Block diagram of the expansion of the content of the «Decision» category as a process.

Обстановка — факторы и условия, в которых осуществляется деятельность. Факторы и условия характеризует совокупность пространственных географических данных. Это гидрометеорологические факторы на определенный период времени (относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, температура окружающего воздуха и т.д.). Также эти факторы и условия характеризуют технико-технологические данные, которые включают характеристики об объектах системы электроснабжения (расположение и протяженность ВЛЭП, наличие и состав аварийного резерва, состав мобильных бригад), о штатной нагрузке, повышенной нагрузке, с учетом которых осуществляется деятельность по обеспечению безопасности электроснабжения региона на базе применения ГИС.

Информационно-аналитическая работа — непрерывное добывание, сбор, изучение, отображение и анализ данных об обстановке.

Чтобы определить условия существования процесса ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС, необходимо учитывать три фактора [33, 36]:

— характеристики внешнего мира, выраженные в устойчивой связи трех компонентов процесса, соответствующих свойствам «Объективность», «Целостность» и «Изменчивость» (или понятиям «Объект», «Предназначение» и «Действие» соответственно);

— характеристики свойств человеческого мышления, основанные на абстрактном, абстрактно-конкретном и конкретном мышлении и выраженные соответственно в методологии, методах и технологии (алгоритмах);

— особенности деятельности человека, при которой человек использует три основных метода решения практических задач: декомпозиция, абстрагирование и агрегирование [38].

На 1-ом уровне применяется метод декомпозиции [33, 38] — решение расчленяется при сохранении связей на три элемента: «Обстановка», «Решение» и «Информационно-аналитическая работа», которые характеризуют условия деятельности.

На 2-ом уровне применяется метод абстрагирования [33, 38]. Человек воспринимает факты, соотношенные во времени [35—36], поэтому целесообразно «Объект» («Обстановка») характеризовать средним временем проявления угрозы нарушения электроснабжения региона — $\Delta t_{\text{ПУ}}$. «Предназначение» («Решение») отождествлять со средним временем нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона) человеком — $\Delta t_{\text{ИУ}}$. «Действие» («Информационно-аналитическая работа») отождествлять со средним временем идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона (средним временем адекватного сложившейся обстановке распознавания ситуации) — $\Delta t_{\text{ИУ}}$.

В работе предполагается, что эти промежутки времени являются случайными величинами [34]. В данном исследовании, кроме процессов обеспечения безопасности, также рассматривается целевой процесс — снабжение потребителей электрической энергией. Целевой процесс характеризуется средним временем реализации целевого процесса — $T_{\text{Э}}$. Проявление базовых компонентов формирования модели решения можно описать следующей диаграммой (рис. 2).

Базируясь на трех базовых элементах: «Обстановка», «Информационно-аналитическая работа» и «Решение (Условие реализации предназначения объекта управления)», можно осуществить синтез модели решения. На рис. 3 представлена структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения.

В результате применения методов декомпозиции, абстрагирования и агрегирования понятие «решение» преобразуется в агрегат — математическую модель следующего вида (с учетом целевого процесса):

$$P = f(T_{\text{Э}}, \Delta t_{\text{ПУ}}, \Delta t_{\text{ИУ}}, \Delta t_{\text{ИУ}}). \quad (1)$$

Это есть условие существования процесса [33, 38] ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС.

Переменные ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС

Система обеспечения безопасности электроснабжения региона (СОБЭР) включает три составляющие в контуре управления: ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения (создан на основе Постановления Правительства РФ от 16 февраля

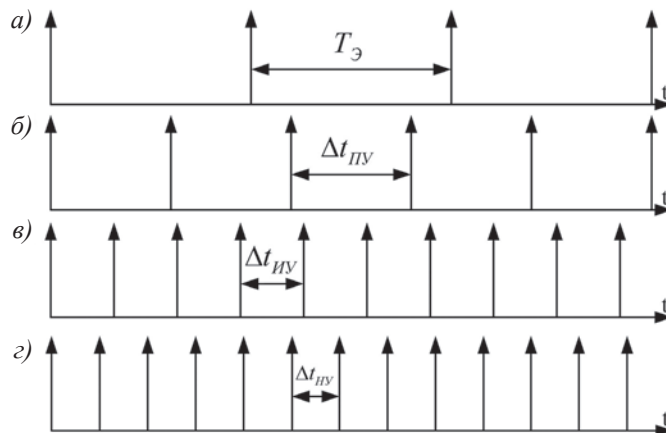


Рис. 2. Диаграмма проявления базовых элементов формирования модели решения:
 а) среднее время реализации целевого процесса; б) среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона; в) среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона; з) среднее время нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона (предотвращение нарушения электроснабжения региона).

Fig. 2. Diagram of the manifestation of the basic elements of the decision model formation:
 а) the average implementation time of the target process; б) the average time of the manifestation of the electric power supply disruption threat in the region; в) the average time of the identification of the threat of electric power supply disruption in the region; з) the average time of the neutralization of the threat of electric power supply disruption in the region (prevention of electric power supply disruption in the region).

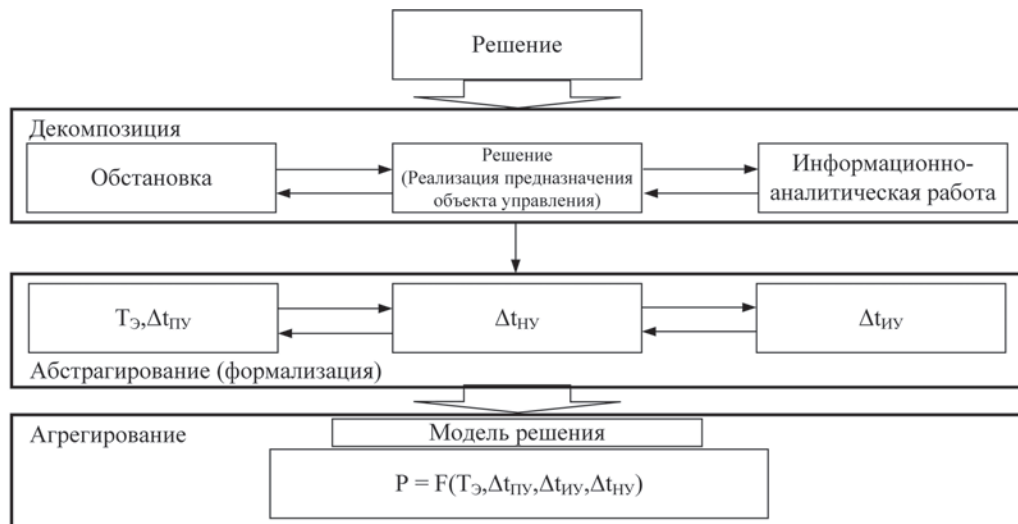


Рис. 3. Структурная схема интерпретации процесса синтеза математической модели решения.

Fig. 3. Block diagram of the interpretation of the synthesis process of the decision mathematical model.

2008 г. № 86 «О штабах по обеспечению безопасности электроснабжения») и электросетевая организация. В функции ситуационно-аналитического центра Минэнерго России входит информационное и аналитическое сопровождение функционирования объектов электроэнергетики в целях обеспечения их безопасности и эффективности. Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения региона является органом, принимающим решение по предотвращению нарушения электроснабжения потребителей путем задействования необходимых ресурсов. Электросетевая организация, непосредственно осуществляющая электроснабжение потребителей, использует имеющиеся ресурсы и предпринимает согласованные с региональным штабом действия. Задачей СОБЭР является обеспечение непрерывного и качественного электроснабжения. Очевидно, что гарантировать абсолютную безопасность объекта невозможно, так как для этого требуются колоссальные ресурсы, затраты на реализацию которых будет превышать реальную выгоду от их применения, поэтому целесообразно ввести в контур управления срыв целевого процесса (так называемое «право на ошибку» [38]), подразумевая под этим неподготовленность к решению поставленной задачи.

В [33] был приведен граф состояний процесса формирования решения, на основе которого функционирует СОБЭР. На основе полученного графа разрабатывается методика ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов. Наибольший интерес в рамках данного исследования представляет собой состояние процесса формирования решения, в условиях которого ЛПР способен своевременно определить ход развития угрозы нарушения регионального электроснабжения и на основе информационно-аналитической работы на базе применения ГИС определить план действий в условиях ограничений на квалификацию и опыт персонала, материальные и финансовые ресурсы. Вероятность нахождения СОБЭР в этом состоянии равна [33, 38]:

$$P_2 = \frac{v_1 v_2 (\zeta^+ + \lambda) + \zeta^+ v_1 v_1^-}{\zeta^- v_2 (\lambda + v_1) + v_1^- (\lambda + v_1) (\zeta^- + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ + \lambda) (v_2 + v_2^-) + v_1 (\zeta^+ v_1^- + \zeta^- \lambda)}, \quad (2)$$

где $\zeta^+ = \frac{1}{T_3}$ — обратная величина среднему времени выполнения целевой задачи

(электроснабжение региона), $T_3 = f_1(k_0, k_1, \dots, k_n)$ — среднее время штатной эксплуатации объекта электроэнергетической системы;

$\lambda = \frac{1}{\Delta t_{\text{ПВ}}}$ — обратная величина среднему времени проявления угрозы нарушения электроснабжения региона, $\Delta t_{\text{ПВ}} = f_2(x_0, x_1, \dots, x_a)$ — среднее время проявления угрозы нарушения безопасности электроснабжения региона;

$v_1 = \frac{1}{\Delta t}$ — обратная величина среднему времени идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, $\Delta t_{\text{ИУ}} = f_3(y_0, y_1, \dots, y_b)$ — среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона;

нарушения электроснабжения региона, $\Delta t_{\text{ИУ}} = f_3(y_0, y_1, \dots, y_b)$ — среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона;

$v_2 = \frac{1}{\Delta t_{\text{HY}}}$ — обратная величина среднему времени предотвращения нарушения

электроснабжения региона, $\Delta t_{\text{HY}} = f_4(z_0, z_1, \dots, z_c)$ — среднее время предотвращения нарушения электроснабжения региона;

$\zeta^- = \frac{1}{T_{\text{CP}}}$ — частота срыва целевого процесса (электроснабжение региона),

где T_{CP} — среднее время появления факта срыва целевого процесса;

$v_1^- = \frac{N_{\text{ИУ}}^{\text{CP}}}{N_{\text{ИУ}}}$ — частота срыва идентификации угрозы нарушения регионального электроснабжения, где $N_{\text{ИУ}}^{\text{CP}}$ — количество срывов процессов идентификации угрозы, $N_{\text{ИУ}}$ — общее количество процессов идентификации угрозы;

$v_2^- = \frac{N_{\text{НУ}}^{\text{CP}}}{N_{\text{НУ}}}$ — частота срыва нейтрализации угрозы (предотвращения нарушения электроснабжения региона), где $N_{\text{НУ}}^{\text{CP}}$ — количество срывов процессов нейтрализации угрозы, $N_{\text{НУ}}$ — общее количество процессов нейтрализации угрозы.

Значение переменной ζ^+ зависит от требований, предъявляемых к системе электроснабжения потребителей региона.

Переменная ζ^- представляет собой «право на ошибку», допустимый риск [38]. Важно понимать, что данный «риск» не реализуется, объект управления выполняет свое предназначение с требуемым показателем безопасности. Смысл категории «риска» обсуждается из тех соображений, что угроза нарушения электроснабжения региона не будет реализована и ищутся пути устранения угрозы.

Значения переменных λ и v_1 являются результатом обработки пространственных географических данных, полученных при помощи ГИС, и технико-технологических данных. При этом λ зависит от гидрометеорологических условий на рассматриваемой территории в конкретный промежуток времени, в то время как v_1 фактически формируется органами управления СОБЭР для достижения необходимого показателя безопасности электроснабжения [33]. Переменные v_2 , v_1^- и v_2^- являются характеристиками системы управления объектом, так как полностью зависят от ЛПР и электротехнического персонала. Характеристики v_1^- и v_2^- формируются исходя из опыта и квалификации персонала, задействованного при управлении процессом передачи электроэнергетики.

Элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС

Наиболее подходящим для целей обеспечения безопасности объекта является подход на основе синтеза [38—39], главное достоинство которого заключается в возможности изначально заложить требуемый показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона, что в условиях неопределенности позволит достигать требуемой цели деятельности [40].

Участники системы обеспечения безопасности электроснабжения региона				
Система электроснабжения	Сетевой график целевого процесса (электроснабжение региона)			ζ^+ ζ^-
Геоинформационная система	Сетевой график проявления угрозы нарушения электроснабжения региона			λ
	Сетевой график идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона			v_1
Система оперативно-диспетчерского управления	Сетевой график нейтрализации угрозы нарушения электроснабжения региона			v_2
	Прямая задача		Обратная задача	
	Входные данные	Выходные данные	Входные данные	Выходные данные
	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, v_1, v_2, v_1^-, v_2^-)$		P_2	$P_2 = f(\zeta^+, \zeta^-, \lambda, v_1, v_2, v_1^-, v_2^-) \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \rightarrow P_2$
База данных	Декларативное знание (требования стандартов, технологические показатели, руководящие документы, математические зависимости и т.д.).			v_1^-, v_2^-
	Знание технологического процесса (программа поиска неисправностей, аналитический метод, расчеты и т.д.).			
	Стратегическое знание (надежность элементов, пространство возможных решений, суррогатная модель и т.д.).			

Рис. 4. Элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС.

Fig. 4. Elements of the method for geoinformation management of the electric power supply safety in the region based on the use of GIS.

В ходе предыдущего исследования [33] был осуществлен синтез СОБЭР на основе СОФ-модели решения человека. СОБЭР включает три участника, выполняющих роль ЛПР: электросетевая организация, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, каждый из которых дает возможность получить характеристики процессов ГИУ безопасностью электроснабжения региона, позволяющие определить показатель эффективности реализации решений по обеспечению безопасности электроснабжения региона или, наоборот, достичь значения заранее установленного показателя на основе решения обратной задачи управления.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, установлено, что составляющими элементами методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов являются (рис. 4):

— участники СОБЭР (региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, электросетевая организация);

— система электроснабжения (формирует требования к процессу электроснабжения в зависимости от категории потребителя);

— ГИС (позволяет определять среднее время проявления угрозы нарушения регионального электроснабжения и среднее время идентификации угрозы нарушения такого электроснабжения на основе обработки пространственных географических данных и технико-технологических данных);

— система оперативно-диспетчерского управления (определяет среднее время предотвращения нарушения регионального электроснабжения);

— база данных, в которой содержатся сведения о квалификации и стаже персонала [41], задействованного при решении задачи обеспечения безопасности электроснабжения, требованиях нормативной правовой документации в области электроэнергетики, а также сведения о надежности элементов системы электроснабжения и их характеристиках.

Применение ГИС обусловлено необходимостью получения пространственных географических данных, характеризующих обстановку на рассматриваемой территории.

Для получения требуемой выходной информации массив технико-технологических данных, формируемый электросетевой организацией, должен включать следующую информацию:

- радиус и плотность материала провода участка ВЛЭП, его протяженность;
- температура провода участка ВЛЭП, фиксируемая при помощи датчиков;
- вид и материал опоры участка ВЛЭП;
- категория потребителей;
- состав аварийного резерва;
- состав мобильной бригады.

В массиве данных о гидрометеорологической обстановке наибольший интерес представляют следующие сведения:

- температура окружающего воздуха;
- скорость ветра;
- направление ветра;
- влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- количество осадков.

Человек работает с четырьмя процессами:

— целевой процесс (электроснабжение региона), характеристики которого зависят от категории потребителей;

— процесс проявления угрозы нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от параметров участка ВЛЭП и метеорологических условий сложившейся ГВС;

— процесс идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от квалификации и опыта персонала;

— процесс предотвращения нарушения электроснабжения региона, характеристики которого зависят от состава аварийного резерва и состава мобильной бригады.

В [33] осуществлена системная интеграция данных процессов с показателем безопасности электроснабжения (P_2).

Реализация методики ГИУ осуществляется следующим образом. Гидромет-центр России предоставляет прогноз, что в ближайшие дни ожидаются метеорологические условия, благоприятствующие образованию ГИО на проводах ВЛЭП. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России идентифицирует угрозу возникновения нарушения электроснабжения региона на определенном участке ВЛЭП на базе применения ГИС и передает информацию в региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения, который, в свою очередь, вырабатывает комплекс требуемых мероприятий по бесперебойному электроснабжению, используя пространственные географические данные ГИС и технико-технологические данные о местоположении аварийного резерва и составе мобильных бригад и учитывая допустимую частоту срыва целевого процесса. Электросетевая организация получает от регионального штаба указания по выполнению комплекса мероприятий по предотвращению нарушения электроснабжения региона. При этом мероприятия могут быть начаты до или во время начала образования ГИО, что зависит от установленного показателя безопасности электроснабжения региона P_2 или от применяемого резерва.

Использование пространственных географических данных и технико-технологических данных как основы информационного обеспечения ГИУ в целях обеспечения безопасности электроснабжения позволяет решать обратную задачу управления. При прямой задаче управления ЛПП не изменяет параметры СОБЭР и получает тот показатель безопасности электроснабжения, который обусловлен сложившейся ГВС. Но при своевременной идентификации угрозы нарушения электроснабжения региона ЛПП в состоянии достичь требуемого показателя, контролируя состав и перечень ресурсов и подбирая персонал с соответствующими квалификацией и опытом.

Региональный штаб по обеспечению безопасности электроснабжения отвечает за анализ системных требований и уточнение траектории функционирования объекта. Назначение роли регионального штаба фокусируется на декомпозиции окружающей среды и определении необходимых действий по предотвращению срыва процесса электроснабжения. На протяжении цикла итераций процесса мониторинга факторов окружающей среды обратная связь от последующих процессов будет влиять на уточнение региональным штабом дальнейших действий с целью формирования решения. Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России отвечает за разработку и формулирование соответствующих моделей воздействия гидрометеорологических факторов на ВЛЭП, в конечном итоге используя знания предметной области, чтобы судить о приемлемости результатов идентификации угрозы для предоставления достаточных рекомендаций по формированию решений. Создание и реализация шаблонов событий и процессов формирования решений является основным направлением работы ситуационно-аналитического центра Минэнерго России. Электросетевая организация несет ответственность за подготовку и реализацию задач для конкретного процесса формирования решения и за определение окончательных технологических параметров посредством

идентифицированных превентивных действий при тщательном исследовании процесса функционирования ВЛЭП. Информационная поддержка знаний о возможности повторного использования шаблонов эффективных решений позволяет электросетевой организации сосредоточить свои усилия на создании и улучшении текущих процессов предотвращения нарушения электроснабжения региона для конкретных подходов к устранению проблем.

Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях воздействия гидрометеорологических факторов

Впервые разработанная методика ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС позволяет рассматривать два варианта управления процессом обеспечения безопасности [42]:

— решение прямой задачи (задача анализа), которая состоит в оценке результата функционирования системы при заданных ее свойствах и условиях применения. При этом вычисляются и анализируются показатели эффективности. В итоге осуществляется перебор вариантов решения, которые не позволяют достигать цели деятельности;

— решение обратной задачи (задача синтеза), которая связана с определением свойств, характеристик и условий использования системы, при которых эффективность системы будет оптимальной (требуемой или максимальной) в смысле выбранного критерия.

При решении прямой задачи путем подстановки переменных в уравнение (2) определяется показатель безопасности электроснабжения. Затем проводится сравнение полученного показателя с заранее определенным допустимым показателем. Если выявляется несоответствие (показатель безопасности электроснабжения ниже допустимого), то решается обратная задача (путем подстановки в уравнение (2) необходимых значений определяется, какое значение должно иметь v_1 , либо v_2 , либо v_1^- , либо v_2^-). Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС в условиях воздействия гидрометеорологических факторов представлена на рис. 5.

Для получения переменных модели решения авторами рекомендуется использовать сетевое моделирование. Согласно блок-схеме, первым этапом обеспечения безопасности регионального электроснабжения является определение сетевого графика целевого процесса (электроснабжение потребителей) электросетевой организацией с учетом поставленных Минэнерго России требований для получения среднего времени передачи электроэнергии. Среднее время появления факта срыва процесса регионального электроснабжения принимается с учетом сведений о неподготовленности к решению задачи. Следующий этап заключается в обработке пространственных географических данных ГИС, на основе которых строятся сетевой график процесса проявления угрозы электросетевой организацией с учетом технико-технологических данных и сетевой график процесса идентификации угрозы ситуационно-аналитическим центром Минэнерго России

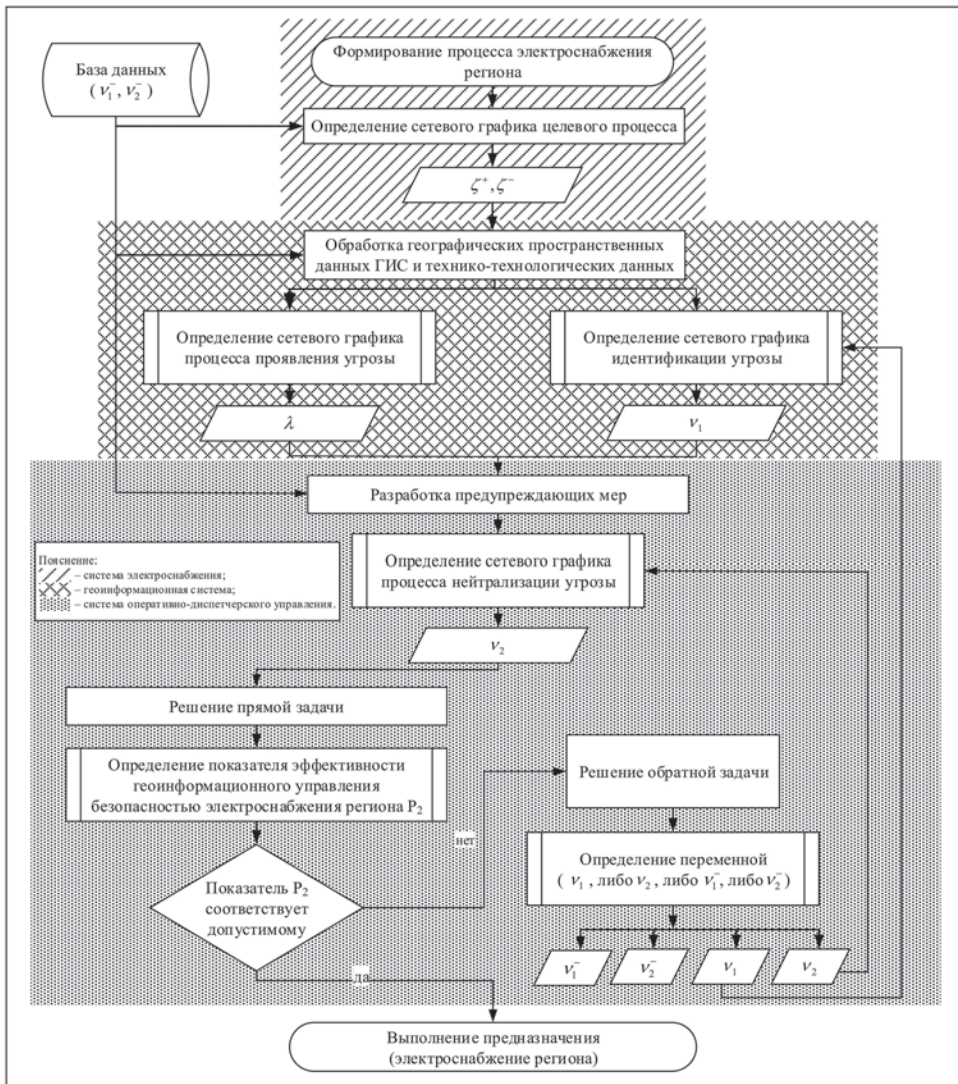


Рис. 5. Блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов.

Fig. 5. Block diagram of the application of the method for geoinformation management of the region's electric power supply safety in the conditions of the hydrometeorological factors destructive impact.

на базе использования ГИС, затем определяются среднее время проявления угрозы нарушения электроснабжения региона и среднее время идентификации угрозы нарушения электроснабжения соответственно. Следующий этап заключается

в разработке предупреждающих мер: строится сетевой график процесса нейтрализации угрозы региональным штабом по обеспечению безопасности электроснабжения на базе использования пространственных географических данных ГИС и технико-технологических данных с целью определения среднего времени предотвращения нарушения регионального электроснабжения. Затем решается прямая задача (подставляются ранее полученные переменные ζ^+ , ζ^- , λ , v_1 , v_2 , v_1^- , v_2^-) и определяется показатель P_2 . В случае, если показатель P_2 не соответствует требуемому значению, то решается обратная задача, при которой для получения конкретного показателя P_2 определяется необходимый параметр v_1 (либо v_2 , либо v_1^- , либо v_2^-). В результате выполненных действий при соответствии показателя безопасности электроснабжения P_2 требуемому значению можно говорить о выполнении объектом управления (ВЛЭП) своего предназначения (электроснабжение региона) в условиях деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов.

Заключение

Назначение ГИС в ГИУ безопасностью электроснабжения региона — создание условий для гарантированного достижения цели деятельности.

В ходе проведенного исследования была осуществлена системная интеграция процессов обеспечения безопасности (процесс проявления угрозы нарушения регионального электроснабжения, процесс идентификации угрозы и процесс нейтрализации угрозы такого нарушения) с показателем безопасности электроснабжения региона. Были достигнуты все поставленные цели: определены переменные ГИУ безопасностью электроснабжения региона (ζ^+ , ζ^- , λ , v_1 , v_2 , v_1^- , v_2^-), элементы методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона на базе применения ГИС, впервые разработана блок-схема применения методики ГИУ безопасностью электроснабжения региона в условиях воздействия гидрометеорологических факторов на основе СОФ-модели решения человека. Предложенный подход позволяет рассматривать два варианта управления процессом обеспечения безопасности: путем решения прямой задачи управления, путем решения обратной задачи управления.

Разработанный подход предполагает установление показателя безопасности электроснабжения региона заранее в зависимости от требований и наличия ресурсов системы электроснабжения.

В научных исследованиях, посвященных проблематике обеспечения безопасности электроснабжения, рассматривается только подход на основе анализа [43—44], что не гарантирует достижение цели деятельности. В данном исследовании предложена методика, в основе которой положена модель решения человека, разработанная путем применения подхода на основе синтеза, что, в отличие от подхода на основе анализа, позволяет достигать цели деятельности в условиях неопределенности факторов окружающей среды. Кроме того, в работе осуществлена системная интеграция процессов обеспечения безопасности, что позволяет учитывать все аспекты деструктивного воздействия гидрометеорологических факторов на ВЛЭП.

В предыдущем исследовании [34] не учитывался целевой процесс. В настоящем исследовании получена модель решения человека, одним из компонентов которой является среднее время реализации целевого процесса. Рассмотрена возможность учета срыва целевого процесса. В дальнейшем актуальной является задача разработки требуемого информационного обеспечения ГИУ безопасностью электроснабжения региона, базой данных которого должна являться совокупность пространственных географических данных и технико-технологических данных.

Список литературы

1. Мурзакулов Н. А., Жетибаев Н. Факторы, приводящие к повреждениям воздушных линий электропередачи // Известия Ошского технологического университета. 2021. № 1. С. 128—131.
2. Айдарова А. Р. Модельное представление потерь от короны в высоковольтных воздушных линиях электропередачи в условиях высокогорья // Проблемы автоматики и управления. 2019. № 2 (37). С. 140—146. doi: 10.5281/zenodo.3594814.
3. Гашо Е. Г., Гужов С. В., Кролин А. А. Оценка последствий изменения климата на безопасность и надежность функционирования электроэнергетического комплекса г. Москвы // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11, № 3. С. 208—216. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216.
4. Кабашов В. Ю., Андрианова Л. П., Хайрисламов Д. С. Причины аварийных отключений сельских воздушных линий электропередачи напряжением 10 (6) кВ // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 48-7. С. 40—44. doi: 10.18411/lj-03-2019-148.
5. Бигун А. Я., Гиршин С. С., Горюнов В. Н. и др. Оценка влияния ветра на нагрев изолированного провода воздушных линий электропередачи // Динамика систем, механизмов и машин. 2020. Т. 8, № 3. С. 23—30. doi: 10.25206/2310-9793-8-3-23-30.
6. Колбанёв М. О., Палкин И. И., Пойманова Е. Д., Татарникова Т. М. Пути создания зеленых информационных технологий // Гидрометеорология и Экология. 2021. № 62. С. 127—138. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138.
7. Клименко В. В., Кондрашева О. Е., Терешин А. Г. и др. Изменение ветрового режима на территории России и аварийность воздушных линий электропередач // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2021. Т. 497, № 1. С. 57—64. doi: 10.31857/S2686740021020048.
8. Гимадиев Р. Ш. Динамика деформирования провода электропередачи // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2019. № 4. С. 63—75. doi: 10.1134/S0572329919040044.
9. Наумов И. В., Карпова Е. В. Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (на примере южных электрических сетей города Иркутска) // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11, № 4. С. 299—304. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304.
10. Зизаева Р. Р., Ужанов А. Е. Коммуникационная технология управления кризисом в условиях массового нарушения электроснабжения в период «Ледяных дождей» // Надежность и безопасность энергетики. 2020. Т. 13, № 3. С. 197—206. doi: 10.24223/1999-5555-2020-13-3-197-206.
11. Даффи Р. Б. Прогнозирование надежности энергетической системы и продолжительности сбоев, включая нештатные ситуации // Надежность. 2020. Т. 20, № 3. С. 3—14. doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-3-3-14.
12. Будникова И. К., Приймак Е. В., Заманов Р. И. Использование автоматических систем управления для минимизации последствий аварийных ситуаций в нефтедобывающей отрасли // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25, № 5. С. 89—93. doi: 10.55421/1998-7072_2022_25_5_89.
13. Щербатов И. А. Формализация неопределенности внешней среды при эксплуатации энергетического оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20, № 7. С. 405—411. doi: 10.17587/mau.20.405-411.
14. Горбунов И. Н., Захаренко С. Г., Захаров С. А., Малахова Т. Ф. Применение нейронных сетей в целях определения места повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 4 (144). С. 48—55. doi: 10.26730/1816-4528-2019-4-48-55.
15. Сидоров С. В., Сушков В. В., Сухачев И. С. Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6(10) кВ // Промышленная энергетика. 2020. № 3. С. 33—40. doi: 10.34831/EP.2020.92.72.003.

16. Куликов А. Л., Лоскутов А. А., Пелевин П. С. Алгоритм идентификации поврежденного участка на кабельно-воздушных линиях электропередачи на основе распознавания волновых портретов // *Электричество*. 2018. № 3. С. 11—17. doi: 10.24160/0013-5380-2018-3-11-17.
17. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушной линии электропередачи // *Омский научный вестник*. 2020. № 6 (174). С. 74—80. doi: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80.
18. Тимофеев Г. В., Потапчук Н. К. Современные методы контроля ледообразования на проводах воздушной линии электропередач // *Вести научных достижений. Естественные и технические науки*. 2020. № 3. С. 125—128. doi: 10.36616/2687-1335-2020-3-125-128.
19. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Определение стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи в устройстве мониторинга гололедообразования по результатам физического моделирования // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2021. № 2 (36). С. 139—143. doi: 10.25699/SSSB.2021.36.2.009.
20. Садыков М. Ф., Ярославский Д. А., Горячев М. П. и др. Анализ современных методов оценки состояния воздушных линий электропередачи по механическим параметрам проводов (обзор) // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2021. Т. 85, № 11. С. 1600—1606. doi: 10.31857/S0367676521110326.
21. Запевалов В. Н. Использование геоинформационных систем и технологий в управлении земельными ресурсами Тюменской области // *Московский экономический журнал*. 2021. № 4. С. 67—80. doi: 10.24411/2413-046X-2021-10255.
22. Малюгин Д. В., Петров Ю. В. Результаты многолетнего экомониторинга подземных вод на территории Тюменской агломерации // *Географическая среда и живые системы*. 2021. № 2. С. 15—29. doi: 10.18384/2712-7621-2021-2-15-29.
23. Ивлиева Н. Г., Манухов В. Ф., Борискин А. С., Ерофеева И. В. Опыт создания базы данных в ГИС-среде // *Геодезия и картография*. 2020. Т. 81, № 12. С. 43—49. doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-43-49.
24. Гордеева С. М., Малинин В. Н. Использование Data Mining в задаче гидрометеорологического прогнозирования // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2016. № 44. С. 30—44.
25. Гарсия Эскалона Х. А., Истомин Е. П., Колбина О. Н. Перспективы развития инфраструктуры пространственных данных с использованием современных технологий // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2018. № 50. С. 130—136.
26. Malinin V. N., Gordeeva S. M. Variability of evaporation and precipitation over the ocean from satellite data // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. Т. 53, № 9. С. 934—944. doi: 10.1134/S0001433817090195.
27. Авдеева М. О., Узун О. Л., Доронин А. С., Гаврилова М. В. Применение метода имитационного моделирования для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. Т. 11, № 2 (58). С. 196—201. doi: 10.46548/21vek-2022-1158-0034.
28. Shilin M., Baikov E., Sikarev I. et al. Natural risks management digitalization for arctic seaports while climate change // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Т. 246. С. 727—734. doi: 10.1007/978-3-030-81619-3_81.
29. Вагизов М. Р., Истомин Е. П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2) // *Геоинформатика*. 2022. № 1. С. 40—46. doi: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
30. Шилин М. Б., Сычев В. И., Михеев В. Л. и др. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ // *Гидрометеорология и экология*. 2020. № 60. С. 351—370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370.
31. Бескид П. П., Богданов П. Ю., Миклуш В. А. и др. Результаты исследований в области дистанционных методов обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, проводимых в РГГМУ // *Гидрометеорология и Экология*. 2020. № 60. С. 371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391.
32. Ушаков Д. Н. Большой толковый словарь русского языка. М: Дом Славянской кн., 2008. 959 с.

33. Бурлов В. Г., Полюхович М. А. Синтез системы обеспечения безопасности электроснабжения региона // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11, № 3 (59). С. 32—38. doi: 10.46548/21vek-2022-1159-0005.
34. Бурлов В. Г., Попов Н. Н., Гарсия Эскалона Х. А. Управление процессом применения космической геоинформационной системы в интересах обеспечения экологической безопасности региона // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 50. С. 118—129.
35. Бурлов В. Г., Кириенко А. В., Остриков В. Н., Плахотников О. В. Оценка качества построения геоинформационной системы автоматизированного поиска техногенного мусора по видеоданным воздушной съемки // Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 311—328. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-311-328.
36. Бурлов В. Г., Миронов А. Ю., Миронова А. Ю. Применение геоинформационной системы в профилактике, выявлении и доказывании административных правонарушений // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2019. № 57. С. 126—146. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-126-146.
37. Реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга. URL: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>.
38. Burlov V. G. Mathematical models for solving the problems of information warfare // Proceedings of the 16th International Conference on Cyber Warfare and Security ICCWS 2021. 25-26 February 2021. A virtual conference hosted by Tennessee Tech University and the Oak Ridge National Laboratory USA. 2021. С. 37—47.
39. Burlov V. G., Volkov V. F. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems // Engineering Simulation. 1994. Т. 12, № 1. С. 110—115.
40. Бурлов В. Г., Магулян Г. Г., Матвеев А. В. Общий подход к моделированию систем обеспечения безопасности // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 5 (133). С. 73—76.
41. Бурлов В. Г., Грачев М. И., Примакин А. И. Многоуровневый подход в подготовке и переподготовке кадров в сфере безопасности информационных технологий // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник научных трудов. Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. 2017. С. 185—189.
42. Кондратьева Н. В. Оптимизация ресурсных испытаний вспомогательных ГТД на основе имитационного моделирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 2003.
43. Папков Б. В. Основа безопасности государства — электроэнергетика // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 4.
44. Папков Б. В. Требования потребителей к уровню энергетической безопасности и надежности // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2014. С. 328—335.

References

1. Murzakulov N. A., Zhetibaev N. Factors leading to damage to overhead power lines. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta = News of Osh Technological University*. 2021;(1):128—131. (In Russ.).
2. Ajdarova A. R. Model representation of corona losses in high-voltage overhead power transmission lines in high-altitude conditions. *Problemy avtomatiki i upravleniya = Automation and control problems*. 2019;2(37):140—146. doi: 10.5281/zenodo.3594814. (In Russ.).
3. Gasho E. G., Guzhov S. V., Krolin A. A. Assessment of the effects of climate change on the safety and reliability of the functioning of the Moscow electric power complex. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2018;11(3):208—216. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-3-208-216. (In Russ.).

4. Kabashov V. Yu., Andrianova L. P., Hajrislamov D. S. Causes of emergency shutdowns of rural overhead power lines with a voltage of 10 (6) kV. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the development of science and education*. 2019;(48-7):40—44. doi: 10.18411/lj-03-2019-148. (In Russ.).
5. Bigun A. Ya., Girshin S. S., Goryunov V. N. et al. Assessment of the influence of wind on the heating of insulated wires of overhead power lines. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin = Dynamics of systems, mechanisms and machines*. 2020;8(3):23—30. doi: 10.25206/2310-9793-8-3-23-30. (In Russ.).
6. Kolbanyov M. O., Palkin I. I., Pojmanova E. D., Tatarnikova T. M. The challenges of the digital economy. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2021;(62):127—139. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-127-138. (In Russ.).
7. Klimenko V. V., Kondrat'eva O. E., Tereshin A. G. et al. Changes in the wind regime on the territory of Russia and the accident rate of overhead power lines. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Fizika, tekhnicheskie nauki = Reports of the Russian Academy of Sciences. Physics, technical sciences*. 2021;497(1):57—64. doi: 10.31857/S2686740021020048. (In Russ.).
8. Gimadiev R. Sh. Dynamics of deformation of the power transmission wire. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Solid state mechanics*. 2019;(4):63—75. doi: 10.1134/S0572329919040044. (In Russ.).
9. Naumov I. V., Karpova E. V. Analysis of the causes of damage to 10 kV distribution electric networks (on the example of the southern electric networks of the city of Irkutsk). *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2018;11(4):299—304. doi: 10.24223/1999-5555-2018-11-4-299-304. (In Russ.).
10. Zizaeva R. R., Uzhanov A. E. Communication technology for crisis management in conditions of massive power supply disruption during the «Icy Rains». *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and safety of energy*. 2020;13, 3: 197—206. doi: 10.24223/1999-5555-2020-13-3-197-206. (In Russ.).
11. Daffi R. B. Prognozirovanie nadezhnosti energeticheskoy sistemy i prodolzhitel'nosti sboev, vlyuchaya neshtatnye situacii. *Nadezhnost' = Reliability*. 2020;20(3):3—14. doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-3-3-14. (In Russ.).
12. Budnikova I. K., Prijmak E. V., Zamanov R. I. Use of automatic control systems to minimize the consequences of emergencies in the oil industry. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2022;25(5):89—93. doi: 10.55421/1998-7072_2022_25_5_89. (In Russ.).
13. Shcherbatov I. A. Formalization of the uncertainty of the external environment during the operation of power equipment. *Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie = Mechatronics, automation, control*. 2019;20(7):405—411. doi: 10.17587/mau.20.405-411. (In Russ.).
14. Gorbunov I. N., Zaharenko S. G., Zaharov S. A., Malahova T. F. Application of neural networks in order to determine the location of damage to overhead and cable power lines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics*. 2019;4(144):48—55. doi: 10.26730/1816-4528-2019-4-48-55. (In Russ.).
15. Sidorov S. V., Sushkov V. V., Suhachev I. S. Features of modeling the determination of damage locations of overhead power lines with a voltage of 6(10) kV. *Promyshlennaya energetika = Industrial energy*. 2020;(3):33—40. doi: 10.34831/EP.2020.92.72.003. (In Russ.).
16. Kulikov A. L., Loskutov A. A., Pelevin P. S. An algorithm for identifying a damaged section on cable and overhead power lines based on recognition of wave portraits. *Elektrichestvo = Electricity*. 2018;(3):11—17. doi: 10.24160/0013-5380-2018-3-11-17. (In Russ.).
17. Panteleev V. I., Maleev A. V. Ice formation intensity monitoring system on overhead power line wires. *Omskij nauchnyj vestnik = Omsk Scientific Bulletin*. 2020;6(174):74—80. doi: 10.25206/1813-8225-2020-174-74-80. (In Russ.).
18. Timofeev G. V., Potapchuk N. K. Modern methods of control of ice formation on overhead power line wires. *Vesti nauchnyh dostizhenij. Estestvennye i tekhnicheskie nauki = News of scientific achievements. Natural and technical sciences*. 2020;(3):125—128. doi: 10.36616/2687-1335-2020-3-125-128. (In Russ.).
19. Panteleev V. I., Maleev A. V. Determination of the sagging boom of overhead power lines wires in the ice formation monitoring device based on the results of physical modeling. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik = South Siberian Scientific Bulletin*. 2021;2(36):139—143. doi: 10.25699/SSSB.2021.36.2.009. (In Russ.).

20. Sadykov M. F., Yaroslavskij D. A., Goryachev M. P. et al. Analysis of modern methods for assessing the condition of overhead power transmission lines by mechanical parameters of wires (overview). *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physical series.* 2021;85(11):1600—1606. doi: 10.31857/S0367676521110326. (In Russ.).
21. Zapevalov V. N. The use of geoinformation systems and technologies in the management of land resources of the Tyumen region. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal = Moscow Economic Journal.* 2021;(4):67—80. doi: 10.24411/2413-046X-2021-10255. (In Russ.).
22. Malyugin D. V., Petrov Yu. V. Rezul'taty mnogoletnego ekomonitoringa podzemnyh vod na territorii Tyumenskoy aglomeracii. *Geograficheskaya sreda i zhivye sistemy = Geographical environment and living systems.* 2021;(2):15—29. doi: 10.18384/2712-7621-2021-2-15-29. (In Russ.).
23. Ivlieva N. G., Manuhov V. F., Boriskin A. S., Erofeeva I. V. Experience in creating a database in a GIS environment. *Geodeziya i kartografiya = Geodesy and cartography.* 2020;81(12):43—49. doi: 10.22389/0016-7126-2020-966-12-43-49. (In Russ.).
24. Gordeeva S. M., Malinin V. N. Using Data Mining in the task of hydrometeorological forecasting. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2016;(44):30—44. (In Russ.).
25. Garsia Eskalona H. A., Istomin E. P., Kolbina O. N. Prospects of infrastructure development spatial data with use modern technologies. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2018;(50):130—136. (In Russ.).
26. Malinin V. N., Gordeeva S. M. Variability of evaporation and precipitation over the ocean from satellite data. 2017;53(9):934—944. doi: 10.1134/S0001433817090195.
27. Aydeeva M. O., Uzun O. L., Doronin A. S., Gavrilova M. V. Application of the simulation modeling method to assess the equipment of forest fire fighting units by fire extinguishing forces. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: the results of the past and the problems of the present plus.* 2022;11,2(58):196—201. doi: 10.46548/21vek-2022-1158-0034. (In Russ.).
28. Shilin M., Baikov E., Sikarev I. et al. Natural risks management digitalization for arctic seaports while climate change. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022;(246):727—734. doi: 10.1007/978-3-030-81619-3_81.
29. Vagizov M. R., Istomin E. P. Development of geoinformation modeling technology for forest ecosystems (Part 2). *Geoinformatika = Geoinformatics.* 2022;(1):40—46. doi: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46. (In Russ.).
30. Shilin M. B., Sychev V. I., Miheev V. L. et al. Results of investigations of the Neva Bay technosphere at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2020;(60):351—370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370. (In Russ.).
31. Beskid P. P., Bogdanov P. Yu., Miklush V.A. et al. Results of research in the field of remote sensing methods for detecting oil pollution on the water surface conducted at the RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2020;(60):371—391. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-371-391. (In Russ.).
32. Ushakov D. N. *Bol'shoj tolkovyj slovar' russkogo yazyka.* Large explanatory dictionary of the Russian language. Moscow: Dom Slavyanskoi kn., 2008: 959 p. (In Russ.).
33. Burlov V. G., Polyuhovich M. A. Synthesis of the region's electric power supply safety system. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus = XXI century: the results of the past and the problems of the present plus.* 2022; 11,3(59):32—38. doi: 10.46548/21vek-2022-1159-0005. (In Russ.).
34. Burlov V. G., Popov N. N., Garsiya Eskalona H. A. Managing the process of using the space geoinformation system in the interests of ensuring the environmental safety of the region. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University.* 2018;(50):118—129. (In Russ.).
35. Burlov V. G., Kirienko A. V., Ostrikov V. N., Plahotnikov O. V. Quality assessment of building a geoinformation system for automated man-made debris search based on aerial video data. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Hydrometeorology and Ecology.* 2021;(63):311—328. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-311-328. (In Russ.).
36. Burlov V. G., Mironov A. Yu., Mironova A. Yu. Application of geoinformation system in prevention, identification and evidence about administrative offenses. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo*

- gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2019;(57):126—146. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-126-146. (In Russ.).
37. *Reestr vedushchih nauchnyh i nauchno-pedagogicheskikh shkol Sankt-Peterburga = Register of the leading scientific and scientific-pedagogical schools of St. Petersburg*. Available at: <http://is.ifmo.ru/aboutus/2013/science-schools.pdf>. (In Russ.).
 38. Burlov V. G. Mathematical models for solving the problems of information warfare. Proceedings of the 16th International Conference on Cyber Warfare and Security ICCWS 2021. 25—26 February 2021. A virtual conference hosted by Tennessee Tech University and the Oak Ridge National Laboratory USA. 2021: 37—47.
 39. Burlov V. G., Volkov V. F. Method of consecutive expert estimates in control problems for the development of large-scale potentially dangerous systems. *Engineering Simulation*. 1994;(1):110—115.
 40. Burlov V. G., Magulyan G. G., Matveev A. V. A general approach to modeling safety systems. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie = Scientific and technical bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management*. 2011;5(133):73—76. (In Russ.).
 41. Burlov V. G., Grachev M. I., Primakin A. I. Multilevel approach in training and retraining of personnel in the field of information technology safety. *Regional'naya informatika i informacionnaya bezopasnost' . Sbornik nauchnyh trudov. Sankt-Peterburgskoe Obshchestvo informatiki, vychislitel'noj tekhniki, sistem svyazi i upravleniya = Regional informatics and information safety. Collection of scientific papers. St. Petersburg society of informatics, computer technology, communication and control systems*. 2017: 185—189. (In Russ.).
 42. Kondrat'eva N. V. *Optimizaciya resursnyh ispytaniy vspomogatel'nyh GTD na osnove imitacionnogo modelirovaniya: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk = Optimization of resource tests of auxiliary gas turbine engines based on simulation modeling: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Ufa, 2003. (In Russ.).
 43. Papkov B. V. The basis of state safety is the electric power industry. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*. 2013;4(27):4. (In Russ.).
 44. Papkov B. V. Consumer requirements for the level of energy safety and reliability. *Ekonomicheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i perspektivy. materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = Economic safety of Russia: problems and prospects. materials of the II International Scientific and Practical Conference*. 2014: 328—335. (In Russ.).

Информация об авторах

Вячеслав Георгиевич Бурлов, д-р техн. наук, профессор, и.о. зав. кафедрой информационных технологий и систем безопасности ФГБОУ ВО «РГГМУ», burlovvg@mail.ru.

Максим Алексеевич Полюхович, ассистент, Высшая школа техносферной безопасности, ФГАОУ ВО СПбПУ, mpolyukhovich@gmail.com.

Information about authors

Vyacheslav G. Burlov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, acting head of the department «Information Technologies and Safety Systems», RSHU.

Maxim A. Polyukhovich, Assistant, Higher School of Technosphere Safety, SPbPU.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 24.11.2022

Принята к печати после доработки 25.02.2023

The article was received on 24.11.2022

The article was accepted after revision on 25.02.2023

УДК 378.147:069:94(470.23-25)"1941/1944"

doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-123-126

Из опыта проведения занятий со студентами РГГМУ в Государственном мемориальном музее обороны и блокады Ленинграда

Важнейшая задача кафедры социально-гуманитарных наук — гражданско-патриотическое воспитание студентов РГГМУ. И одним из его направлений является проведение занятий с первокурсниками по дисциплине «История России» на тему «Великая Отечественная война 1941—1945 гг. Ленинградская битва (10 июля 1941 г. — 9 августа 1944 г.). Оборона и блокада Ленинграда» в Государственном мемориальном музее обороны и блокады Ленинграда, расположенном в историческом центре Санкт-Петербурга, на Соляном переулке, дом 9.

В памяти поколений навсегда останется Ленинградская битва, героическая 900-дневная оборона и блокада Ленинграда, ставшая не только частью общественного самосознания, но и достоянием мировой истории. Без преувеличения можно сказать: музей в Соляном переулке является главным музеем, посвященным истории Ленинградской битвы и блокады. В нем всесторонне и наиболее полно нашел отражение тот героический и трагический период в истории нашего Отечества. В настоящее время музей является самым технически оснащенным. Пространство основного экспозиционного зала включает интерактивные киоски, многофункциональные инсталляции с использованием мультимедийного и светового оборудования для демонстрации кадров кино- и фотохроники времен Великой Отечественной войны.

Созданная в декабре 1943 г. по постановлению Военного совета Ленинградского фронта выставка «Героическая оборона Ленинграда» была открыта 30 апреля 1944 г. Она разместилась в здании бывшего Сельскохозяйственного института в 37 залах общей площадью около 40 тыс. м² и первоначально насчитывала 37 865 экспонатов — от скромного солдатского письма и продовольственных карточек до боевых самолетов и танков. В октябре 1945 г. распоряжением Совета Народных Комиссаров РСФСР выставка была преобразована в музей обороны Ленинграда Республиканского значения, который стал единственным в мире военным музеем, созданным в период Второй мировой войны. Однако, начавшееся в 1949 г. «Ленинградское дело» привело к полному уничтожению уникального музея. В этом же году он был закрыт на «реэкспозицию», а к 1953 г. полностью прекратил свое существование. Руководство музея и часть сотрудников были обвинены в извращении хода исторических событий в годы Великой Отечественной войны, в создании мифа об особой, «блокадной» судьбе Ленинграда и игнорировании роли

И. В. Сталина в спасении города на Неве и подверглись репрессиям. Только в сентябре 1989 г. состоялось торжественное открытие возрожденного музея. В настоящее время в его собрании находится более 52 тыс. экспонатов.

Посещение музея студентами РГГМУ спланировано следующим образом. Сначала проходят практические занятия, которые по времени соответствуют двум академическим часам. Для их проведения администрация музея предоставляет один из выставочных залов. После окончания семинаров проводятся (для каждой учебной группы отдельно) экскурсии по экспозиции музея, демонстрируется кино- и фотохроника периода Великой Отечественной войны.

В осеннем семестре 2022/23 учебного года занятия состоялись у студентов Экологического факультета (группы Э-Б22-1-8, Э-Б22-2-8, Э-Б22-3-8 и ВБР Б22-1) и Института гидрологии и океанологии (группы ПО-Б22-1-5 и ПО-Б22-2-5). Проводил занятия и.о. заведующего кафедрой социально-гуманитарных наук, доктор исторических наук, профессор И. А. Кольцов. В докладах, с которыми выступали студенты, рассматривались различные аспекты истории Ленинградской блокады. Евгений Догаев (гр. ПО-Б22-2-5), Анастасия Барсукова (гр. Э-Б22-2-8) и Артем Гуровский (гр. ВБР-Б22-1) в сообщении на тему «Роль «Дороги жизни» в продовольственном снабжении блокадного Ленинграда и эвакуации населения»



Рис. 1. Студенты Экологического факультета на экскурсии в музее.

рассказали не только о продовольственном снабжении города по ледовой трассе и эвакуации по ней ленинградцев (всего по льду Ладожского озера было эвакуировано около 1 млн 367 тыс. человек и доставлено в город свыше 1 млн 615 тыс. тонн различных грузов), но и сообщили сведения о ее сооружении, инженерном обеспечении, роли, которую сыграл трубопровод, проложенный по дну Ладоги, в снабжении города топливом, о телефонно-телеграфном кабеле, обеспечивающем связь с Москвой, и высоковольтном электрическом кабеле (он был проложен осенью 1942 г.), по которому в Ленинград шла электроэнергия с частично восстановленной Волховской ГЭС. Особое внимание было уделено мужеству и стойкости тех, кто обеспечивал в неимоверно трудных условиях бесперебойную работу «Дороги жизни».

Иван Молод (гр. Э-Б22-1-8) и Илья Малеев (гр. ПО-Б22-1-5) в выступлении на тему «Командующий Ленинградским фронтом Леонид Александрович Говоров» привели сведения из биографии полководца, подробно остановившись на том периоде его жизни, когда он командовал Ленинградским фронтом, уделив при этом особое внимание его роли в разгроме фашистских войск под Ленинградом и освобождении города от вражеской блокады. Докладчики сообщили, что в залах музея находятся экспонаты, рассказывающие о жизненном пути Леонида Александровича, знакомство с которыми может дополнить их сообщение.



Рис. 2. Выступление с докладом студента Бурловского Артёма (группа ВБР-Б22-1).

Проблема эвакуации, сохранения и изучения культурных ценностей в условиях блокадного Ленинграда стала темой выступления Марии Кудель (гр. ПО-Б22-2-5) «Сохранение культурных ценностей в блокадном Ленинграде». В нем была освещена роль государственных органов, руководства музеев, рядовых «музейщиков» в деле спасения предметов искусства, их эвакуации. Значительное внимание докладчик уделил деятельности музейных сотрудников, оставшихся в блокадном городе, их нелегкому труду по сохранению неэвакуированных экспонатов Эрмитажа, Русского музея и др. Докладчик сообщил, что ученые не только продолжали изучать, но и пропагандировали культурное наследие среди населения, проводили научные конференции в блокадном Ленинграде.

О самоотверженной работе деятелей ленинградской культуры в условиях блокадного времени рассказали Ксения Артющенко (гр. Э-Б22-1-8) «Культура блокадного Ленинграда», Полина Галимова (гр. Э-Б22-3-8) «Театральная жизнь Ленинграда в годы войны и блокады», Алексей Шахматов (гр. ПО-Б22-1-5) «Музыкальная жизнь блокадного Ленинграда». Примечательно, что выступление Алексея проходило в помещении временной выставки «Симфония звучала...», посвященной исполнению Седьмой симфонии Д. Шостаковича в блокадном Ленинграде 9 августа 1942 г. С интересом был заслушан доклад Катарины Серебрицкой (гр. ВБР-Б22-1) «Ленинградский зоопарк в годы войны и блокады».

Как уже отмечалось, после окончания практических занятий сотрудники музея проводили экскурсии по экспозиции музея. С лекцией об истории создания музея, причинах его закрытия, трагических судьбах первых сотрудников, возрождении и перспективах дальнейшего развития перед студентами неоднократно выступала начальник отдела специальных проектов и связей с общественностью Т. О. Ершова.

О том, что посещение музея вызвало у студентов живой интерес, свидетельствует следующий факт: большинство из них после завершения обязательной программы продолжили самостоятельно осматривать экспозицию. После посещения музея они оставили благодарственные записи в адрес администрации и экскурсоводов в «Книге отзывов посетителей музея».

Обобщение опыта проведения занятий в Государственном мемориальном музее обороны и блокады Ленинграда позволяет прийти к следующему заключению. Занятия в музее в Соляном городке в значительной степени расширяют кругозор студентов, улучшают их способность к осмыслению и всестороннему анализу проблем истории Великой Отечественной войны в целом, обороны и блокады Ленинграда в частности. Благодаря знакомству с музейной экспозицией создаются условия для более продуктивного освоения Отечественной истории. Одновременно развиваются навыки работы с информацией, историческими источниками, способность смотреть на экспозицию глазами того времени. Все это способствует формированию таких социально-духовных ценностей, как патриотизм, гражданственность, интерес к истории Отечества.

*И. А. Кольцов, и.о. зав. кафедрой социально-гуманитарных наук,
доктор исторических наук, профессор, Российский государственный
гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

УДК 378.096

doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-127-148

К 90-летию кафедры океанологии РГГМУ

А. С. Аверкиев, С. В. Лукьянов, В. П. Коровин, А. И. Угрюмов

Аннотация. В настоящей статье представлена краткая история развития первой в мире кафедры Океанологии. Основное внимание уделяется непростому этапу многочисленных усилий ее руководителей в суровые 30-е и 40-е годы XX века. Отражены достижения и главные структурные преобразования различных подразделений вплоть до настоящего времени, перечислена роль ведущих сотрудников. В статье использованы материалы, подготовленные доц. В. П. Коровиным и проф. А. И. Угрюмовым к разным юбилеям РГГМУ, но которые так и не были опубликованы, а их авторов, к сожалению, уже нет в живых. Поэтому, отдавая дань их большому творческому труду и восстанавливая справедливость, было решено включить их в состав авторов данной статьи. Также приводятся сведения по некоторым практикам студентов Океанологического факультета, ибо ссылаться на каждую из них означало бы многократное увеличение объема текста. Поэтому авторы статьи заранее просят извинения и надеются на понимание в данном вопросе, т. к. каждый наш сотрудник или выпускник без труда узнает свои материалы.

Этапы истории

В июле 1930 г. в Москве на основе математического Отделения физико-математического факультета (цикл геофизики) Московского государственного университета был организован Московский гидрометеорологический институт — первый в мире вуз по подготовке инженеров-гидрометеорологов. Основателями океанологической специальности стали профессор Н. Н. Зубов и профессор (впоследствии академик) В. В. Шулейкин. По инициативе этих видных океанологов в МГМИ в 1932 г. были образованы кафедры Океанологии и Физики моря. Поэтому 1932 г. мы считаем годом основания кафедры и океанологической специальности в нашем университете. Найти наиболее рациональные пути развития специальности и дисциплин было очень трудно, так как два этих крупных ученых находились в непростых личных отношениях.

В 30-е годы прошлого века при составлении учебных планов и программ возникло много неясностей. Это вынудило впоследствии разработать единую систему подготовки океанологов, для чего в Ленинграде уже в конце 40-х гг. на кафедру океанологии был приглашен В. В. Тимонов, который к тому времени уже имел репутацию известного ученого. С его помощью и был составлен учебный план подготовки океанологов в нашем вузе, который в основе сохраняется и до сих пор.

Биографии и деятельность основателей отечественной океанологии и ведущих нашей кафедрой являются отдельными и интереснейшими историями, но коротко скажем о каждом из них.

Николай Николаевич Зубов (1885—1960 гг.) — отечественный океанолог, исследователь Арктики, профессор (1930 г.), инженер контр-адмирал (1945 г.). В 1904 г. окончил Морской корпус, а в 1910 г. — Морскую академию. Участвовал в 1904—1905 гг. на миноносце «Блестящий» в русско-японской войне. Во время I Мировой войны служил на Балтийском флоте, одновременно читая в штурманском офицерском классе созданный им курс тактической навигации. Позднее



Н. Н. Зубов (1885—1960).



В. В. Шулейкин (1895—1979).

занимался научной работой в области океанологии. Участвовал в организации Плавморнина и его работах по исследованию Арктики. Внес большой вклад в теорию физической океанологии, разработку методики океанологических наблюдений и обработки данных. Заведовал кафедрой океанологии в Московском государственном университете (МГУ).

Василий Владимирович Шулейкин (1895—1979 гг.) — отечественный гидрофизик, академик АН СССР (1946 г.). Окончил Московское высшее техническое училище (1916 г.), преподавал там же с 1918 г. (профессор в 1923—1929 гг.), одновременно работал в институте физики и биофизики (1920—1931 гг.). Организатор и директор Черноморской гидрофизической станции в Кацивели (1929—1941 гг.) и Морской гидрофизической лаборатории АН СССР (1942 г.). В 1942—1945 гг. работал в Гидрографической службе ВМФ, в 1945—1947 гг. в Военно-морской академии им. А. Н. Крылова. С 1943 г. заведующий вновь организованной им кафедры физики моря на физическом факультете МГУ. С 1948 г. работал в организованном им Морском гидрофизическом институте АН СССР (в 1948—1957 гг. — директор).

Вскоре после начала Второй Мировой войны (1941 г.) МГМИ был преобразован в Высший военный гидрометеорологический институт Красной Армии (ВВГМИКА), а профессора Н. Н. Зубов и В. В. Шулейкин отозваны в распоряжении Главного Штаба ВМФ. В октябре 1941 г. ВВГМИКА был эвакуирован в Ленинабад, где, конечно, возникли трудные условия для океанологической специальности из-за нехватки квалифицированных специалистов-преподавателей. Обе океанологические кафедры были объединены в одну — кафедру океанологии, которую возглавил бывший тогда ассистентом А. Д. Добровольский, позднее профессор МГУ. В июле 1943 г. институт вернулся в Москву и,

проведя там 1943/44 учебный год, в ноябре 1944 г. был переведен в г. Ленинград. В сентябре 1945 г. ВВГМИКА был преобразован в гражданский вуз и получил название Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ).

В это же время возникли проблемы с подбором преподавателей в фактически новый ленинградский вуз. Из Москвы переехали в основном лишь военнослужащие, а гражданские, среди которых были и крупные ученые, остались в Москве. Дело усугублялось еще и тем, что в это время многие научные учреждения и вузы Ленинграда, среди которых можно было найти нужных преподавателей, находились в эвакуации. Особенно пострадала в этом отношении океанологическая специальность. Кафедра океанологии существовала лишь номинально, фактически без сотрудников. Ее нужно было создавать заново. И только стараниями бывшего тогда ректора ЛГМИ В. И. Полтавцева и начальника Военного факультета А. А. Клуникова удалось в самый короткий срок привлечь на штатные должности на кафедру океанологии известных специалистов: В. А. Березкина, А. П. Белоброва, К. И. Кудрявую, В. А. Снежинского, В. В. Тимонова, а несколько позднее Д. Б. Карелина.

Первым заведующим кафедры океанологии после переезда в Ленинград стал В. А. Березкин. Всеволод Александрович Березкин (1899—1946 гг.) — инженер-контр-адмирал, профессор, доктор географических наук, известный океанолог, исследователь Арктики. Окончил в 1924 г. географический факультет Ленинградского Университета, а в 1928 г. — Военно-морскую академию. Участник многих научных экспедиций. Преподавал в Военно-морской академии. После неожиданной смерти В. А. Березкина в 1946 г. на должность заведующего кафедрой океанологии был приглашен В. В. Тимонов, с именем которого неразрывно связаны окончательное становление и расцвет кафедры.

Всеволод Всеволодович Тимонов (1901—1969 гг.) — профессор, доктор технических наук, родился в Петербурге. В 1918 г. окончил Детское сельское реальное училище, а в 1930 г. — факультет водных сообщений Института инженеров путей сообщения. В 1921 г. Тимонов начал свою деятельность по изучению гидрологии Белого моря, совмещая учебу с работой в морском отделе ГГИ. В 1925—30 гг. он по совместительству работал гидрологом в Институте по изучению Севера. Его дальнейшая деятельность связана в основном с морским отделом ГГИ, в котором он, являясь ближайшим сотрудником и последователем К. М. Дерюгина, осуществлял развернутые исследования отечественных морей. В 1937 г. ему без защиты была присвоена ученая степень кандидата технических наук, а в 1938 г. — звание старшего научного сотрудника.

Основной областью интересов В. В. Тимонова в эти годы являлось изучение гидрологического режима морей России, среди которых особое место занимало Белое море. Исследовались характеристики глубинных течений, водообмен в проливах и тепловой баланс Белого



В. В. Тимонов (1901—1969).

моря. Другим направлением работы явилось совершенствование методов океанологических исследований. Тимонов был основателем и научным руководителем Беломорской методической станции в Умбе, принадлежащей ГТИ, на которой проводились разнообразные методические исследования, а также руководителем методической секции морского отдела ГТИ. Методическое направление Тимонов развивал при решении любых задач — будь то проблема измерения течений (в 30-е годы он занимался измерением пульсаций течений), или исследование льдов в море (использование стереофотосъемки для определения характеристик льда в море, прогноз и т.д.) или изучение проблем приливов в море.

Во время Великой Отечественной войны В. В. Тимонов работал в Архангельске, обеспечивая военно-морские операции нашего флота специальными гидрометеорологическими и другими практическими пособиями. После войны он работал в Государственном океанографическом институте начальником отдела прикладной океанологии, руководил обширными научными и экспедиционными исследованиями на северных и восточных морях СССР. Результаты этих работ воплощены в ряде атласов и монографий, одна из которых стала докторской диссертацией В. В. Тимонова. В 1951 г. В. В. Тимонову была присуждена Государственная премия за работы в области морской техники, в 1952 г. присвоена степень доктора технических наук, а в 1954 г. — звание профессора.

Большое место в жизни В. В. Тимонова занимала педагогическая деятельность, которую он начал в 1937 г. в Гидрографическом институте Главсевморпути (ныне Государственная морская академия им. адмирала С. О. Макарова), с 1938 г. он преподавал в Ленинградском государственном университете.

В 1946 г. В. В. Тимонов был приглашен на заведование кафедрой океанологии ЛГМИ. Надо сказать, что в это время кафедра океанологии существовала лишь номинально с малым числом сотрудников, поэтому именно на него легла основная тяжесть и ответственность по ее организации. Его работа на кафедре проходила как бы в два этапа. На первом этапе он заведовал кафедрой до 1948 г. Основное усилие в этот период Всеволод Всеволодович направил на формирование коллектива преподавателей и на разработку учебных планов, которые предусматривали изучение таких специальных дисциплин, как морская гидрометрия, океанология, региональная океанология, физика моря, динамика моря, морские прогнозы, гидрография, кораблевождение, мореходная астрономия. Много внимания он уделял привлечению студентов к научно-исследовательской деятельности. По его инициативе в 1946 г. в институте появилось студенческое научное общество, его руководителем стала К. И. Кудрявая, в это время на кафедре стали работать А. П. Белобров, А. И. Дуванин, Н. И. Евгенов, А. А. Клунников, В. И. Саврасов, И. М. Соскин. В начале 1948 г. В. В. Тимонов неожиданно возвращается в Ленинградское отделение Государственного океанографического института (ЛЮ ГОИН), оставив после себя заведующим кафедрой океанологии Н. И. Евгенова.

В это время В. В. Тимонов также ведет преподавательскую деятельность на кафедре океанологии в Ленинградском университете. По-видимому, этот переход из ЛГМИ можно объяснить двумя причинами. Во-первых, он вынужден был это сделать из-за участия в работах прикладного характера для нужд военно-морского

флота, тем более, что именно по окончании этого периода В. В. Тимонов стал лауреатом Государственной премии, он был награжден орденом Ленина и защитил докторскую диссертацию. Во-вторых, нельзя забывать способность Всеволода Всеволодовича приходить на помощь людям в случае необходимости. Дело в том, что Н. И. Евгенов был необоснованно репрессирован, а решение о его реабилитации будет принято только в середине 50-х годов. Естественно, о переводе Н. И. Евгенова из Архангельска и тем более о принятии его на работу не могло быть и речи. Несмотря на огромный авторитет, который был у Всеволода Всеволодовича в период II Мировой войны, когда он работал на Белом море, среди военно-морских кругов и органов власти Архангельска, ему стоило большого труда разрешить Н. И. Евгенову переезд в Ленинград и поступить на преподавательскую работу в ЛГМИ. Так как репрессированному Н. И. Евгенову устроиться на работу было практически



Н. И. Евгенов
(1888—1964).



Сотрудники, аспиранты и студенты кафедры океанологии ЛГМИ на заседании научного кружка в 1949 г.: Н. И. Евгенов в центре. М. А. Валерианова, А. П. Алексеев, Б. И. Тюрjakов, К. К. Дерюгин, Е. И. Серяков, К. В. Кондратович.

невозможно, В. В. Тимонов, по-видимому, уступил ему свое место заведующего кафедрой. После чего, спустя некоторое время, во второй половине 1950 г. Евгений был принят на работу в ЛО ГОИН старшим научным сотрудником.

Николай Иванович Евгений (1888—1864) — отечественный гидрограф и океанограф, исследователь Арктики, доктор географических наук (1937 г.), профессор. Окончил Морской корпус в 1909 г. Был участником многих полярных экспедиций. В 1933—38 гг. являлся заместителем начальника Гидрографического управления Северного морского пути.

В середине 1950 г. произошла смена заведующего кафедрой океанологии. Профессор Н. И. Евгений перешел на работу в ЛО ГОИН, а заведующим кафедрой стал Д. Б. Карелин. Дмитрий Борисович Карелин (1913—1953 гг.) — профессор, доктор географических наук, участник многих арктических экспедиций, почетный полярник. В 1930 г. окончил Педагогический техникум в Боровичах, затем курсы техников при Институте лесосплава и курсы старших техников при Гипроводтрансе. С 1935 г. сотрудник ААНИИ. В 1944 г. защитил кандидатскую, а в 1948 г. — докторскую диссертацию. Но 22 декабря 1953 г. Д. Б. Карелин, будучи еще молодым человеком, в расцвете своих творческих сил, таланта и возможностей, скоропостижно скончался. Это была большая потеря не только для кафедры океанологии ЛГМИ, которая при нем стала приобретать черты самостоятельного и слаженного научного коллектива, но и для всей арктической науки.

Второй, основной период деятельности В. В. Тимонова на кафедре начался в 1954 г. и продолжался вплоть до его кончины в 1969 г. За это время им было внесено много ценных предложений и осуществлены определенные практические мероприятия в части улучшения учебной работы. В. В. Тимонов развернул на кафедре большую научно-исследовательскую работу, что способствовало повышению качества подготовки инженеров-океанологов и привело к увеличению штатного преподавательского и научного состава. Преподавательский состав кафедры пополнился бывшими аспирантами В. В. Тимонова — Л. А. Жуковым и Б. И. Тюряковым (выпускниками еще военного факультета ЛГМИ), М. А. Валериановой. Несколько позднее в состав кафедры вошли К. К. Дерюгин, Г. Р. Рехтзамер, Е. И. Серяков, Б. Я. Тамашунас, Л. Ф. Титов, а в 60-е годы — Л. И. Борис, В. Г. Бухтеев, Б. А. Каган, И. П. Карпова, А. В. Некрасов, ставшие ведущими преподавателями кафедры и впоследствии океанологического факультета.

На кафедре были подготовлены новые учебные дисциплины, такие как прикладная океанология, морские гидрологические прогнозы, были созданы лаборатория электромоделирования океанологических процессов (В. А. Макаров, А. Б. Мензин), учебное бюро морских гидрологических прогнозов (Е. И. Серяков). При подготовке новых учебных планов В. В. Тимонов привлекал к их обсуждению не только профессорско-преподавательский состав, но и крупных специалистов. Он осуществлял на практике прогрессивную идею о сочетании учебной и научной работы в учебном процессе. На кафедре были созданы научные группы, в состав которых входили преподаватели, аспиранты, инженеры, студенты-стажеры и старшекурсники, что было очень важным начинанием и конкретной формой сочетания учебной и научной работы в вузе.

По инициативе В. В. Тимонова в ЛГМИ в течение ряда лет существовала система стажеров-исследователей, когда только для наиболее способных студентов-океанологов по разрешению Минвуза РСФСР учеба в институте продлевалась на один год. Этот год студент занимался по индивидуальному плану научно-исследовательской, в том числе и экспедиционной работой под руководством наиболее опытных преподавателей. После прохождения годичной стажировки студенты-океанологи получали хорошие навыки в организации и проведении экспедиционных работ, причем на своих материалах наблюдений выполняли курсовые и дипломные работы.

К концу 50-х годов В. В. Тимонов создал целую систему приемов обобщения и анализа сведений о приливных явлениях, названную им кинематическим анализом приливов, которая явилась новым этапом в развитии изучения приливов. При этом по существу впервые возникла возможность объективного объединения данных береговых наблюдений в единую приливную карту с правильным учетом особенностей, обусловленных волновой природой рассматриваемого явления. Описанные методы изогипс и изалогипс позволяли построить приливные карты высокой точности.

Начиная с 1956 г. В. В. Тимонов развернул в ЛГМИ комплексные исследования по проблеме взаимодействия океана и атмосферы. Вначале он организовал межкафедральную лабораторию по данной тематике, а позднее и проблемную лабораторию взаимодействия океана и атмосферы, которые работали в тесном научном контакте с кафедрами ЛГМИ по единой и достаточно широкой тематике, при этом учитывались интересы и возможности многих преподавателей ЛГМИ. Результаты исследований, выполненных в ЛГМИ в данный период, получили признание во всей стране и нашли свое отражение в организации трех всесоюзных конференций, издании их трудов и серии атласов. Все это выполнялось по инициативе, под руководством и при самом активном участии В. В. Тимонова. Проблемная лаборатория, как самостоятельное научное подразделение ЛГМИ, существовала до 90-х гг., в ее составе занимались научными исследованиями многие преподаватели и сотрудники, ставшие впоследствии преподавателями и руководителями факультета и кафедр (А. В. Некрасов, Н. И. Плинка, А. С. Аверкиев, Т. Р. Еремина и др.).

К сожалению, после кончины В. В. Тимонова были сделаны некоторые изменения в организационном и научном руководстве проблемной лабораторией, которые привели к ее отрыву от кафедр института, самоизоляции и последующем закрытии.

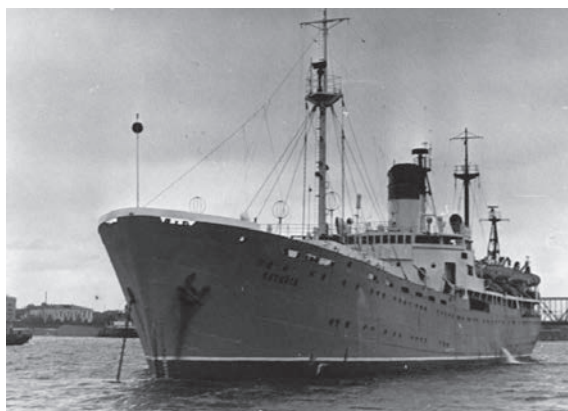
В. В. Тимонов утверждал, что инженеры-океанологи, по существу, являются исследователями океана, и готовить их надо не просто как инженеров, а как инженеров-исследователей, для чего необходимо повысить научное начало в подготовке студентов, развивать их творческие способности. Эта идея осуществлялась путем прямого сочетания теоретической подготовки и экспериментальных работ студентов, то есть претворялась в жизнь его идея «корабль-вуз». Большого труда стоило В. В. Тимонову, чтобы Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР своим решением ввело в эксплуатацию в августе 1960 г.

учебно-научное судно (УНС) «Батайск», на котором была организована постоянно действующая межвузовская экспедиция. УНС «Батайск», водоизмещением 6830 т, принадлежало Мурманскому высшему мореходному училищу. На судне были созданы учебные штурманские рубки, ряд прекрасно оборудованных лабораторий, аудитории для проведения занятий, библиотека. Все это позволяло проводить на судне как научно-исследовательские экспедиционные исследования различными мореведческими вузами и НИИ, так и учебные и производственные практики студентов и курсантов многочисленных специальностей, связанных с морем.

Комплексные экспедиционные исследования на УНС «Батайск» проводились по ведомственным и межведомственным программам в Балтийском, Баренцевом, Белом, Гренландском, Норвежском, Северном, Средиземном и Черном морях и в северной части Атлантического океана. За время его эксплуатации с 1960 по 1966 г. судно совершило 26 рейсов. Руководителями отдельных рейсов были представители различных вузов: Е. И. Портнов (МВМУ), Б. Я. Тамашунас, К. К. Дерюгин, Г. Р. Рехтзамер, Б. И. Тюряков, А. В. Некрасов, В. Г. Максимов, В. Г. Бухтеев (ЛГМИ), В. М. Земляков (ОдГМИ), В. А. Вагин (КГУ), М. М. Ермолаев, А. К. Леонов (ЛГУ), А. И. Дуванин (МГУ) и др. На «Батайске» органически сочетались теоретические и экспериментальные работы, сотрудничество и дружба студентов и преподавателей многих вузов, работников НИИ. «Батайск» был прекрасной морской школой для студентов, на нем выросли, сформировались и приобрели вкус к исследовательской работе многие специалисты. Вдохновителем и организатором работ на «Батайске» был В. В. Тимонов.

К сожалению, очень заманчивая и плодотворная идея В. В. Тимонова «корабль-вуз», в роли которого в течение ряда лет довольно удачно выступал «Батайск», оказалась со временем Минвузу РСФСР совсем «не по карману», и «Плавучий институт» прекратил свое существование, а само судно было передано другому ведомству.

В 1958 г. на кафедре появилась группа подводных исследований. Ранее, в 1957 г. В. В. Тимонов привлек на кафедру А. В. Майера (океанолог, выпускник



Учебно-научное судно (УНС) «Батайск» с 1960 по 1966 г. совершило 26 рейсов.

ЛГУ), выяснив, что последний обладал специальностью водолаза, полученной им на флоте во время Великой Отечественной войны. Тимонов поручил Майеру определить наиболее реальные по тому времени направления развития методов подводных исследований и их осуществление на профессиональной основе, а также подготовить группу студентов, готовых принять в этом участие. И уже в следующем году четверо студентов-энтузиастов во главе с Майером отправились на Азовское и Черное моря для проведения первых экспериментальных работ. Тогда же в институте были организованы курсы по подготовке водолазов и сформирована группа подводных исследований во главе с А. В. Майером.

В 1969 г. Тимонов и Майер добились в Минвузе РСФСР разрешения на создание в ЛГМИ учебной лаборатории подводных исследований (УЛПИ). Создание этой лаборатории — еще один наглядный пример того, что В. В. Тимонов был удивительно чуток ко всему новому в науке и умел безошибочно определять в этом новом большие перспективы в будущем. Сотрудники проводили важные исследования, связанные с разработкой новых методов наблюдений под водой. В лаборатории была создана целая серия экспериментальных установок для производства фотосъемок в малопрозрачной воде, а также фото- и киноаппаратура для подводных съемок.

Большое значение в работах группы подводных исследований занимала разработка и использование серии обитаемых подводных лабораторий «Садко». В первом варианте «Садко-1», установленной в 1966 г. вблизи Сухуми на глубине 12 м, был проведен эксперимент по кратковременному (6 часов) пребыванию акванавтов под водой. При эксплуатации «Садко-2» в 1967 г. акванавты В. М. Мерлин и Н. Н. Немцев провели под водой уже 9 суток, из них 5 суток на глубине 25 м, при этом акванавты, выходя из подводной капсулы, погружались в аквалангах до глубины 50 м. В 1969 г. для проведения биологических и биоакустических исследований был использован «Садко-3», который был снабжен сетчатой вольерой для запуска туда рыб. Акванавты В. С. Беззаботнов, А. В. Игнатьев и Е. В. Савченко проводили наблюдения за поведением рыб и регистрировали издаваемые ими звуки.

В 1965 г. В. В. Тимонову удалось договориться о передаче ЛГМИ одной военно-морской частью морского буксира-спасателя «Капитан Трефолов», водоизмещением 640 т. По предложению Тимонова судно получило новое имя «Нерей» (древнегреческое морское божество, олицетворение спокойного моря) и было переоборудовано для проведения океанографических и подводных исследований.

В 1966 г. Тимонов совершил поездку во Францию, где состоялась его знаменательная встреча с Ж. И. Кусто. Результатом этой встречи был ответный визит специалистов из «команды Кусто» (Дюма, Алина, Биске), которые посетили ЛГМИ, УЛПИ и «Нерей». В результате этих встреч была согласована программа совместных работ в районе Лионского залива с использованием французского подводного аппарата «Приконтинент-IV» и обеспечивающего судна ЛГМИ «Нерей».

Были получены официальное одобрение и поддержка Госкомитета по науке и технике при СМ СССР. Первая комплексная экспедиция на «Нерею» должна



НИС «Нерея».

была отправиться в Средиземное море летом 1968 г. К сожалению, совместная советско-французская экспедиция на «Нерее» не осуществилась по ряду причин как объективного, так и субъективного характера. Так, Госкомитет по науке и технике поручил выполнение этого договора Институту океанологии АН. К сожалению, дирекция института направляет в Средиземное море НИС «Сергей Вавилов», предназначенное для проведения только стандартных океанографических работ, то есть это судно не обладало возможностями «Нерея»: не имело буксировочного устройства, водолазного комплекса, да и самих водолазов. ЛГМИ оказался не в состоянии выполнить международный договор. Исходя из этого, Кусто не принял к работам НИС «Сергей Вавилов», что привело к срыву этого международного соглашения. Деятельность группы подводных исследований в лаборатории продолжалась в течение 70-х и 80-х гг., но в результате последовавших реорганизаций и сокращений к началу 90-х гг. ее работа получала все меньше поддержки.

Важнейшей тематикой научных исследований кафедры океанологии и лаборатории являлось также взаимодействие океана и атмосферы. Поэтому в Лаборатории, как сказано выше, были объединены теоретические и экспериментальные исследования, работали группы исследователей разных направлений, и в начале 70-х гг. она получила полное название «Проблемная лаборатория взаимодействия океана и атмосферы и подводных исследований» и просуществовала до начала 90-х гг.

НИС «Нерея» в основном переключился с подводных исследований на проведение чисто океанографических работ. Кроме того, на нем проводились учебные и производственные практики студентов-океанологов. Все это явилось продолжением идеи совмещения обучения с экспедиционными исследованиями и предпосылкой появления в дальнейшем «Плавучего Университета». За время эксплуатации судна в 1968—1982 гг. океанографические исследования на нем проводились в Балтийском, Норвежском, Северном, Средиземном и Черном морях и Атлантическом океане. Только в Атлантический океан было совершено 11 экспедиционных рейсов. За время выполнения работ было получено много интересных

результатов по гидрологическому режиму исследуемых акваторий, проводились экспериментальные исследования и испытывалась новая океанографическая аппаратура, разработанная в ЛГМИ и различных мореведческих НИИ. Большинство студентов-океанологов ЛГМИ в этот период получили первые навыки экспедиционных океанографических работ именно во время плаваний на «Нерее».

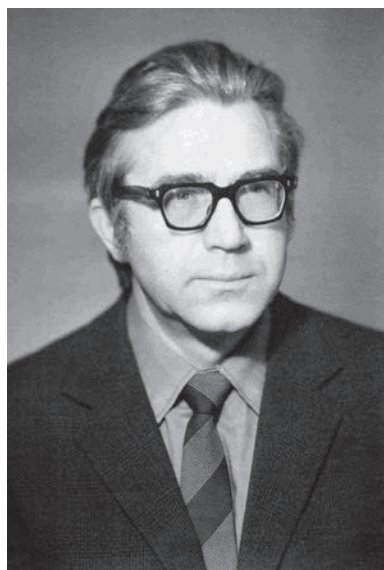
В 1966 г. прием студентов на океанологическую специальность был увеличен в два раза, на каждом новом курсе с этого года стало две учебные группы по 25 человек. Несмотря на двукратное увеличение численности студентов, кафедра не испытывала проблемы в их наборе. На специальность «океанология» был сумасшедший конкурс, в отдельные годы сравнимый с конкурсом в театральные институты. К 1967 г. кафедра океанологии (единственная, готовящая специалистов инженеров-океанологов) из сравнительно небольшой по составу превратилась в довольно крупный учебно-научный коллектив, насчитывающий около 50 преподавателей и научных сотрудников.

В 1968 г. разросшаяся кафедра океанологии была разукрупнена, и из нее была выделена еще одна специальная кафедра — кафедра методов океанологических исследований (МОИ). Ее возглавил Константин Константинович Дерюгин (1912—1974 гг.). Он родился в Ленинграде в семье известного ученого-океанолога К. М. Дерюгина. Окончив среднюю школу, он поступил учиться на географический факультет ЛГУ по специальности «океанография». После окончания университета работал в ряде морских организаций. Принимал участие в организации перехода большой группы военных кораблей из Таллинна в Кронштадт в 1941 г. (Таллинский переход). Во время блокады Ленинграда в 1941—1944 гг. был начальником отряда по исследованию ледовой трассы Дороги Жизни. С 1946 г. по 1949 г. работал директором Балтийской морской гидрометеорологической обсерватории. В 1949—1958 гг. был старшим научным сотрудником ЛОГОИНа и по совместительству преподавал на кафедре океанологии ЛГМИ. В 1959 г. перешел на постоянную работу в должности доцента кафедры океанологии ЛГМИ. В 1962—1968 гг. декан гидрологического факультета ЛГМИ. С 1969 г. по 1974 г. заведующий кафедрой МОИ. К. К. Дерюгин был участником большого количества океанографических экспедиций, автором большого количества научных публикаций, включая монографии, учебники и учебные пособия.

В состав новой кафедры вошли преподаватели: А. А. Клунников, В. П. Коровин, А. В. Некрасов, Г. Р. Рехтзамер, И. А. Степанюк, Б. Я. Тамашунас, Е. И. Чверткин. После безвременной



К. К. Дерюгин (1910—1974).
Зав. кафедрой МОИ
в 1968—1974 гг.



Ю. П. Доронин (1926—2011).
Зав. кафедрой океанологии
1970—2001 гг.
С 1972 по 1980 г. ректор ЛГМИ.

кончины К. К. Дерюгина на должность заведующего кафедрой МОИ был избран доктор технических наук, профессор Б. Н. Беляев, который проработал в этой должности с 1974 г. по 1981 г., когда из-за возникших разногласий кафедра МОИ была расформирована.

В период с 1972 по 1980 г. ректором института был Ю. П. Доронин. До 2001 г. он возглавлял кафедру океанологии, уделяя много внимания развитию материально-технической и лабораторной базы, обеспечивающей учебный процесс и научные исследования. Он пришел в институт из ААНИИ уже вполне сформировавшимся ученым и со свойственной ему неутомимой энергией активно включился в научную и педагогическую деятельность. Можно сказать, что ему удалось создать свою научную школу в области исследования гидрологических и ледовых процессов.

23 июня 1969 г. Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР своим постановлением утвердило организацию в ЛГМИ третьего факультета — Океанологического, первого и единственного подобного факультета в учебных заведениях не только нашей страны, но и всего мира. Большая заслуга в организации этого нового факультета также принадлежит В. В. Тимонову, который много усилий приложил к осуществлению этой идеи. И поэтому с полным основанием можно сказать, что Океанологический факультет Российского гидрометеорологического университета является его славным детищем. К сожалению, Всеволоду Всеволодовичу не удалось несколько дней дожить до официальной организации нового факультета. Факультет успешно существовал около 50 лет, до 2019 г, когда в процессе реформирования структуры РГГМУ был объединен с Гидрологическим факультетом в Институт гидрологии и океанологии.

В 70—80-е гг. кафедра океанологии являлась базовой кафедрой Океанологического факультета, большинство выпускников успешно начинали работать в учреждениях Гидрометслужбы, Академии наук, Министерства рыбного хозяйства, служить в ВМФ и Воздушных силах Советской Армии. На кафедре вели преподавательскую и научную деятельность профессора Ю. П. Доронин (ректор РГГМУ), Л. Ф. Титов, А. В. Некрасов, Ю. В. Николаев, И. А. Степанюк, К. Е. Сазонов; доценты и ассистенты Е. И. Серяков, Б. Н. Тюряков, Л. Н. Кузнецова, В. Г. Бухтеев, И. П. Карпова, В. А. Макаров, А. Б. Мензин, К. Д. Крейман, В. И. Сычев, Л. Н. Карлин (впоследствии ставший ректором РГГМУ), Е. Ю. Клейков, П. П. Провоторов и др.

В процессе преобразований и реформ на Океанологическом факультете вместе с кафедрой океанологии формировались и закрывались другие кафедры:



УЭС «Профессор Сергей Дорофеев».

гидрохимии и охраны природных вод; динамики океана; промысловой океанологии; комплексного управления прибрежными зонами, кафедра ЮНЕСКО. Их возглавляли соответственно Ю. И. Ляхин, Н. П. Смирнов, А. В. Некрасов, Л. Н. Карлин, Н. Л. Плинк, В. И. Сычев. Состав этих кафедр менялся за счет переходов сотрудников между кафедрами, а также привлечения ученых из других организаций и, конечно, перспективных молодых кадров.

На факультете и его новых кафедрах продолжались подготовка специалистов-океанологов нескольких профилей, проводились научно-исследовательские работы на берегу и экспедиционные исследования в море. Так, в 1976 г. в Польше на воду было спущено судно зверобойная шхуна-траулер (проект В422) «Профессор Дорофеев», которое в 1982 г. было передано ЛГМИ, и в качестве учебно-экспедиционного судна (УЭС) заменило «Нерей». УЭС «Профессор Сергей Дорофеев» после переоборудования с 1984 по 1992 г. выполнило около 20 учебных и научных рейсов в Балтийском, Баренцевом, Карском, Норвежском морях и Северной части Атлантического океана.

В 1970—80-е гг. преподаватели, сотрудники и студенты кафедры океанологии и всего факультета активно участвовали в теоретических и экспедиционных исследованиях по Международным программам «Тропэкс», «Полэкс-Север» и «Полэкс-Юг», «Разрезы», в 1990-е и 2000-е гг. в Федеральной целевой программе «Мировой океан».



Царев В. А.
Зав. кафедрой в 2002—2018 гг.



Лукьянов С. В.
Зав. кафедрой в 2018—2022 гг.



Кафедра океанологии, октябрь 2019 г. (слева направо): Лукьянов С. В., Коровин В. П., Сычев В. И., Завилов И. М., Царев В. А., Подрезова Н. А., Фролова Н. С., Щербаков Ю. Е., Шевчук О. И., Мартын И. А.

В последние 20 лет заведующими кафедрой океанологии были: В. А. Царев — с 2002 по 2018 г., С. В. Лукьянов — с 2018 по 2022 г., Д. В. Густоев — в наст. время.

В начале 2020 г. численный состав кафедры океанологии состоял из 10 человек: профессор В. А. Царев, доценты В. П. Коровин, С. В. Лукьянов, О. И. Шевчук, Н. А. Подrezова, ст. преп. Н. С. Фролова, асс. И. А. Мартын, зав. лабораториями Ю. Е. Щербаков, И. М. Завилович.

Важнейшей составляющей учебного процесса при подготовке специалистов океанологов традиционно остаются учебные практики. После первого курса это летняя практика по Морской гидрометрии, Морскому делу и Навигации.

На втором курсе две практики: Зимняя ледовая практика и Летняя учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков научно-исследовательской деятельности в морских экспедиционных исследованиях.

Исторически практики были выездными и проходили в разных местах:

1-й курс — о. Западный Березовый, г. Выборг, Ладожское озеро, Ивановский карьер;

2-й курс, зима — Ладожское озеро, Кандалакшский залив, г. Сестрорецк, г. Ломоносов;

2-й курс, лето — шхуна «Надежда», у/н «Батайск», эос «Створ», г/с «Галс», шхуна «Ленинград», НИС «Нерей», УЭС «Профессор Сергей Дорофеев», г/с «Сибиряков», г/с «Матусевич», г/с «Персей», ОИС «Адмирал Владимирский», мпс «Дрейф и «Кречет», буксир «Байкал-2», буксир «Соболец», судно «Мария», «Экопатруль-2», РВК 485, судно «Акванавт», а также парусные яхты «Звезда», «Маньяна», «Баллада», катамараны «Оринтс» и «Центаурс-II».



Густоев Д.В.
Зав. кафедрой с 2022 г.



Ледовая практика, Приморск, 2005 г.
Извлечение «кабана».



Ледовая практика, Приморск, 2005 г.
Н. В. Кубышкин ведет занятие по определению прочности льда.



Летняя учебная практика,
Приморск, 2004 г. Отбор проб,
судно «Экопатруль-2».



Летняя учебная практика,
Приморск, 2007 г.
Притирка батометров.



Летняя учебная практика, Приморск,
судно «Акванавт», 2018 г.
Отбор проб. Татаренко Ю. А., Трясцына Д. М.



Летняя практика, Приморск, судно «Акванавт», 2018 г. Слева направо: Акценина А. П.,
Маричев М. Н. (капитан), Рахматуллина А. Р., Ушакова М. В., Трясцына Д. М.,
Чижов Д. А., Балобанова О. И., Лукьянов С. В., Щербаков Ю. Е., Татаренко Ю. А.

Именно выездной характер учебных практик позволяет студентам получить полезные и глубокие профессиональные навыки, укрепить свою веру в выборе правильного направления в получении высшего образования и изучить физико-географические особенности морей и их прибрежных зон. В конечном итоге это позволяет устроиться в хорошую научную и производственную организацию, где в процессе выполнения различных проектов решаются важные для страны задачи. Проще это продемонстрировать кратким перечнем наших выпускников.

Выпускники-океанологи, которыми гордится РГГМУ

К сожалению, у нас мало сведений о выпускниках довоенного и первого послевоенного времени. Но можем уверенно говорить, что наши выпускники трудились практически во всех учреждениях гидрометеорологического профиля, а также были востребованы на международном уровне. Многие из них добились больших научных успехов, стали видными организаторами научно-производственной и учебной деятельности. Даже по приближенной прикидке только докторами наук стало около 50 человек. Перечислить всех нет возможности, поэтому просим понимания в данном вопросе. Мы отобрали десять выдающихся, на наш взгляд, выпускников кафедры. Вполне возможно, не все могут согласиться с этим списком. Но это наш выбор.

Но прежде мы хотим отметить заслуги людей, которые не защищали диссертаций и не получили научных степеней и ученых званий. Это сотрудники учебно-вспомогательного персонала. Они каждого студента персонально «натаскивали» и готовили для выполнения океанологических работ, даже не предполагая, что потом появятся великие ученые. Всем им низкий поклон и глубочайшее уважение. Чтобы никого не обижать, отметим их всех в лице бесконечно преданного своему делу моряка-океанолога, заведующего учебной лабораторией Юрия Ефимовича Щербакова, который вплоть до своей кончины оставался на «боевом посту» в учебной лаборатории. Мы абсолютно уверены в его неоспоримом авторитете.



Щербаков Юрий Ефимович. Выпуск 1970 г. Родился 7 декабря 1941 г. Свою трудовую деятельность он начал в 1959 г. слесарем-сборщиком на Балтийском заводе. После окончания службы в Советской армии в 1963 г. работал на одном из предприятий ВПК сборщиком приборов, откуда и поступил в 1965 г. в Ленинградский гидрометеорологический институт. После окончания института в 1970 г. Щербаков Ю. Е. пять лет был инженером в одной из воинских частей. Далее работал в ЛГМИ в должности старшего инженера научно-исследовательского сектора, а с 1983 г. заведовал Учебно-исследовательской лабораторией кафедры Океанологии. Ушел из жизни в 2021 г.

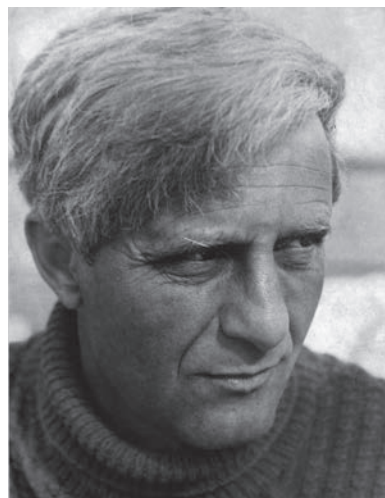
Ниже приводится список и краткие сведения о жизни и достижениях выдающихся выпускников кафедры океанологии в порядке окончания ими вуза.



Добровольский Алексей Дмитриевич.

Выпуск 1931 г. Доктор геогр. наук (1948), профессор, почетный полярник, дважды лауреат Государственной премии, Родился 4 июля 1907 г. в Москве. В 1928 г. поступил на физико-математический факультет Московского университета, избрав для себя специализацию по геофизике, но затем проявил склонность к мореведению и поступил в МГМИ. После окончания МГМИ был направлен в Феодосию на должность старшего гидролога Гидрометеорологического института Чёрного и Азовского морей. Одновременно с работой в институте в 1932—1934 гг. преподавал в Феодосийском гидрометеорологическом техникуме. В 1934 г., по приглашению профессора Н. Н. Зубова, занял должность ассистента кафедры океанологии МГМИ. В октябре 1944 г. посту-

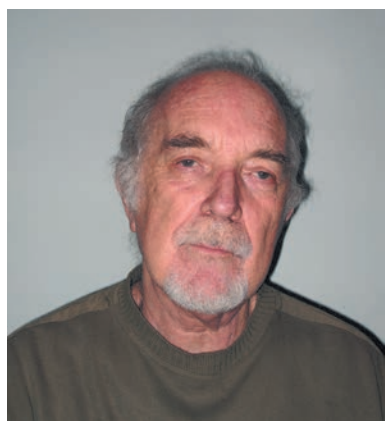
пил в докторантуру Лаборатории океанологии (позже преобразованной в Институт океанологии АН СССР — ИОАН — им. П. П. Ширшова), где впоследствии проработал долгие годы. Принимал активное участие в создании и становлении Института океанологии, в переоборудовании и оснащении первого советского океанского НИС «Витязь». В 1953 г. был избран первым заведующим каф. океанологии МГУ, которой бессменно руководил до 1987 г. Автор более 120 научных работ, научный редактор 35 отечественных и зарубежных монографий по океанологии. Внес огромный вклад в развитие отечественной океанологии. Ушел из жизни в 1990 г.



Некрасов Алексей Всеволодович.

Выпуск 1956 г. Доктор геогр. наук (1977), профессор (1982). Родился 25 февраля 1933 г. в Москве. После окончания вуза в 1956—1958 гг. работал в Камчатском УГМС. В 1958—1961 гг. учился в аспирантуре ЛГМИ, в 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию. В 1961—1978 гг. работал на кафедре океанологии ЛГМИ. Участвовал в создании лаборатории подводных исследований, организации экспедиций на судне «Батайск» и «Нерей». В 1978—1982 гг. выполнял обязанности начальника кафедры полярной океанологии в ЛВИМУ им. адм. С. О. Макарова. В сентябре 1982 г. вернулся в ЛГМИ, с 1990 по 2001 г. возглавлял кафедру динамики океана. С 2001 по 2008 г. работал

профессором кафедры океанологии. Являлся одним из основоположников учения о приливах и их энергетике. Был энтузиастом создания приливных электростанций. Основные монографии: «Приливные волны в окраинных морях»; «Энергия океанских приливов». Являлся организатором и вдохновителем множества экспедиций на катамаранах «Centaurus», «Orient», «Centaurus-II». Возглавлял работы в рамках Балтийского плавучего университета (1993—2007 гг.). С 2000 г. — член Королевского географического общества. В 1971—1980 гг. входил в Комиссию по цунами Государственного комитета по науке и технике. Ушел из жизни в феврале 2008 г.



Каган Борис Абрамович. Выпуск 1959 г. Доктор физ.-мат. наук (1970), профессор (1978). После окончания ЛГМИ работал в вузе в должности инженера, старшего научного сотрудника, и.о. доцента и профессора, а с 1963 г. — в ИО АН СССР (нынешний СПбФ ИО РАН) в должностях старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией и главного научного сотрудника. Несколько десятилетий работал по совместительству профессором на Океанологическом факультете РГГМУ. Он автор более 300 научных работ, в том числе 9 монографий. Многие его работы издавались за рубежом. Под его руководством успешно защитились 12 аспирантов и 3 докторанта.

Им создана собственная школа динамической океанологии, находящаяся на самых передовых позициях в мире.



Ляхин Юрий Иванович. Выпуск 1961 г. Доктор геогр. наук (1985), профессор кафедры промышленной океанологии (1988). Родился 7 декабря 1939 г. в Новгороде. После окончания ЛГМИ в 1961—1964 гг. работал в лаборатории гидрохимии ДВНИГМИ (г. Владивосток). В 1965 г. поступил в аспирантуру ЛГМИ, в 1968 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1971 г. до конца жизни (1997) работал в РГГМУ. В 1990 г. создал кафедру химии природной среды. Являлся ведущим специалистом в изучении изменчивости обмена CO_2 и O_2 между океаном и атмосферой и карбонатной системой океана. Совместно с профессором Виталием Георгиевичем Сиротой в 1994 г. создал факультет экологии и физики природной среды. Совместно с О. А. Алекиным является автором основополагающего учебника

по химии океана (1984), а также 9 учебников и пособий в области гидрохимии и охраны вод Мирового океана. Он был настоящим «морским волком», участником 4 экспедиций на НИС «Академик Курчатов» и многочисленных экспедиций на судах ЛГМИ. Ушел из жизни в феврале 2008 г.



Чаликов Дмитрий Викторович. Выпуск 1963 г. Доктор физ.-мат. наук (1979), профессор (1985). Родился 22 августа 1939 г. в Ленинграде. Всю блокаду жил в Ленинграде. Окончил ЛГМИ по специальности «Океанология». С 1965 г. до настоящего времени работает в Институте океанологии РАН, с перерывом около 25 лет для работы в США: 1991—2002 — NOAA (Вашингтон), 2002—2006 — Мерилендский Университет. С 2006 г. по 2016 г. работал в Университетах Свинбурна и Мельбурна. Автор более 100 работ и нескольких монографий в основном за рубежом. Лауреат премии Правительства СПб им. Будыко за выдающиеся достижения в науке и технике.



Фролов Иван Евгеньевич. Выпуск 1971 г. Директор ААНИИ. Доктор геогр. наук (1998), профессор (2005), член-корреспондент РАН (2016). В своей научной деятельности следовал направлению научной школы профессора Ю. П. Доронина: продолжал развитие и внедрение в практику методов численных прогнозов состояния ледяного покрова для обеспечения судоходства по Северному морскому пути. Автор более 140 научных работ, в том числе 6 монографий, 3 из которых переведены на английский язык. Член Научно-технического совета Росгидромета, член Научного Совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, член Совета по Арктике и Антарктике при Совете Федерации РФ, член Морского совета при правительстве Санкт-Петербурга, главный редактор журнала «Проблемы Арктики и Антарктики» (с 1992 г.). Ушел из жизни в декабре 2020 г.

Карлин Лев Николаевич. Выпуск 1971 г. Доктор физ.-мат. наук (1988), профессор (1990). После окончания ЛГМИ и защиты диссертации в 1975 г. начал



работать ассистентом, затем доцентом кафедры океанологии ЛГМИ. С 1984 г. — заведующий кафедрой промышленной океанологии, с 1985 г. — проректор по учебной работе. С 1989 г. по 2014 г. являлся бессменным ректором РГГМУ. В сложные 90-е годы он смог не только сохранить вуз, но и укрепить его численно и качественно. Создан ряд новых факультетов: факультет экологии и физики природной среды, экономический и социально-гуманитарный факультет, факультет информационных систем и геотехнологий. Были открыты филиалы РГГМУ в городах Туапсе и Ростов-на-Дону. Создана высокопрофессиональная, работающая на уровне мировых стандартов,

лаборатория спутниковой океанографии. По объему научно-исследовательских работ вуз к концу столетия стабильно входил в тройку ведущих университетов города. Под его руководством вуз получил в 2004 г. статус регионального метеорологического учебного центра ВМО, а в 1998 г. — статус университета. Председатель диссертационного совета по гидрологии и океанологии, главный редактор журнала «Ученые записки РГГМУ». Автор более 300 научных публикаций, в том числе 10 монографий, 11 учебников. Ушел из жизни в ноябре 2014 г.



Данилов Александр Иванович. Выпуск 1972 г. Канд. физ.-мат. наук. В 1993—2016 гг. — зам. директора института ААНИИ по научной работе. В 1990—1992 гг. научный руководитель первой в мире антарктической советско-американской дрейфующей станции «Уэдделл-1». В 2002—2010 гг. был одним из лидеров и организаторов российских работ в рамках Международного полярного года 2007/08 (МПГ). Главный редактор информационно-аналитического сборника «Российские полярные исследования». Автор более 100 публикаций. Награжден орденом «За морские заслуги».

«Почетный работник гидрометеорологической службы России», Заслуженный метеоролог Российской Федерации. Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, дважды лауреат ведомственной премии Росгидромета им. Ю. М. Шокальского и Е. И. Толстикова за исследования в области морской метеорологии и океанографии. Член Научно-экспертного совета Морской Коллегии при Правительстве РФ. Ушел из жизни в ноябре 2019 г.

Родин Александр Васильевич. Выпуск 1976 г. Доктор геогр. наук (2000). В 1976 г. был распределен для работы на судах Управления «Севрыбпромразведка». В 1984 г. назначен заместителем начальника этого управления,



в 1991 г. — директором ПИНРО им. Н. М. Книповича, в 1992 г. — первым заместителем председателя Комитета рыбного хозяйства Российской Федерации, в 1997 г. — председателем Госкомрыболовства России, затем первым заместителем министра сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. Уйдя в отставку в 1998 г., стал работать в ООО «Тихрыбком» в качестве советника генерального директора.

Автор более 100 публикаций, 3 монографий и одного изобретения. Награжден орденами «Знак Почета» и «Дружбы народов». Заслуженный работник рыбного хозяйства Российской Федера-

ции. В 2003—2006 гг. был президентом Всероссийской ассоциации рыбопромышленников, предпринимателей и экспортеров (ВАРПЭ). С 2014 г. является председателем Общественного совета при Федеральном агентстве по рыболовству.



Рябинин Владимир Эдуардович. Выпуск 1978 г. Доктор физ.-мат. наук (1995), профессор ЮНЕСКО. До 2001 г. работал в Гидрометцентре России. С 2001 г. — сотрудник высокого ранга Всемирной метеорологической организации ООН, ведущий специалист Всемирной программы исследования климата (ВПИК). В настоящее время — заместитель Генерального директора, исполнительный секретарь Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО. Автор около 100 статей и двух монографий. В 2001 г. был избран исполнительным директором Международного института океана. Является одним из разработчиков федеральной целевой программы «Мировой океан».

doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-149

Памяти П. П. Бескида



25 февраля 2023 г. на 86-м году жизни скончался один из старейших сотрудников Российского государственного гидрометеорологического университета, основатель кафедры «Информационные технологии и системы безопасности», крупный ученый в области информационных технологий, доктор технических наук, профессор Павел Павлович Бескид.

П. П. Бескид родился 4 июля 1937 г. в г. Мукачево (в Западных Карпатах) Закарпатской области Украинской ССР. После окончания средней школы в 1954 г. он переезжает для дальнейшей учебы в Ленинград и поступает в Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина) на радиотехнический факультет. После окончания института в 1960 г. был распределен на работу в г. Ижевск, где работал инженером и начальником лаборатории на радиозаводе.

В 1963 г. П. П. Бескид поступает в аспирантуру ЛЭТИ (с 1993 г. — СПб ГЭТУ), которую успешно закончил и был принят на работу в исследовательскую лабораторию. После создания в 1969 г. в ЛЭТИ факультета Корабельной электротехники и автоматики, совместно с проф. Винокуровым В. И., создал новую кафедру «Радиооборудование кораблей», на которой проработал до 1999 г. На кафедре Бескид П. П. прошел все стадии преподавательской деятельности: от ассистента до профессора. При этом П. П. Бескид был заместителем зав. кафедрой по методической работе. Он внес большой вклад в разработку учебных планов и

новых дисциплин не только кафедры, но и института. Он создал учебные лаборатории по курсам «Электроника», «Радиооборудование кораблей», которые читал студентам. За большой вклад в работу кафедры, факультета и института ему было присвоено в 1995 г. звание профессора.

Бескид П. П. вел активную научную работу. Возглавлял на кафедре направление морского приборостроения. Совместно с сотрудниками под его руководством были выполнены работы по госбюджетной и хоздоговорной тематике, опубликованы монографии и учебные пособия, такие как «Моделирование и испытание судового радиооборудования» (1981), «Построение судового радиооборудования» (1982). Творческая деятельность Павла Павловича подтверждена авторскими свидетельствами на его изобретения.

В 1999 г. П. П. Бескид переходит на работу в РГГМУ на только что организованную кафедру «Морские информационные технологии» (МИТ) и активно участвует в становлении и развитии кафедры. Решением ВАК РФ от 12 октября 2001 г. ему присуждена ученая степень доктора технических наук. В 2009 г. решением Ученого совета РГГМУ П. П. Бескид избран заведующим кафедрой МИТ, которую он преобразует в кафедру «Информационные технологии и системы безопасности».

За время руководства кафедрой (до 2017 г.) П. П. Бескид успешно возглавлял ряд НИР. Свободно владея (помимо русского) украинским, венгерским и английским языками, П. П. Бескид внимательно следил за всеми новинками научно-технической литературы по профилю кафедры и постоянно находился на передовом рубеже науки. Он автор около 150 научных работ, в том числе трех монографий, шести авторских свидетельств и 15 учебно-методических работ.

Важной стороной профессиональной деятельности П. П. Бескида являлась его работа в должностях Ученого секретаря и Председателя Диссертационного совета по геоэкологии и геоинформатики. В течение 10 лет он достойно представлял РГГМУ в ВАК РФ и оказывал существенную консультативную поддержку соискателям кандидатских и докторских степеней, представлявших свои диссертации в Диссертационный совет РГГМУ. В течение многих лет он был членом редколлегии журнала «Ученые записки РГГМУ», входящего в Перечень ВАКа.

Приказом Минобрнауки России от 4 декабря 2014 г. за многолетнюю плодотворную работу по развитию и совершенствованию учебного процесса, значительный вклад в дело подготовки высококвалифицированных специалистов П. П. Бескиду присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

В связи с развитием астмы в тяжелой форме в 2018 г. П. П. Бескид отказался от заведования кафедрой и перешел на работу на должность профессора созданной им кафедры. Павел Павлович пользовался огромным авторитетом среди коллег, был примером для студентов. Его доброжелательность и простота в общении создавали вокруг него особую творческую атмосферу. Коллектив РГГМУ выражает соболезнование семье, родственникам и друзьям Павла Павловича. Светлая память о Павле Павловиче Бескиде навсегда останется в наших умах и сердцах.

Коллеги, друзья, ученики

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 70

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Начальник РИО А.В. Ляхтейнен
Технический редактор М.В. Иванова

Подписано в печать 29.03.2023. Выход в свет 03.04.2023. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,35. Тираж 50 экз. Заказ № 1371. Цена свободная.
Адрес издателя, редакции и типографии: РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79.

Учредитель: Российский государственный гидрометеорологический университет
