Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 58

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762

РГГМУ
Санкт-Петербург
2020

УДК 3 + 502.52 + 55
ББК 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Гидрометеорология и экология. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 58. Научно-теоретический журнал. СПб: РГГМУ, 2020. 180 с.

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 соответсвующим специальностям.

Редакционный совет:
Чилингаров А.Н., д-р геогр. наук, проф., член-корреспондент РАН, президент РГГМУ — *председатель совета*
Михеев В.Л., канд. юрид. наук, доцент, ректор РГГМУ — *зам. председателя*
Мушкет И.И., д-р юрид. наук, проф., проректор РГГМУ — *зам. председателя*
Вильфанд Р.М., д-р техн. наук, проф., научный руководитель ГМНИЦ РФ; **Кулешов Ю.В.**, д-р техн. наук, проф., зам. начальника Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского по учебной и научной работе; **Лил В.У.**, д-р наук, проф. ун-та г. Гамбург (Германия) и ун-та г. Манчестер (Великобритания); **Мохов И.И.**, д-р физ.-мат. наук, академик РАН, зав. отделом исследования климатических процессов ИФА РАН; **Румянцев В.А.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН, научный руководитель Института озероведения РАН; **Тимофеева А.Г.,** канд. геогр. наук, ректор Института повышения квалификации Росгидромета; **Федоров М.П.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, научный руководитель программы НИУ СПб ГПУ; **Филатов Н.Н.**, д-р геогр. наук, проф., член-корреспондент РАН, директор Института водных проблем Севера КарНЦ РАН; **Фролов И.Е.**, д-р геогр. наук, проф., член-корреспондент РАН, научный руководитель ГНЦ ААНИИ; **Хуакин Л.**, д-р наук, проф., вице-ректор Морского ун-та г. Джейянг (КНР); **Шапрон Б.**, д-р наук, ведущий ученый института морских исследований IFREMER (Франция)

Редакционная коллегия:
Малинин В.Н., д-р геогр. наук, проф. — *главный редактор*
Воробьёв В.Н., канд. геогр. наук, проф. — *зам. главного редактора*
Шилин М.Б., д-р геогр. наук, проф. — *зам. главного редактора*
Гайдукова Е.В., канд. техн. наук — *отв. секретарь*
Барышников Н.Б., д-р геогр. наук, проф.; **Бескид П.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Кондратьев С.А.,** д-р физ.-мат. наук; **Кудрявцев В.Н.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **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.; **Угрюмов А.И.**, д-р геогр. наук, проф.; **Фирова И.П.**, д-р эконом. наук, проф.; **Щукин Г.Г.,** д-р физ.-мат. наук, проф.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал зарегистрирован в Управлении федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу.

Свидетельство ПИ № ФС2-8484 от 07.02.2007 г.

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

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

ISSN 2074-2762

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

Журнал 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.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2020
© Авторы публикаций, 2020

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

PROCEEDINGS OF THE RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY

№ 58

A theoretical research journal

Published since October, 2005
4 issues a year

ISSN 2074-2762

RSHU
St. Petersburg
2020

UDC 3 + 502.52 + 55
LBC 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Hydrometeorology and Ecology. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Issue 58. St. Petersburg: RSHU Publishers, 2020. 180 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., Doctor of Geographical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, President of RSHU — *Chairman*
Mikheyev V.L., Candidate of Juridical Sciences, Assistent Professor, Rector of RSHU — *Vice-Chairman*
Mushket I.I., Doctor of Juridical Sciences, Professor, Vice-Rector RSHU — *Vice-Chairman*
Vilfand R.M., Doctor of Engineering Science, Professor, scientific director of Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation; **Kuleshov Yu.V.**, Doctor of Engineering Science, Professor, deputy director of Mozhaisky Military Space Academy for academic affairs and research; **Leal W.**, Dr., Professor of Hamburg University (Germany) and Manchester University (Great Britain); **Mokhov I.I.,** Doctor of Physics and Mathematics, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of Research Department Climatic Processes of IAP RAS; **Rumyantsev V.A.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, scientific director of the Institute of Limnology RAS; **Timofeeva A.G.**, Candidate of Geographical Sciences, Rector of the Institute for Advanced Studies of Roshydromet; **Fedorov M.P.**, Doctor of Engineering Science, Academician of the Russian Academy of Sciences, President of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University; **Filatov N.N.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Water Problems of the North Karelian Research Centre of RAS; **Frolov I.E.**, Doctor of Geographical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; **Huaqing Lu**, Dr., Professor, vice-rector of Maritime University of Zhejiang (China); **Shapron B.**, Dr., leading scientist of French Research Institute for Exploitation of the Sea IFREMER (France)

Editors:
Malinin V.N., Doctor of Geographical Sciences, Professor — *Editor in Chief*
Vorobyev V.N., Candidate of Geographical Sciences, Professor — *Deputy Editor in Chief*
Shilin M.B., Doctor of Geographical Sciences, Professor — *Deputy Editor in Chief*
Gaidukova E.V., Candidate of Engineering Sciences — *Executive editor*
Baryshnikov N.B., Doctor of Geographical Sciences, Professor; **Beskid P.P.**, Doctor of Engineering Science, Professor; **Kondratiev S.A.**, Doctor of Physics and Mathematics; **Kudryavtsev V.N.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; **Ryabchenko V.A.**, Doctor of Physics and Mathematics; **Smyshlyaev S.P.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; **Timofeev Yu.M.,** Doctor of Physics and Mathematics; **Ugryumov A.I.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor; **Firova I.P.**, Doctor of Economics, Professor; **Shchukin G.G.,** Doctor of Physics and Mathematics, Professor

The Journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, which should publish the main results of theses for the Doctor and Candidate of sciences degree.

The Journal is registered in the Russian Federal Surveillance Service for Compliance with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage Protection in the North-Western Federal District.

Certificate ПИ № ФС2-8484 of July 02, 2007.

Area of expertise: meteorology, hydrology, oceanology, geoecology, geophysics, social and human sciences.

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

ISSN 2074-2762

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

The Journal is included in the «Russian Science Citation Index» database (RSCI), based on the platform of the National Electronic Library (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.

© Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 2020
© Authors of publications, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Метеорология

Д.А. Денисенков, В.Ю. Жуков, Г.Г. Щукин. Наблюдение мезоциклона многопараметрическим метеорологическим радиолокатором. 9
А.С. Зарубин, Н.В. Ширшов, А.И. Погорельцев. Глобальные атмосферные волны по данным современных реанализов и радиозатменного эксперимента Cosmic / Formosat-3 20
Н.С. Ким, В.П. Корнеев, А.М. Петрунин, А.В. Частухин, Е.Ф. Воронин. Исследование эффективности наноразмерных порошкообразных льдообразующих реагентов 31

Гидрология

И.С. Алиева. Пространственно-временные закономерности поверхностного и подземного стока рек Большого Кавказа 41
Ю.В. Карпечко, С.А. Кондратьев, В.З. Родионов, М.В. Шмакова. Особенности формирования испарения в различных по возрасту, условиям произрастания и продуктивности лесах 49

Океанология

А.С. Аверкиев, В.Ф. Дубравин. Точность расчета испарения при разных периодах осреднения по данным наблюдений в Южной Балтике. 68

Геоэкология

В.И. Биненко, А.А.Ткаченко. Влияние техногенно-экологических происшествий на загрязнение атмосферного воздуха и здоровье людей 83
Н.В. Двоеглазова, Б.В. Чубаренко, Я.А. Козлова. Антропогенная составляющая эмиссии парниковых газов с территории Калининградской области 94
А.А. Павловский. О разработке и реализации первоочередных мер по адаптации Санкт-Петербурга к климатическим изменениям 111
Д.М. Хомяков, В.М. Тарбаева. Правовые основы рационального использования и охраны почв: современная ситуация и предлагаемые меры регулирования 127

Социально-гуманитарные науки

И.А. Кольцов. Вклад ученых вузов Ленинграда в развитие научно-технического потенциала Российской Федерации в 1950—1970-е годы: страницы истории 142

Обзоры

М.О. Колбанёв, И.И. Палкин, Т.М. Татарникова. Вызовы цифровой экономики 156
Алаа Ахмад. «Мягкие» и «жесткие» критерии оценки функционирования морских портов Сирийской Арабской Республики 168

Хроника

Школа молодых ученых ЛСО РГГМУ 173
XXIV Санкт-Петербургская ассамблея молодых ученых и специалистов 175
Памяти профессора Юрия Леонидовича Матвеева (1952—2020) 178

CONTENTS

Meteorology

D.A. Denisenkov, V.Y. Zhukov, G.G. Shchukin. Mesocyclone observation by multi-parameter meteorological radar 9
A.S. Zarubin, N.V. Shirshov, A.I. Pogoreltsev. Global atmospheric waves according to the modern reanalyses and radio-occultation experiment Cosmic / Formosat-3 data 20
N.S. Kim, V.P. Korneev, A.M. Petrunin, A.V. Chastuhin, E.F. Voronin. Research of efficiency of nanosized powdered ice-forming reagents 31

Hydrology

I.S. Alieva. Spatial-temporary regularities of the surface and underground flows of the rivers of the Great Caucasus. 41
Yu.V. Karpechko, S.A. Kondratyev, V.Z. Rodionov, M.V. Shmakova. Evaporation patterns in forests of different ages, site conditions, and productivity levels 49

Oceanology

A.S. Averkiev, V.F. Dubravin. Calculation accuracy of evaporation at different averaging periods by observation data in the southernbaltic 68

Geoecology

V.I. Binenko, A.A. Tkachenko. Impact of technogenic and environmental accidents on air pollution and human health 83
N.V. Dvoeglazova, B.V. Chubarenko, Y.A. Kozlova. Anthropogenic component of greenhouse gas emissions from the territory of the Kaliningrad Region. 94
A.A. Pavlovskii. On development and implementation of priority measures for adaptation of St. Petersburg to climate changes 111
D.M. Khomyakov, V.M. Tarbaeva. Legal basis for the rational use and protection of soils: current situation and proposed regulatory measures 127

Social science and humanities

I.A. Koltsov. The contribution of scientists from Leningrad universities to the development of the scientific and technical potential of the Russian Federation in the 1950—1970-s: pages of history 142

Reviews

M.O. Kolbanev, I.I. Palkin, T.M. Tatarnikova. The challenges of the digital economy 156
Alaa Ahmad. The «soft» and «rigid» criteria for assessing the functioning of the seaports in the Syrian Arab Republic 168

Chronicle 173

УДК 551.515.6:551.501.81 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-9-19

НАБЛЮДЕНИЕ МЕЗОЦИКЛОНА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ РАДИОЛОКАТОРОМ

Д.А. Денисенков, В.Ю. Жуков, Г.Г. Щукин

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, dimasden@yandex.ru

На примере наблюдения редких для климата России явлений суперячейки и мезоциклона показаны потенциальные возможности современного многопараметрического метеорологического радиолокатора. Рассматриваются новые методы распознавания суперячейки и мезоциклона, основанные на анализе спектральных и поляризационных характеристик радиолокационного сигнала. Приводится пример обнаружения суперячейки радиолокатором ДМРЛ-С.

Ключевые слова: радиометеорология, опасные явления погоды, метеорологическая радиолокация, суперячейка, мезоциклон.

MESOCYCLONE OBSERVATION BY MULTI-PARAMETER METEOROLOGICAL RADAR

D.A. Denisenkov, V.Y. Zhukov, G.G. Shchukin

Mozhaisky Military Aerospace Academy, St. Petersburg, Russia

The article deals in detail with the case of observation of a cloud array characterized by a large (15 km) height of the upper boundary of cloud cover and the presence of areas with radar reflectivity of more than 60 dBZ by the DMRL-S meteorological radar installed in Valday (Novgorod region). Integrated application of the estimates of all measured parameters makes it possible to identify in this array the area where a rare weather phenomenon - a supercell - develops. The fact of formation of the hail area of large size is ascertained. It leads to the effect of depolarization attenuation - negative values of differential reflectivity of the echo signal of the meteorological targets.

The coordinates of vertical flows are determined by analyzing data on the cross-correlation coefficient of polarization constituents of received signal. Then the obtained result is compared with the one obtained by means of estimations of the average radial velocity of particles, their much coincidence being shown. At an altitude of 5 km, areas with sharp local speed changes are observed, indicating the existence of strong vortices. Sequential analysis of the data obtained during the whole time of existence of the supercell leads to identification of a zone 5 km in diameter with a “jump” of magnitude radial velocity of particles in a layer 1 km high at a distance of 100 km. The scale of this zone, its location and the magnitudes of the parameters of the signal received from it indicate the formation of another rare weather phenomenon in it – the mesocyclone.

Keywords: radio meteorology, hazardous weather phenomena, meteorological radar, supercell, mesocyclone.

For citation: *Denisenkov D.A., Zhukov V.Y., Shchukin G.G.* Mesocyclone Observation by Multi-Parameter Meteorological Radar. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 9—19. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-9-19

Введение

В течение последних десяти лет в России развертывается сеть метеорологических радиолокаторов. Основным техническим средством для нее является отечественное изделие ДМРЛ-С. Набор его опций позволяет оценивать как традиционно измеряемую радиолокационную отражаемость метеоцели, так и спектральные [1] и поляризационные характеристики принимаемого сигнала [2]. В результате этого открываются широкие возможности в плане распознавания опасных явлений погоды, недоступных применяемым ранее некогерентным метеорологическим радиолокаторам типа МРЛ-5 [3]. Хорошей иллюстрацией сказанному может служить случай наблюдения такого опасного явления, распознавание которого требует применения всех «новых» измеряемых параметров [4]. Оптимальным с этой точки зрения объектом наблюдения можно считать мезоциклон — сложное образование, связанное с грозовыми облаками, мощными конвективными потоками и вихрями. В настоящей работе рассматривается случай наблюдения этого редкого природного явления с помощью радиолокатора ДМРЛ-С.

Отличительные особенности мезоциклона

Мезоциклон — это воздушный вихрь, отличающийся от более известного смерча бóльшими масштабами, меньшей скоростью вращения, а также бóльшей (несколько десятков минут) продолжительностью жизни [5]. Возникает он на одной из стадий развития мощного грозового облака, называемого суперячейкой [6], структурная схема которой приведена на рис. 1 [7].

По сравнению с обычной конвективной ячейкой для нее характерны бóльшая высота верхней границы облака (около 15 км) и более высокая скорость вертикальных воздушных потоков, наличие осадков в виде дождя и града, а также более длительный (несколько часов) период существования.

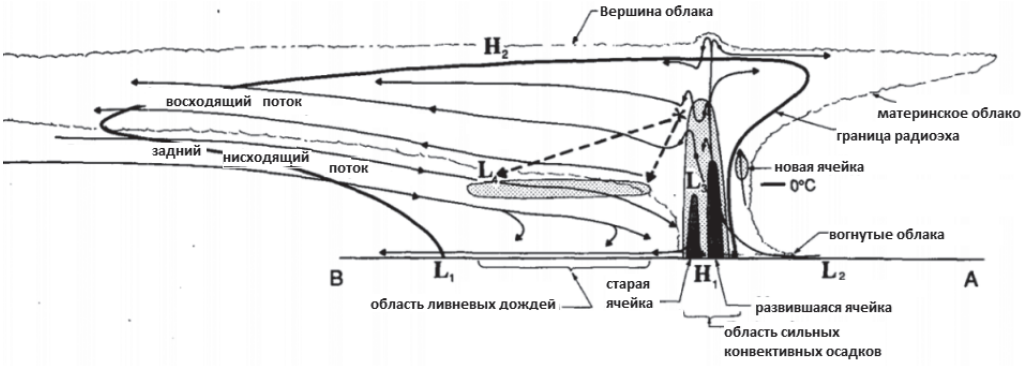

Рис. 1. Структурная схема суперячейки.

Fig. 1. Supercell structural diagram.

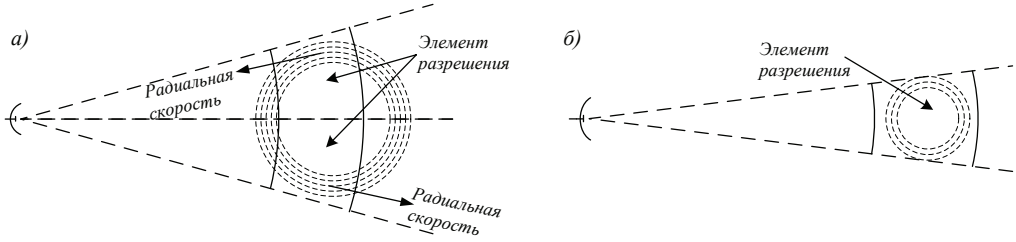

Рис. 2. Схема наблюдения смерча на малой (*а*) и большой (*б*) дальности.

Fig. 2. Scheme of observation of a tornado at short (*а*) and long (*б*) distance.

Методы распознавания мезоциклона

Для метеорологического радиолокатора мезоциклон и смерч являются наиболее трудными для распознавания явлениями. В эпоху некогерентных метеорадаров разрабатывались различные методики по их обнаружению (например, по появлению характерного «крюка» на карте радиолокационной отражаемости), но каких-либо практически значимых результатов они не давали.

На современном этапе для этих целей используются средняя частота и ширина спектра отраженного сигнала [8]. При достаточно малой дальности, когда линейный размер элемента разрешения радиолокатора не превосходит внешний радиус зоны вращения воздуха, характерными признаками их существования являются резкое изменение величины доплеровского сдвига частоты сигнала, принимаемого от двух смежных по азимуту разрешаемых объемов [9] (рис. 2 *а*). На больших расстояниях остается только локальное уширение спектра сигнала (рис. 2 *б*), которое может вызываться целым набором других опасных явлений, таких как сдвиг ветра, вертикальные потоки, повышенная турбулентность, в результате чего обнаружение рассматриваемого явления существенно затрудняется. Следовательно, мезоциклон в силу его бóльших, чем у смерча, размеров, имеет больше шансов быть обнаруженным.

Однако и это является достаточно трудной задачей в случае отсутствия программы автоматического поиска смерча в программе вторичной обработки метеорологической информации, как это имело место во время описываемого события. Поэтому вместо того, чтобы исследовать все наблюдаемое поле облачности на предмет рассмотренного выше «скачка» значений радиальной скорости, авторы применяли следующую методику:

1) распознавалась суперячейка;

2) в локальной зоне ее существования искались признаки мезоциклона или смерча.

Пример наблюдения мезоциклона

Суперячейка — редкое явление, особенно в условиях климата центра России. Единственный случай его наблюдения в зоне ответственности радиолокатора, установленного в г. Валдае Новгородской области (другими данными авторы не

располагали), представился 27 июня 2013 г. На рис. 3 приведены карта радиолокационной отражаемости и вертикальный разрез, положение которого на карте отмечено черной линией. Из данных, приведенных на рисунке, следует, что восточнее г. Валдая образовалась мощная облачная система протяженностью примерно 100 км с участками, радиолокационная отражаемость которых превышала 60 дБZ. Вертикальный разрез показывает существование в ней двух конвективных ячеек большого размера на разных стадиях развития: левая уже диссипирует, правая находится в стадии зрелости. Обе ячейки опасны с точки зрения градообразования. В принципе, это все, что может сообщить о наблюдаемом объекте некогерентный радиолокатор.

Более детальную информацию о том, что происходит в наблюдаемом метеообъекте, дает представленная на рис. 4 карта дифференциальной отражаемости (отношения мощности сигнала, принятого по каналу горизонтальной линейной поляризации волны, к мощности сигнала в канале вертикальной поляризации). На карте хорошо просматриваются отмеченные голубым и синим цветом зоны отрицательных значений указанного параметра. Это случай деполяризационного ослабления, возникающего после прохождения электромагнитной волной участков с большими значениями радиолокационной и дифференциальной отражаемости. Такое возможно только при выпадении града в момент его таяния, когда частицы покрываются слоем воды и приобретают на время свойства капли (большую отражательную способность и эллиптическую форму).

В этом случае в излученной волне нарушается равенство мощности горизонтально и вертикально поляризованных составляющих (первая становится меньше второй). В результате расположенные за рассматриваемой зоной частицы, одинаково отражающие обе поляризационные составляющие, формируют сигнал с отрицательной дифференциальной отражаемостью, совершенно не характерной для метеорологических целей.

Таким образом, карта вертикального разреза, представленная на рис. 4, свидетельствует о том, что из левой ячейки идут осадки в виде града (это следует из существования зоны отрицательных значений параметра в нижней ее части на дальности более 20 км), а в правой ячейке сформировалась область тающего града на высоте до 7 км (дальность более 60 км). Это подтверждается картой коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих сигнала (рис. 5), на которой указанные области отмечаются пониженным значением параметра, что характерно для тающих ледяных частиц [10].

Размеры конвективного образования, величина радиолокационной отражаемости и формирование града дают основание предположить, что наблюдается суперячейка. Для подтверждения этого предположения необходимо убедиться в существовании в ней мощных восходящих и нисходящих потоков. Непосредственно измерить скорость или даже направление вертикального движения частиц на дальности исследуемой цели (100 км) практически невозможно из-за малых углов места антенны, под которыми наблюдается суперячейка. Тем не менее можно получить косвенное подтверждение ее существования путем анализа карты коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих. Оно основано на

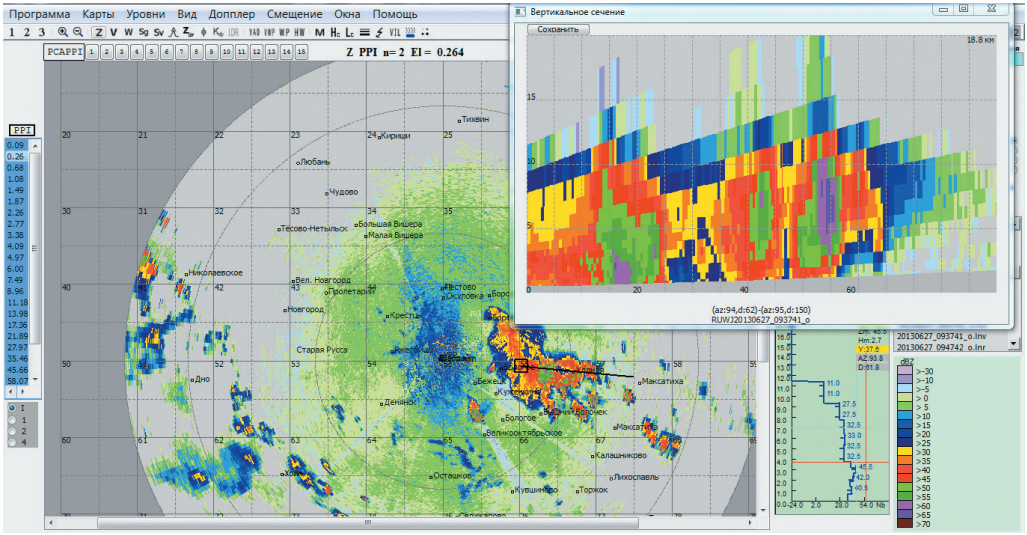

Рис. 3. Карта радиолокационной отражаемости (горизонтальный и вертикальный разрезы), полученная в 9 ч 37 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 3. Radar reflectivity map (horizontal and vertical sections) obtained at 9:37 a.m., June 27, 2013.

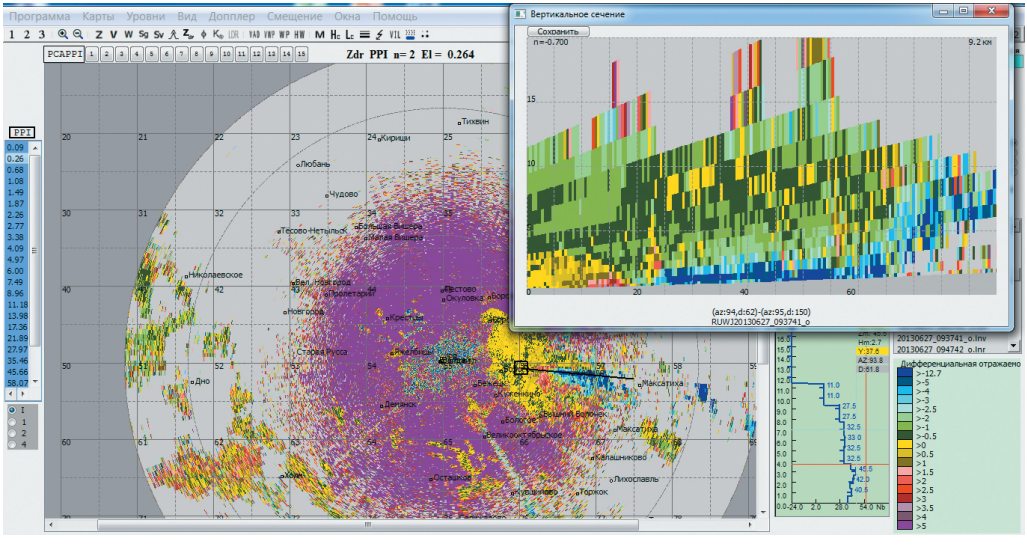

Рис. 4. Карта дифференциальной отражаемости (горизонтальный и вертикальный разрезы), полученная в 9 ч 37 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 4. Map of differential reflectance (horizontal and vertical cuts), obtained at 9:37 a.m., June 27, 2013.

том, что в однородном облаке на указанной карте хорошо просматривается зона таяния частиц в виде горизонтальной полосы пониженных (менее 0,95) значений параметра [11]. Характерный для этого случая вертикальный разрез приведен на рис. 6.

Если же в облаке существует вертикальный поток, данная полоса либо прогибается вниз, если он нисходящий, либо вообще пропадает в зоне восходящего движения, внутри которой значение параметра определяется состоянием находящихся в ней частиц.

К сожалению, наблюдать указанные эффекты на картах, относящихся к рассматриваемому нами моменту времени (9 ч 37 мин), не представляется возможным из-за маскирования их явлением деполяризационного ослабления. Поэтому переместимся по оси времени на один час назад, когда обнаруженный нами участок с противоположным направлением ветра уже существовал, а размеров и количества градин было еще недостаточно для искажения значений дифференциальной отражаемости (рис. 7).

На вертикальном разрезе хорошо просматриваются зона нисходящего потока с центром на дальности 10 км, в которой зона таяния смещена вниз примерно на 1 км, и восходящий поток, заполненный тающим градом, в виде вертикального столба голубого цвета на дальности 15 км. Сказанное подтверждается картой радиальной скорости частиц (рис. 8). Из нее следует, что среднее по просматриваемому слою направление движения частиц — с юго-востока на северо-запад.

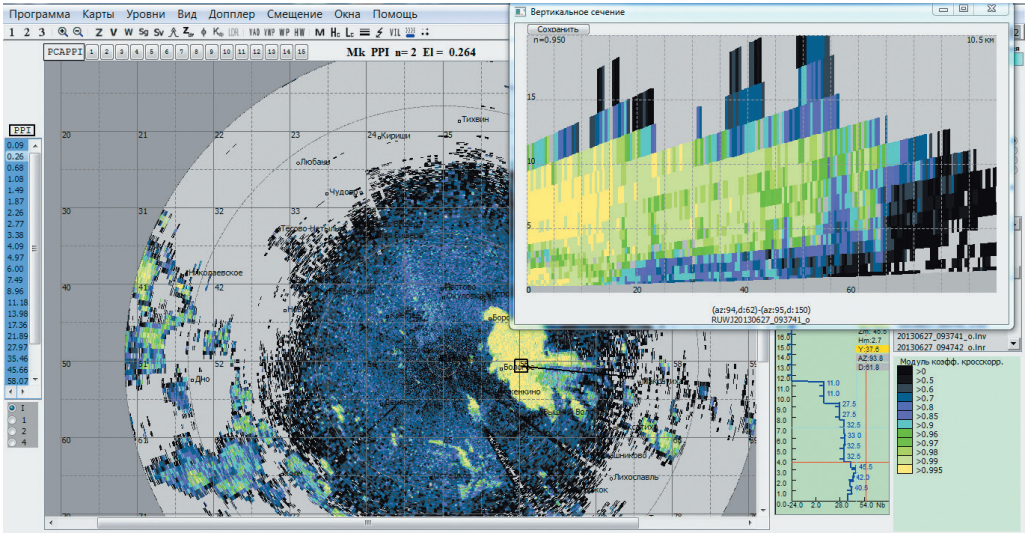

Рис. 5. Карта коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих сигнала (горизонтальный и вертикальный разрезы), полученная в 9 ч 37 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 5. Map of the cross-correlation coefficient of polarization components of received signal (horizontal and vertical cuts), obtained at 9:37 a.m. June 27, 2013.

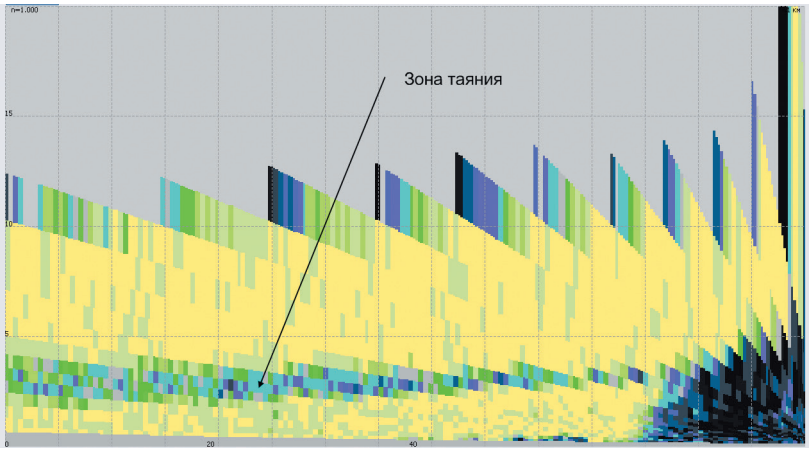

Рис. 6. Пример наблюдения зоны таяния частиц на карте коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих отражений.

Fig. 6. Example of observation of the melting zone of particles on the map of cross-correlation coefficient of polarization components of reflections.

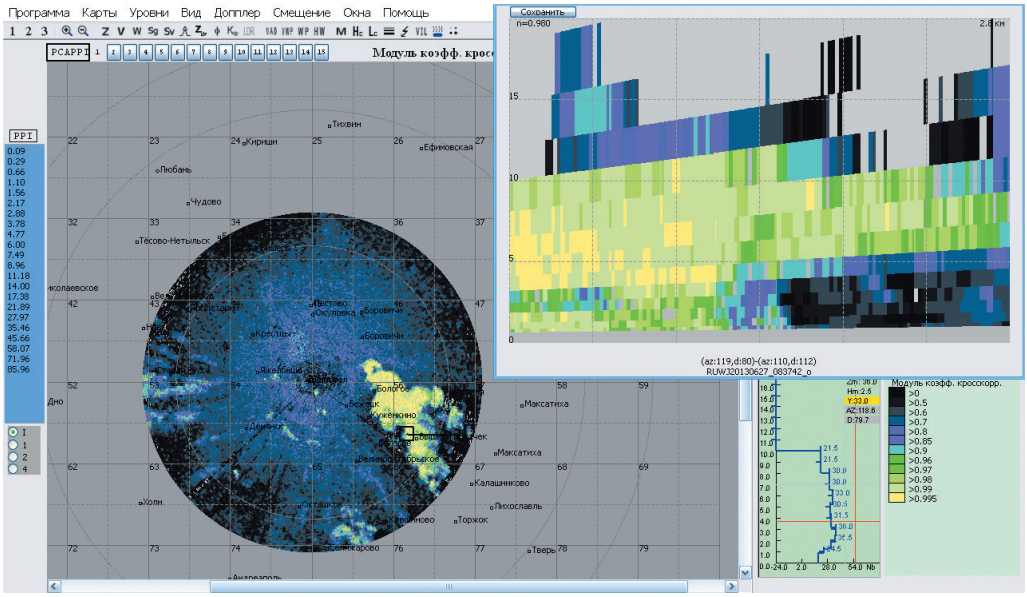

Рис. 7. Карта коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих сигнала (горизонтальный и вертикальный разрезы), полученная в 8 ч 37 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 7. Map of the cross-correlation coefficient of polarization components of received signal (horizontal and vertical cuts), obtained at 8:37 a.m., June 27, 2013.

Однако внутри наблюдаемого нами облачного массива существует участок, где ветер направлен в противоположенную сторону (по нему проведен вертикальный разрез). Координаты его края, расположенного с наветренной стороны, совпадают с координатами предполагаемой суперячейки. Это говорит о том, что в ячейку интенсивно всасывается воздух, поступающий далее в восходящий поток, и скорость этого потока существенно больше той, что имеет место в обычных ячейках, в которых подобного участка не образуется.

Особенно интересен вертикальный разрез. На нем явно обозначен расположенный в приземном слое участок с частицами, движущимися в противоположенную направлению общего движения сторону. Заканчивается он именно в том месте, где мы перед этим идентифицировали восходящий поток. Кроме того, на высоте 5 км наблюдаются несколько элементов разрешения с изменяющейся в широких пределах (от –36,5 до +10 м/с) скоростью. Это указывает на существование здесь интенсивных вихрей. Скорее всего, это малая часть одного из потоков, указанных на рис. 1 и являющихся неотъемлемой частью суперячейки.

Рассматриваемый участок наблюдался на картах, относящихся к обзорам с 7 ч 17 мин до 11 ч 07 мин. Следовательно, время существования наблюдаемого явления можно считать равным примерно 4 ч.

По всем параметрам наблюдаемая нами цель — суперячейка. В непосредственной близости от нее искались признаки вихря — они были обнаружены в обзоре, проводившемся в 8 ч 57 мин (рис. 9), на котором наблюдается резкое изменение радиальной скорости частиц: от –30 до +20 м/с. Масштаб наблюдаемого явления позволяет уверенно констатировать обнаружение мезоциклона.

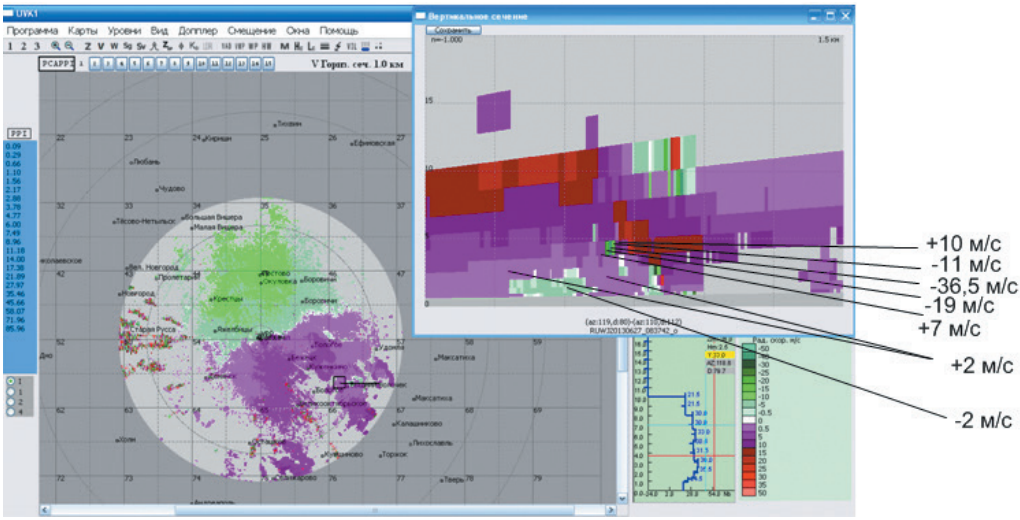

Рис. 8. Карта радиальной скорости частиц (горизонтальный и вертикальный разрезы), полученная в 8 ч 37 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 8. A map of the radial velocities of particles (horizontal and vertical cuts) obtained at 8:37 a.m., June 27, 2013.

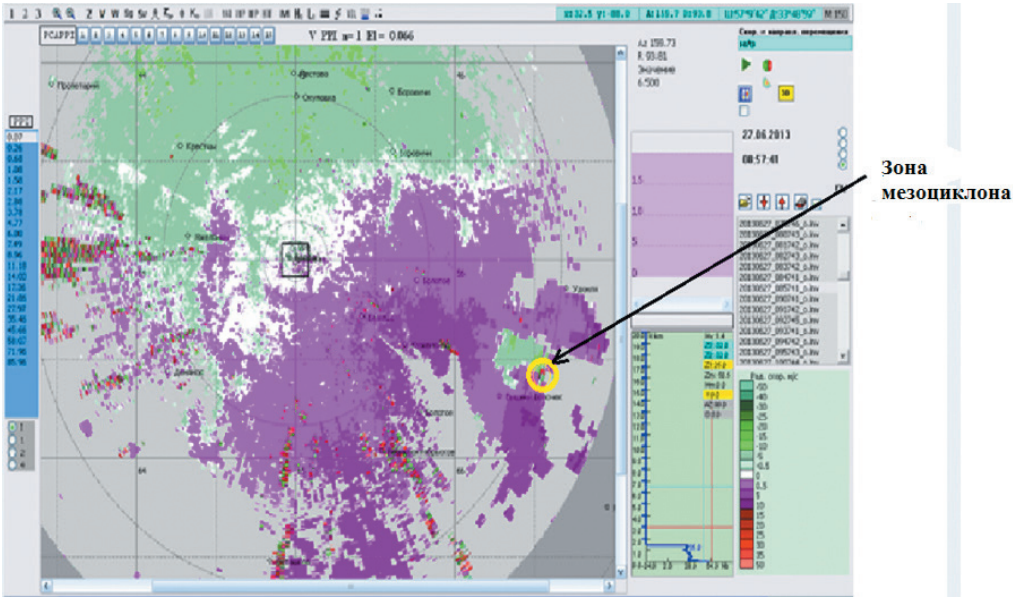

Рис. 9. Карта радиальной скорости частиц (горизонтальный разрез), полученная в 8 ч 57 мин 27 июня 2013 г.

Fig. 9. A map of the radial velocities of particles (horizontal cut) obtained at 8:57 a.m., June 27, 2013.

Заключение

Впервые при помощи серийного доплеровского поляриметрического радиолокатора, произведенного в России, был обнаружен мезоциклон.

В настоящей работе на примере наблюдения за мощным облачным массивом показано, что применение всего арсенала возможностей современного метеорологического радиолокатора позволяет получать качественно новую по сравнению с предыдущим поколением данной техники информацию. Установлено, что оценки поляризационных параметров принимаемого сигнала позволяют однозначно распознавать наличие в облачной структуре града, определить его состояние (сухой или тающий) и положение вертикальных воздушных потоков. Все это значительно повышает вероятностные характеристики обнаружения опасных явлений погоды, и в частности суперячейки. Показано, как дальнейшее оценивание спектральных характеристик отражений в зоне суперячейки дает возможность обнаружить мезоциклон, что имеет большое значение для обеспечения безопасности населения.

Список литературы

1. *Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Караваев Д.М., Щукин Г.Г.* Радиолокационные исследования поля ветра в атмосфере // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59, № 12-2. С. 16—20.

2. *Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Щукин Г.Г.* Распознавание сдвига ветра по данным метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 109—118.
3. *Жуков В.Ю., Щукин Г.Г.* Состояние и перспективы сети доплеровских метеорологических радиолокаторов // Метеорология и гидрология. 2014. № 2. С. 92—100.
4. *Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Щукин Г.Г.* Оптимизация условий наблюдения целей в современном метеорологическом радиолокаторе // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2019. № 1 (33). С. 27—35.
5. *Bauer-Messmer B*. Remote sensing of severe hailstorms / A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, 1995. 130 p.
6. Интенсивные атмосферные вихри и их динамика / Под ред. И.И. Мохова, М.В. Курганского, О.Г. Чхетиани. М.: ГЕОС, 2018. 482 с.
7. *Довиак Р., Зрнич Д.* Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 512 с.
8. *Готюр И.А., Жуков В.Ю., Кулешов Ю.В., Чернышев С.В., Щукин Г.Г.* Доплеровский радиолокационный метод определения характеристик поля ветра и некоторые результаты // Ученые записки РГГМУ. 2011. № 21. С. 66—75.
9. *Doviak R.J., Melnikov V.M.* Turbulence and Wind Shear in Layers of Large Doppler Spectrum Width in Stratiform Precipitation // J. Atm. Oceanic Techn. 2009. 26. P. 430—443.
10. *Готюр И.А., Девяткин А.М., Жуков В.Ю., Кулешов Ю.В., Щукин Г.Г.* Информационные возможности доплеровских метеорологических радиолокаторов с двойной поляризацией // Ученые записки РГГМУ. 2013. № 32. С. 66—82.
11. *Kumjian M.* et al. Weather applications of dual-polarization radars // J. Appl. Meteorol. and Climatol. 2008. No. 47. P. 1940—1961.

References

1. *Denisenkov D.A., Zhukov V.Y., Karavaev D.M., Shchukin G.G.* Radar studies of wind field in the atmosphere. *Izvestiya vy'sshih uchebnyh zavedenij*. Fizika. Russian Physics Journal. 2016, 12-2 (59): 16—20. [In Russian].
2. *Denisenkov D.A., Zhukov V.Y., Shchukin G.G*. Wind shear detection from weather radar data. Russian Meteorology and Hydrology. 2019, 44 (11): 782—789. doi: 10.3103/S1068373919110086.
3. *Zhukov V.Y., Shchukin G.G*. The state and prospects of the network of Doppler weather radars. Russian Meteorology and Hydrology. 2014, 39 (2): 126—131. doi: 10.3103/S1068373914020095.
4. *Denisenkov D.A., Zhukov V.Y., Shchukin G.G.* Optimization of conditions for observation purposes in the advanced weather radar. *Radiotekhnicheskie I telekommunikacionnye sistemy*. Radio and telecommunications systems. 2019, 1 (33): 27—35. [In Russian].
5. *Bauer-Messmer B.* Remote sensing of severe hailstorms. Zurich. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. 1995: 130.
6. Intense atmospheric vortices and it dynamics. Ed. by Mohov I.I., Kurganskiy M.V., Chetiani O.G. Moscow. GEOS. 2018: 482.
7. *Doviak R.J., Zrnic D.S.* Doppler radar and weather observations. London. Academic Press, Inc. 1992: 562.
8. *Gotyur I.A., Zhukov V.Y., Kuleshov Y.V., Chernyshev S.V., Shchukin G.G.* Doppler radar method of determining the characteristics of the wind field and some results. *Ushenye zapiski RSHU*. Proceedings of Russian State Hydrometeorology University. 2011, 21: 66—75. [In Russian].
9. *Doviak R.J., Melnikov V.M.,* Turbulence and Wind Shear in Layers of Large Doppler Spectrum Width in Stratiform Precipitation. Journal of atmospheric and oceanic technology. 2009, 26: 430—443. doi: 10.1175/2008JTECHA1108.1.
10. *Gotyur I.A., Deviatkin A.M., Zhukov V.Y., Kuleshov Y.V., Shchukin G.G.* The information abilities of Doppler weather radars with dual polarization. *Ushenye zapiski RSHU*. Proceedings of Russian State Hydrometeorology University. 2013, 32: 66—82 [In Russian].
11. *Ryzhkov A., Schuur T., Melnikov V., Zhang P., Zrnic D., Kumjian M.* Weather applications of dual-polarization radars. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2008, 47: 1940—1961. doi: 10.1109/RADAR.2011.5960690.

Статья поступила 05.02.2020
Принята в печать 18.03.2020

Сведения об авторах

Денисенков Дмитрий Анатольевич, канд. физ.-мат. наук, преподаватель кафедры технологий и средств геофизического обеспечения Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского Министерства обороны Российской Федерации, e-mail: dimasden@yandex.ru

Жуков Владимир Юрьевич, д-р физ.-мат. наук, старший преподаватель кафедры технологий и средств геофизического обеспечения Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского Министерства обороны Российской Федерации, e-mail: vuzhukov2002@list.ru

Щукин Георгий Георгиевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологий и средств геофизического обеспечения Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского Министерства обороны Российской Федерации, e-mail: ggshchukin@mail.ru

Information about authors

Dmitriy Denisenkov, PhD (Phys. and Math. Sci.), lecturer, Mozhaisky Military Space Academy

Vladimir Zhukov, Grand PhD (Phys. and Math. Sci.), senior lecturer, Mozhaisky Military Space Academy

George Shchukin, Grand PhD (Phys. and Math. Sci.), full Professor, professor, Mozhaisky Military Space Academy

УДК 551.513.11 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-20-30

ГЛОБАЛЬНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ВОЛНЫ ПО ДАННЫМ СОВРЕМЕННЫХ РЕАНАЛИЗОВ И РАДИОЗАТМЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА COSMIC / FORMOSAT-3

А.С. Зарубин[1], Н.В. Ширшов[2], А.И. Погорельцев[1]

[1] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, a-zarubin@mail.ru
[2] ФГУП «ЦЭНКИ», Москва

Представлена методика обработки данных о температуре, полученных в эксперименте COSMIC. Выполнено сравнение результатов, полученных на основе данных зондирования COSMIC и реанализов ERA5 и MERRA-2, для амплитуд бегущих на запад волн с зональными волновыми числами $m = 1$ и $m = 2$, а также для суточного и полусуточного приливов. Показана возможность исследования планетарных волн и атмосферных приливов с учетом их внутрисезонной изменчивости.

Ключевые слова: радиозатменные наблюдения, планетарные волны, атмосферные приливы.

GLOBAL ATMOSPHERIC WAVES ACCORDING TO THE MODERN REANALYSES AND RADIO-OCCULTATION EXPERIMENT COSMIC / FORMOSAT-3 DATA

A.S. Zarubin[1], N.V. Shirshov[2], A.I. Pogoreltsev[1]

[1] Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia
[2] FSUE «TsENKI», Moscow, Russia

The technique to process the temperature data obtained in the COSMIC experiment is presented. The results obtained on the basis of COSMIC sounding data and reanalyses of ERA5 and MERRA-2 have been compared for the amplitudes of waves traveling westward with zonal wave numbers 1 and 2, as well as for diurnal and semidiurnal tides. The possibility of studying planetary waves and atmospheric tides considering their variability has been shown.

Keywords: radio occultation measurements, planetary waves, atmospheric tides.

For citation: *Zarubin A.S., Shirshov N.V., Pogoreltsev A.I.* Global Atmospheric Waves According to the Modern Reanalyses and Radio-Occultation Experiment Cosmic / Formosat-3 Data. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 20—30. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-20-30

Введение

Изучение волновых процессов разных временных и пространственных масштабов является одной из важнейших задач физики атмосферы. Интерес к данной теме вызван, прежде всего, тем, что при распространении из нижних слоев в верхние волны переносят энергию и импульс, осуществляя тем самым взаимодействие между атмосферными слоями и воздействуя на тепловой режим и циркуляцию

средней и верхней атмосферы. Кроме того, достигая высот верхней атмосферы, волны создают возмущения ионосферных параметров, учет которых необходим при прогнозировании космической погоды и для повышения надежности работы систем спутниковой навигации и радиолокации. Медленные планетарные волны не распространяются в термосферу, но способны оказывать влияние на верхнюю атмосферу, модулируя более быстрые гравитационные волны и атмосферные приливы. Таким образом, исследование глобальных волн в средней атмосфере, выступающей передающим звеном между нижней и верхней атмосферой, представляется актуальным.

В качестве источника информации о глобальном распределении метеорологических полей были выбраны данные эксперимента по радиозатменному зондированию атмосферы COSMIC/FORMOSAT-3 (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, в дальнейшем COSMIC) [1]. COSMIC — совместный проект США и Тайваня, осуществляемый с 15 апреля 2006 г. В рамках эксперимента была образована группа из шести низкоорбитальных спутников с наклоном орбиты 72° и высотой 512 км (впоследствии высота орбиты была увеличена до 800 км). В течение суток производится в среднем около 2000 зондирований атмосферы, в том числе над океанами и труднодоступными районами суши. В результате почти в реальном времени доступны профили угла рефракции, температуры, давления и парциального давления водяного пара для нейтральной атмосферы, а также электронной концентрации в ионосфере. Вертикальные профили температуры воздуха в диапазоне высоты от 5 до 30 км могут быть определены с погрешностью менее 1 K. Выше 30 км ошибки определения температуры возрастают из-за влияния ионосферных флуктуаций и могут достигать 5 K [2].

Основная трудность при использовании данных радиозатменных наблюдений для анализа динамических процессов в атмосфере заключается в их крайне нерегулярном пространственно-временном распределении, что особенно ощутимо при исследовании высокочастотных возмущений. В связи с этим в большинстве работ, посвященных изучению атмосферных приливов на основе спутниковых данных, и данных эксперимента COSMIC в частности (см., например, [3]), рассматривается их среднемесячная изменчивость, в то время как наибольший интерес представляет внутрисезонная изменчивость.

В рамках настоящей работы предлагается методика обработки спутниковых данных для исследования глобальных атмосферных волн, позволяющая не только изучать среднемесячные характеристики, но также оценивать их внутрисезонную изменчивость. Полученные результаты использовались для проверки возможности изучения атмосферных приливов на основе данных современных реанализов ERA5 [4] и MERRA-2 [5], предоставляющих данные о температуре с временным разрешением 1 и 3 часа соответственно.

Методика

Как отмечалось выше, данные радиозатменного зондирования имеют крайне нерегулярное распределение в пространстве и во времени, поэтому для перехода

к регулярной сетке использовалась аппроксимация распределения температуры на рассматриваемом уровне и в широтных поясах по 10°, центрированных широтами сетки, принятой в модели средней и верхней атмосферы (МСВА) [6, 7]. При аппроксимации учитывались постоянная составляющая и четыре гармоники с зональными волновыми числами $m = 1\ldots4$, а зависимость температуры от долготы описывалась выражением

$$T_i^a = \sum_{j=1}^{2NG+1} x_j \Phi_j^i, \tag{1}$$

где x_j — коэффициенты аппроксимации;

$$\Phi_j^i = \sin\left(m\lambda_i\right) \text{ при } j = m = 1, 2, \ldots, NG;$$

$$\Phi_j^i = \cos\left(m\lambda_i\right) \text{ при } j = NG+1, NG+2, \ldots, 2NG;$$

$$\Phi_{2NG+1}^i = 1;$$

$NG = 4$ — число зональных гармоник, учтенных при аппроксимации; λ — долгота.

Аппроксимация производится по методу наименьших квадратов, т. е. определяется такой набор значений коэффициентов (параметров модели), при котором обеспечивается минимум суммы квадратов разности аппроксимированных и измеренных значений:

$$I = \sum_{i=1}^{n}\left(T_i^a - T_i\right)^2 = \sum_{i=1}^{n}\left[\left(Ax - b\right)_i\right]^2, \tag{2}$$

где n — число измерений; $\left(A\right)_{ij} = \Phi_j^i$; b — вектор данных наблюдений.

Таким образом, задача наименьших квадратов сводится к решению уравнения $Ax = b$.

Для определения параметров модели и оценки числа обусловленности применяется сингулярное разложение (*Singular* Value Decomposition) матрицы A [8, 9].

Суть сингулярного разложения заключается в том, что для любой вещественной $\left(m \times n\right)$ матрицы A существуют две вещественные ортогональные матрицы U и V размером $\left(m \times m\right)$ и $\left(n \times n\right)$ соответственно, такие что

$$U^T A V = \Sigma, \tag{3}$$

где Σ — диагональная матрица размером $\left(m \times n\right)$, диагональные элементы которой $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \ldots \geq \sigma_n \geq 0$. Величины σ_i называются сингулярными числами матрицы A, наименьшее из которых равно расстоянию в 2-норме от матрицы A до ближайшей вырожденной матрицы. Если матрица A вырождена, то $\sigma_n = 0$. На практике сингулярные числа редко в точности равны нулю, но если матрица A «близка к вырожденной», то некоторые из сингулярных чисел будут очень малыми, а

значит, отношение σ_1/σ_n можно рассматривать как оценку числа обусловленности матрицы A.

Учитывая ортогональность матрицы U, имеем:

$$\|Ax-b\|_2 = \|U\Sigma V^T\|_2 = \|U^T(U\Sigma V^T x - b)\|_2 = \|\Sigma V^T x - U^T b\|_2. \quad (4)$$

Введя обозначения $d = U^T b$ и $z = V^T x$, получим:

$$\|Ax-b\|_2 = \|\Sigma z - d\|_2 = (\sigma_1 z_1 - d_1)^2 + \ldots + (\sigma_n z_n - d_n)^2 + d_{n+1}^2 + \ldots + d_m^2. \quad (5)$$

Если ни одно из сингулярных чисел не равно нулю, то можно однозначно выбрать z_j, чтобы свести эту величину к минимуму:

$$\|Ax-b\|_2 = d_{n+1}^2 + \ldots + d_m^2.$$

В этом случае задача наименьших квадратов имеет единственное решение. Если же $\sigma_n = 0$, то возможен произвольный выбор z_n и любой выбор даст одну и ту же остаточную сумму квадратов. Зная значения z_j, можно рассчитать параметры модели и получить амплитуды и фазы зональных гармоник. Оценка сингулярных чисел позволяет выявлять некачественные результаты. В работе [9] рекомендуется отбрасывать слишком малые сингулярные числа для повышения надежности вычислений, но такой подход не всегда работает. В связи с этим предлагается полностью исключать из дальнейшей обработки результаты с низкой обусловленностью, а к оставшимся данным применять методику периодограмм Ломба-Скаргла [11], позволяющую заполнить «пробелы» и получить равномерные временные ряды амплитуд и фаз зональных гармоник. Критерий для отбраковки данных выбирается с помощью тестовых расчетов из условия устойчивости амплитуд, т. е. отбрасывание малых сингулярных чисел не приводит к значительному изменению амплитуд гармоник.

К временным рядам, восстановленным с помощью полученных амплитуд и фаз гармоник на долготах, смещенных на четверть длины волны, можно применить вейвлет-преобразование Морле [10], что позволяет в дальнейшем разделить волны на стационарные (неподвижные относительно земной поверхности) и бегущие на запад и восток [7].

Для исследования крупномасштабных возмущений при аппроксимации учитываются все данные, попадающие в рассматриваемые сутки, что позволяет получить амплитуды и фазы гармоник с разрешением 24 часа. Числа зондирований в течение суток, как правило, достаточно для результатов с хорошей обусловленностью, т. е. для получения устойчивых амплитуд (исключением являются полярные области). Для выявления высокочастотных возмущений, в частности атмосферных приливов, нужно иметь амплитуды и фазы гармоник с более высоким временным разрешением (по меньшей мере, трехчасовые данные). В связи с этим аппроксимация производилась для каждого трехчасового интервала за 7 дней с присвоением полученных результатов центральному дню и рассматриваемому моменту времени.

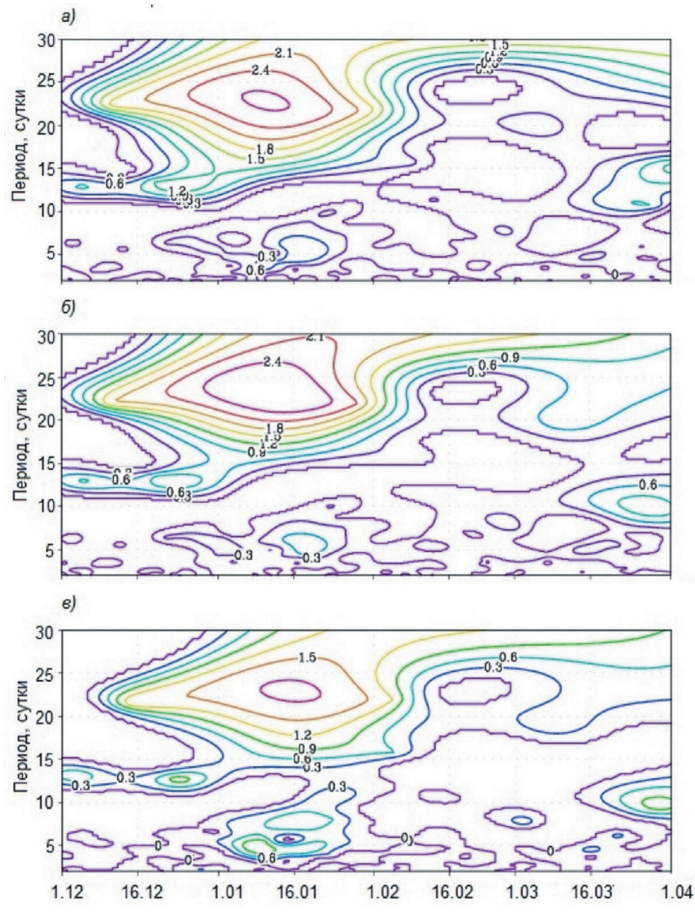

Рис. 1. Амплитуды бегущих на запад волн с m = 1 в полях температуры по данным ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) и COSMIC (*в*) на высоте 30 км и широте 62,5° с. для периода декабрь 2012 г. — март 2013 г.

Fig. 1. Observed changes of amplitude wavelet spectra for westward propagating PW1 in temperature at 30 km, 62,5° N in December 2012—March 2013: ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) and COSMIC (*в*).

Результаты

На рис. 1 приведены результаты для бегущих на запад волн с зональным волновым числом m = 1 по температурным данным эксперимента COSMIC и данным реанализов ERA5 и MERRA-2 на широте 62,5° с. и высоте 30 км для зимы 2012/13 г. Из рисунка видно, что результаты качественно согласуются, но для периодов менее 10 суток амплитуды планетарных волн с m = 1 по данным COSMIC больше амплитуд, полученных на основе данных реанализов, в то время как для более длительных периодов ситуация меняется и возмущения по данным реанализов

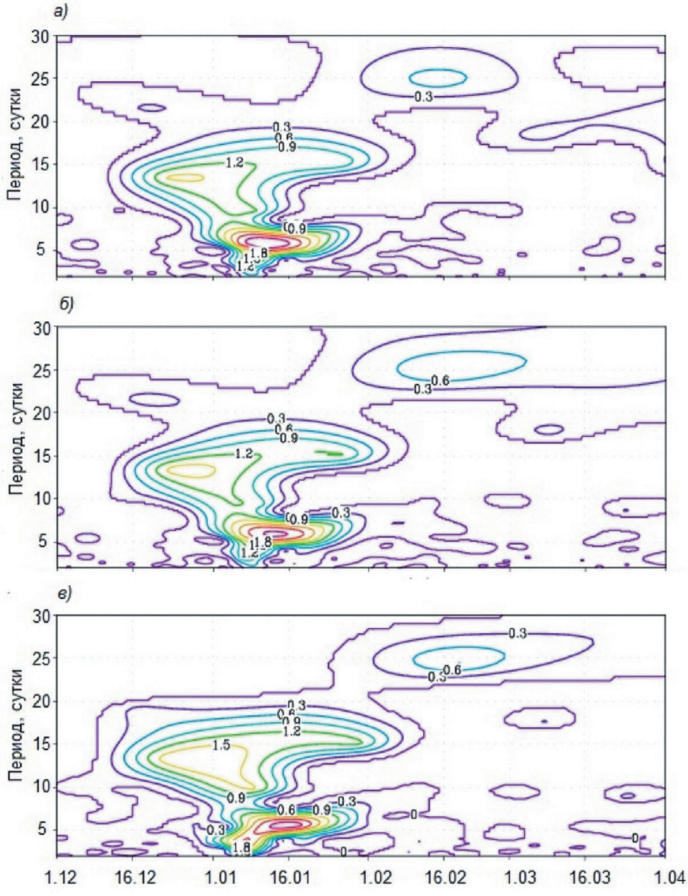

Рис. 2. Амплитуды бегущих на запад волн с $m = 2$ в полях температуры по данным ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) и COSMIC (*в*) на высоте 30 км и широте 62,5° с. для периода декабрь 2012 г. — март 2013 г.

Fig. 2. Observed changes of amplitude wavelet spectra for westward propagating PW2 in temperature at 30 km, 62,5° N in December 2012—March 2013: ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) and COSMIC (*в*).

несколько сильнее. Расхождения в значениях амплитуд незначительны и могут быть связаны с разными схемами ассимиляции данных в ERA5 и MERRA-2.

На рис. 2 показаны аналогичные результаты для планетарных волн с зональным волновым числом $m = 2$. Из рисунка видно хорошее качественное и количественное согласие в амплитудах возмущений для всех рассматриваемых данных.

На рисунках заметны максимумы, близкие к резонансным частотам: на периодах 5, 10 и 16 суток для зонального волнового числа $m = 1$ и на периодах 4, 7 и 12 суток для $m = 2$. Таким образом, все данные позволяют обнаруживать

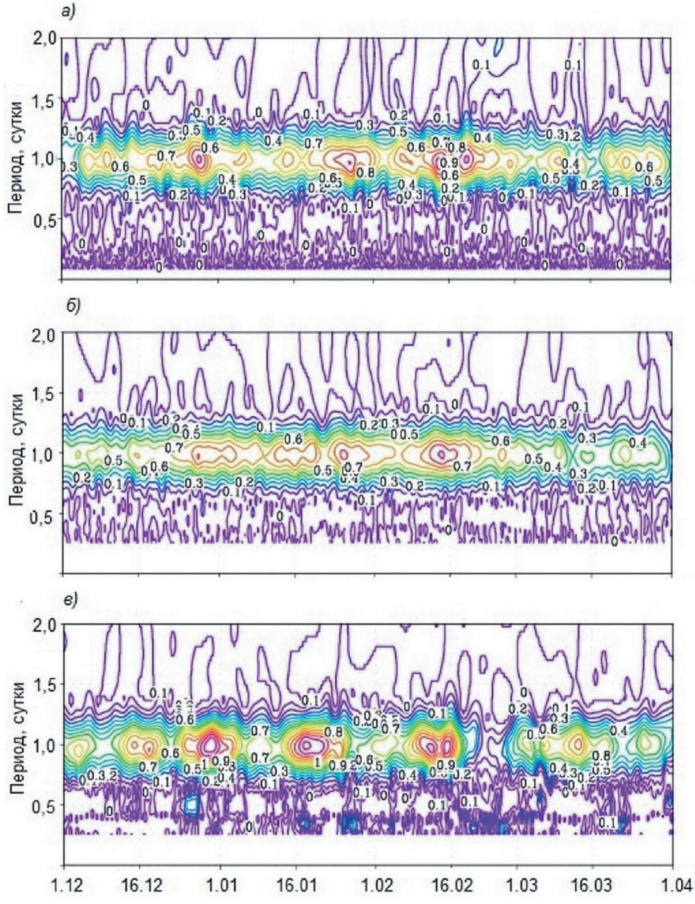

Рис. 3. Амплитуды бегущих на запад волн с $m = 1$ в полях температуры по данным ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) и COSMIC (*в*) на высоте 30 км и широте 2,5° с. для периода декабрь 2012 г. — март 2013 г.

Fig. 3. Observed changes of amplitude wavelet spectra for westward propagating PW1 in temperature at 30 km, 62,5° N in December 2012—March 2013: ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) and COSMIC (*в*).

планетарные волны на высотах стратосферы. Следует отметить, что амплитуды осцилляций в поле температуры характеризуют, главным образом, условия распространения волн, поэтому для полного анализа необходимо рассматривать поля геопотенциальной высоты. Поле геопотенциальной высоты на основе данных о температуре можно восстановить с помощью уравнения гидростатики [12].

На рис. 3 представлены результаты для бегущих на запад волн с зональным волновым числом $m = 1$ по температурным данным эксперимента COSMIC и данным реанализов ERA5 и MERRA-2 на широте 2,5° с. и высоте 30 км. Анализ

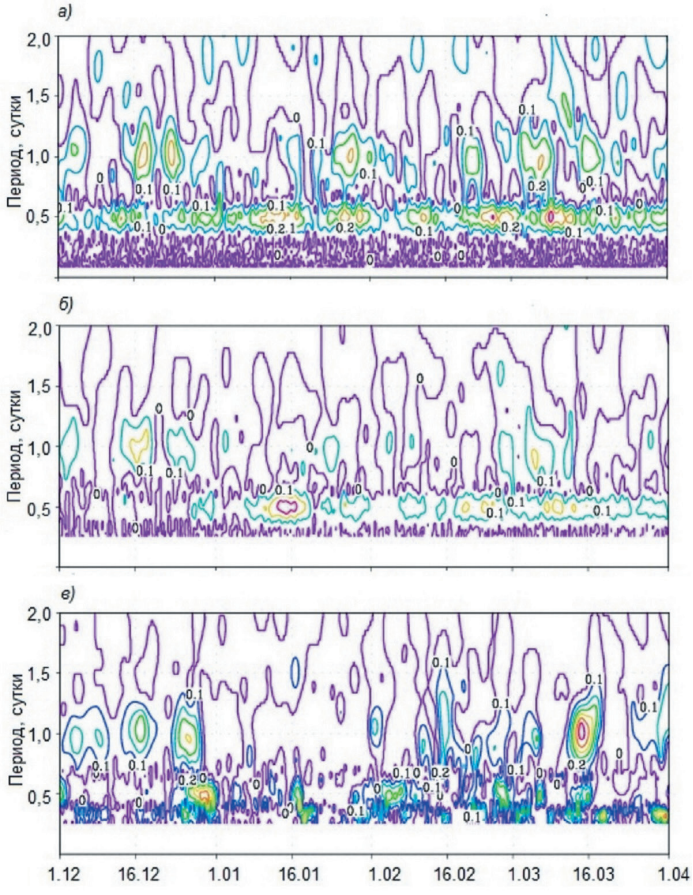

Рис. 4. Амплитуды бегущих на запад волн с $m = 2$ в полях температуры по данным ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) и COSMIC (*в*) на высоте 30 км и широте 2,5° с. для периода декабрь 2012 г. — март 2013 г.

Fig. 4. Observed changes of amplitude wavelet spectra for westward propagating PW2 in temperature at 30 km, 62,5° N in December 2012—March 2013: ERA5 (*а*), MERRA-2 (*б*) and COSMIC (*в*).

результатов показывает, что амплитуды суточного прилива по данным эксперимента COSMIC несколько больше амплитуд по данным реанализов; при этом амплитуды на основе данных MERRA-2 меньше, чем по данным ERA5. Разница в значениях амплитуд может быть вызвана сглаживанием данных реанализа при ассимиляции, которая сильнее для большего разрешения по времени. Качественно результаты согласуются, но в некоторые моменты разнятся, поэтому нельзя однозначно сказать, какие данные более точные.

На рис. 4 приведены аналогичные результаты для планетарных волн с зональным волновым числом $m = 2$. Из рисунка видно, что полусуточный прилив по MERRA-2 более сглажен по сравнению с ERA5. Результаты по данным эксперимента COSMIC имеют «рваную» структуру, что может быть обусловлено нехваткой данных. Тем не менее отдельные максимумы качественно совпадают для всех данных. Также можно отметить, что суточный немигрирующий прилив просматривается лучше и может анализироваться. В перспективе ситуация может улучшиться в связи с запуском в рамках эксперимента COSMIC-2 / FORMOSAT-7 шести новых спутников, которые будут давать дополнительно порядка 4000 профилей атмосферных параметров для широтной зоны от 40° ю.ш. до 40° с.ш. [13].

Заключение

Представлена методика обработки данных радиозатменных наблюдений для исследования глобальных атмосферных волн с учетом их изменчивости. Сравнение результатов, полученных на основе данных эксперимента COSMIC и современных реанализов, показало, что характеристики планетарных волн по обоим видам данных качественно и количественно согласуются. При анализе приливных колебаний было выявлено, что амплитуды суточного прилива по данным COSMIC несколько больше, чем по данным реанализов, которые более сглажены (особенно для MERRA-2). Полусуточный прилив на основе данных радиозатменных наблюдений воспроизводится хуже, что связано с недостаточным разрешением по времени, получаемом в эксперименте COSMIC. Это может измениться по мере появления дополнительных данных измерений в рамках проекта COSMIC-2.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-05-01050.

Список литературы

1. *Anthes R. A., Bernhardt P.A., Chen Y., Cucurull L., Dymond K.F., Ector D., Healy S.B., Ho S. -P., Hunt D.C, Kuo Y.-H., Liu H., Manning K., McCormick C., Meehan T.K., Randel W.J., Rocken C., Schreiner W.S., Sokolovskiy S.V., Syndergaard S., Thompson D.C., Trenberth K.E., Wee T.-K., Yen N.L., Zeng Z.* The COSMIC / FORMOSAT-3 Mission. Early results // Bull. Amer. Met. Soc. 2008. V. 89. P. 313—333.
2. *Rocken C., Kuo Y.-H., Sokolovskiy S., Anthes R. A.* The ROCSAT-3/COSMIC Mission and Applications of GPS Radio Occultation Data to Weather and Climate / In: Remote Sensing Applications of the Global Positioning System / Ed. by M. Bevis, Y. Shoji, S. Businger. 2004. V. 5661. P. 1—12.
3. *Pirscher B., Foelsche U., Borsche M., Kirchengast G., Kuo Y. -H.* Analysis of migrating diurnal tides detected in FORMOSAT-3 / COSMIC temperature data // J. Geophys. Res. 2010. V. 115, D14108, doi:10.1029/2009JD013008.
4. URL: https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation (дата обращения: 15.02.2020).
5. *Gelaro R.* et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2) // J. Climate. 2017. No. 30. P. 5419—5454.

6. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными васцилляциями // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 4. С. 463—475.
7. *Pogoreltsev, A.I., Vlasov A.A., Fröhlich K., Jacobi Ch.* Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2007. No. 69. P. 2083—2101 doi:10.1016/j.jastp.2007.05.014.
8. Лоусон *Ч.,* Хенсон *Р.* Численное решение задач метода наименьших квадратов / Пер. с англ. Х.Д. Икрамова. М.: Наука, 1986. 232 с.
9. *Forsythe G., Malcolm M., Moler C.* Computer Methods for Mathematical Computations // Prentice Hall. 1st edition. 1977. 259 p.
10. *Torrence Ch., Compo G.P.* A practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Met. Soc. 1998. V. 79. No. 1. P. 61—78.
11. *Press W. H., Teukolsky S.A.* Search algorithm for weak periodic signal in unevenly spaced data // Computers in Phys. 1988. No. 2. P. 77—82.
12. *Зарубин А.С., Погорельцев А.И.* Планетарные волны в зимней стратосфере Северного полушария на основе данных наблюдений эксперимента COSMIC // Ученые записки РГГМУ. 2012. № 26. С. 91—99.
13. URL: https://www.cosmic.ucar.edu/what-we-do/cosmic-2/ (дата обращения: 15.02.2020).

References

1. *Anthes R. A., Bernhardt P.A., Chen Y., Cucurull L., Dymond K.F., Ector D., Healy S.B., Ho S. -P., Hunt D.C, Kuo Y.-H., Liu H., Manning K., McCormick C., Meehan T.K., Randel W.J., Rocken C., Schreiner W.S., Sokolovskiy S.V., Syndergaard S., Thompson D.C., Trenberth K.E., Wee T.-K., Yen N.L., Zeng Z.* The COSMIC/FORMOSAT-3 Mission. Early results. Bull. American Meteorological Society. 2008, 89: 313—333.
2. *Rocken C., Kuo Y.-H., Sokolovskiy S., Anthes R. A.* The ROCSAT-3/COSMIC Mission and Applications of GPS Radio Occultation Data to Weather and Climate. Remote Sensing Applications of the Global Positioning System. Edited by Michael Bevis, Yoshinori Shoji, Steven Businger. 2004, 5661: 1—12.
3. *Pirscher, B., Foelsche U., Borsche M., Kirchengast G., Kuo Y. -H.* Analysis of migrating diurnal tides detected in FORMOSAT-3 / COSMIC temperature data. J. Geophys. Res. 2010, 115. D14108, doi:10.1029/2009JD013008.
4. URL: https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation (accessed 15 February 2020).
5. *Gelaro R.* et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2). J. Climate. 2017, 30: 5419—5454.
6. *Pogoreltsev A.I.* Generation of normal atmospheric modes by stratospheric vacillations. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery` i okeana.* RAS news. Atmospheric and Oceanic Physics. 2007, 43, 4: 423—435.
7. *Pogoreltsev, A.I., Vlasov A.A., Fröhlich K., Jacobi Ch.* Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2007, 69: 2083—2101.
8. *Lawson Ch., Henson R. Chislennoe reshenie zadach metoda naimen'shih kvadratov.* Solving Least Squares Problems. Translated by Kh. D. Ikramova. Moscow: Nauka. 1986: 232 p. [In Russian]
9. *Forsythe G., Malcolm M., Moler C.* Computer Methods for Mathematical Computations. Prentice Hall; 1st edition. 1977: 259 p.
10. *Torrence Ch., Compo G.P.* A practical guide to wavelet analysis. Bull. Amer. Met. Soc. 1998, 79, 1: 61—78.
11. *Press W. H., Teukolsky S.A.* Search algorithm for weak periodic signal in unevenly spaced data. Computers in Phys. 1988, 2: 77—82.
12. *Zarubin A. S., Pogoreltsev A. I.* Planetary waves in the winter stratosphere of northern hemisphere on the basis of COSMIC experiment observations. *Uchenye zapiski RSHU*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2012, 26: 91—99. [In Russian].
13. URL: https://www.cosmic.ucar.edu/what-we-do/cosmic-2/ (accessed 15 February 2020).

Статья поступила 9.02.2020
Принята в печать 05.03.2020

Сведения об авторах

Зарубин Антон Сергеевич, стажер, Российский государственный гидрометеорологический университет, e-mail: a-zarubin@mail.ru

Ширшов Николай Васильевич, канд. физ.-мат. наук, начальник отдела, ФГУП «ЦЭНКИ», e-mail: nsh@bk.ru

Погорельцев Александр Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор, Российский государственный гидрометеорологический университет, e-mail: apogor@rshu.ru

Information about authors

Zarubin Anton Sergeevich, intern, Russian State Hydrometeorological University

Shirshov Nikolay Vasilievich, Phd in Phys. and Math. Sci., head of department, FSUE «TsENKI»

Pogoreltsev Alexander Ivanovich, D. Sci. in Phys. and Math. Sci., professor, Russian State Hydrometeorological University

УДК 551.509.616 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-31-40

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ

Н.С. Ким[1], В.П. Корнеев[1], А.М. Петрунин[1], А.В. Частухин[1], Е.Ф. Воронин[2]

[1] АНО «Агентство атмосферных технологий», Москва, Россия, attech@mail.ru
[2] Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, Киев, Украина

Приводятся результаты исследования эффективности наноразмерных льдообразующих реагентов, которые предполагается использовать в активных воздействиях на облака для регулирования осадков и борьбы с градом. Результаты исследований льдообразующих реагентов, проведенных на лабораторных установках в ФГБУ «НПО «Тайфун», ФГБУ «ВГИ», АО «ЧПО им. В.И. Чапаева» и АНО «Агентство атмосферных технологий», показали, что эффективность этих реагентов существенно отличается от полученных ранее в ФГБУ «ЦАО». Высказано предположение, что низкая эффективность наноразмерных льдообразующих реагентов связана с высокой агрегированностью исходных частиц нанокремнезема.

Ключевые слова: йодид серебра, нуклеация льда, льдообразующая эффективность, наноразмерные реагенты, кремнезем, агрегация, агломераты.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF NANOSIZED POWDERED ICE-FORMING REAGENTS

N.S. Kim[1], V.P. Korneev[1], A.M. Petrunin[1], A.V. Chastuhin[1], E.F. Voronin[2]

[1]ANO «Agency of Atmospheric Technologies»
[2] Institute of surface chemistry A.A. Chuiko NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

The article discusses nanosized powdery ice-forming reagents, which are supposed to be used in the works on active action on clouds in order to regulate precipitation and hail suppression, as well as to dissipate supercooled fog. These ice-forming reagents have been obtained by the levilite method, in which a layer of silver iodide is deposited on the surface of nanosilica particles. Description of the methodology for studying the effectiveness of nanosized powdery ice-forming reagents, as well as the results of laboratory studies of their effectiveness obtained in different organizations is given. The results of studies of ice-forming reagents carried out at laboratories of RPA “Typhoon”, High-Mountain Geophysical Institute, JSC “Cheboksary production association n.a. V.I. Chapaev” and ANO “Agency of atmospheric technologies” have shown that the efficiency of these reagents differs significantly from those obtained earlier in the Central Aerological Observatory. It has been suggested that the low efficiency of nanosized ice-forming reagents is due to the high aggregation of the original nanosilicum particles, resulting from the high surface activity of these particles. Possible ways to reduce the degree of aggregation of powders by modifying the surface of the original nanoparticles aimed at decreasing the high activity of the nanosilica particles surface are discussed.

Keywords: silver iodide, ice nucleation, ice-forming efficiency, nanosized reagents, silica, aggregation, agglomerates.

For citation: *Kim N.S., Korneev V.P., Petrunin A.M., Chastuhin A.V., Voronin E.F.* Research of Efficiency of Nanosized Powdered Ice-Forming Reagents. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 31—40. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-31-40

Введение. Состояние вопроса

Основным реагентом, применяемым при активных воздействиях на переохлажденные облака и туманы, до настоящего времени является наиболее эффективный, но дорогостоящий йодид серебра [1], который вводится в облако в виде высокодисперсного аэрозоля. Развитие теории гетерогенной нуклеации льда Флетчера [2] и результаты многочисленных экспериментальных исследований показали, что большую роль в эффективности нуклеации льда играют не объемные, а поверхностные характеристики аэрозольной частицы [3]; при этом особую роль играют так называемые активные центры льдообразования, природа которых до настоящего времени не выявлена. Как показали выводы стохастической теории гетерогенной нуклеации льда [4], процесс льдообразования происходит на активном центре, имеющем наибольший размер из всех существующих на поверхности.

В общем случае число активных льдообразующих частиц в аэрозоле можно записать в виде следующей формулы [4]:

$$N = N_1 \int_0^\infty \theta\left(r - r^*\right)\left\{1 - \exp\left[-4\pi r^2 e^{k_0\left(\Delta T - \Delta T_{50}\right)} \cdot \frac{\left(1 - e^{\beta\tau}\right)\cdot \ln 2}{\left(1 - e^{-\beta\tau_э}\right)\cdot S_э}\right]\right\} f(r)dr. \qquad (1)$$

С помощью этого уравнения можно учесть следующие основные параметры, определяющие активность льдообразующих аэрозолей:

— влажность среды, пороговое влияние которой учитывается посредством функции $\theta(r - r^*)$, где θ — влажность среды, r — радиус частицы, r^* — критический размер, при котором на частице начинается образование льда;

— температура среды (переохлаждение), определяющая вероятность нуклеации;

— дисперсные характеристики аэрозоля, описываемые с помощью $f(r)$ и учитываемые как в $\theta(r - r^*)$, так и в показателе экспоненты, определяющей вероятность нуклеации в адсорбированной на поверхности частицы пленке воды;

— параметры, описывающие адсорбционные и кристаллизационные (ΔT_{50}, $S_э$ и $\tau_э$) характеристики поверхности аэрозольных частиц, где ΔT_{50} — пороговая температура, при которой 50% капель, содержащих частицы суммарной площадью $S_э$, кристаллизуется за фиксированное время $\tau_э$.

Очевидно, что при увеличении эффективной поверхности частицы, т. е. при увеличении нуклеационной активности центров льдообразования, роль этих параметров должна возрастать относительно размера частицы.

Таким образом, для проведения эффективного воздействия на переохлажденные облака можно использовать аэрозольные частицы сложной структуры, на поверхности которых расположены участки или тонкий слой йодида серебра, а внутренний объем состоит из дешевого инертного вещества. При этом размер частиц, согласно формуле (1), должен обеспечить адсорбционное формирование пленки воды на начальном этапе гетерогенной нуклеации льда. Для обычных температурных условий в слое облака, на которое проводится воздействие, радиус такой частицы должен составлять 0,01—0,04 мкм.

На основе этих положений в конце 80-х годов прошлого века в Институте химии поверхности им. А.А.Чуйко НАН Украины (тогда еще отдел химии поверхности Института физической химии им. Л.В. Писаржевского АН УССР) была разработана технология [5] получения наноразмерных порошкообразных льдообразующих реагентов, на поверхности частиц которого был нанесен слой AgI. В качестве инертных носителей были использованы частицы диоксида кремния (нанокремнезем) диаметром около 0,01 мкм. На этом этапе содержание йодида серебра составляло около 2 %. Результаты испытаний по методике НПО «Тайфун» [6] при пневматическом распылении этого порошка в воздушном потоке аэродинамической трубы не показали практически значимого выхода льдообразующих частиц и были ниже порога чувствительности для этой методики (менее 10^9 частиц на 1 г порошка).

Дальнейшие исследования в Институте химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины позволили авторам разработать ряд наноразмерных порошкообразных льдообразующих реагентов с повышенным содержанием AgI (до 13 %), которые при испытаниях в ФГБУ «ЦАО» показали очень высокую льдообразующую эффективность [7]. Результаты этих испытаний для двух наиболее эффективных реагентов (образцы М-333 и LN-212) и штатного пиротехнического состава АД-1, содержащего 8 % AgI (Россия), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Льдообразующая эффективность реагентов LN-212 и М-333

Ice-forming efficiency of reagents LN-212 and M-333

Температура, °С	Выход частиц, $г^{-1}$		
	М-333	LN-212	АД-1
–10	$4{,}60\cdot10^{13}$	$5{,}00\cdot10^{14}$	$1{,}23\cdot10^{13}$
–8	$1{,}53\cdot10^{13}$	$3{,}50\cdot10^{14}$	$7{,}84\cdot10^{12}$
–6	$8{,}00\cdot10^{12}$	$4{,}40\cdot10^{13}$	$2{,}84\cdot10^{12}$
–3	$9{,}66\cdot10^{11}$	10^{12}	$6{,}00\cdot10^{10}$

Сравнение данных табл. 1 показывает, что, например, эффективность порошка LN-212, содержащего 12 % AgI, во всем температурном диапазоне на полтора порядка величины превышает эффективность штатного пиротехнического состава АД-1.

При такой высокой эффективности порошкообразные реагенты, кроме того, обладают важными практическими преимуществами перед пиротехническими составами: во-первых, они пожаро- и взрывобезопасны, во-вторых, хранение и транспортировка таких реагентов не требуют специальных мер предосторожности и, в-третьих, при проведении практических работ для получения положительного эффекта воздействия потребуется значительно меньшее количество реагента.

На основе данных, заимствованных из [7] с учетом более высокой пороговой температуры льдообразования (согласно данным табл. 1), авторами были проведены численные исследования по оценке эффективности порошкообразного льдообразующего реагента LN-212 при воздействии на облака в сравнении

а) *б)*

Рис. 1. Устройства для распыления наноразмерного льдообразующего реагента.

а) с дистанционно пилотируемого летательного аппарата (гексакоптера), *б*) с борта самолета.

Fig. 1. Devices for spraying nanoscale ice-forming reagent.

а) from a remotely piloted aircraft (hexacopter), *б*) from aboard.

с самолетными пиротехническими генераторами [8]. Результаты расчета показали, что эффект от воздействия наноразмерным льдообразующим реагентом LN-212, сравнимый с эффектом от воздействия самолетным пиротехническим генератором, достигается при значительно меньшем массовом расходе реагента.

Такой малый по сравнению с традиционными пиротехническим составами расход реагента, необходимый для получения положительного эффекта воздействия, позволил рассмотреть возможность применения как беспилотных, так и пилотируемых летательных аппаратов, оборудованных устройством для диспергирования наноразмерных порошкообразных льдообразующих реагентов.

На рис. 1 представлены разработанные АНО «Агентство атмосферных технологий» (АНО «Агентство АТТЕХ») опытные образцы устройств, с помощью которых предполагалось производить диспергирование льдообразующих реагентов при проведении натурных испытаний.

Основной задачей настоящих исследований является получение уточненных данных об эффективности льдообразующего реагента типа LN-212 в разных организациях России.

Методические особенности исследования эффективности наноразмерных порошкообразных реагентов

Дополнительные лабораторные испытания были проведены в 2017—2018 гг. Испытания проводились с опытно-промышленной партией наноразмерного льдообразующего реагента типа LN-212, изготовленного по той же технологии, что и опытные образцы реагента LN-212 партии 2014 г. Согласно паспортным данным, реагент LN-212 содержал:

1) диоксид кремния (SiO_2) 58 %;
2) йодид серебра (AgI) 12 %;
3) нитрат калия (KNO_3) 12 %;
4) вода (H_2O) 18 %.

Определение выхода активных частиц проводилось по стандартной методике ФГБУ «ЦАО». При этом получение аэрозоля производилось путем распыления с помощью стеклянного шприца 10—20 мг навески порошка, взятого из небольшого стеклянного стаканчика (бюкса), с последующим внесением (вдуванием) пробы в отдельную аэрозольную камеру объемом ~800 л [7]. После перемешивания и выравнивания концентрации проба полученного аэрозоля оптимального объема (от 20 до 150 см^3 при разной температуре тумана) вводилась в облачную камеру (объемом ~300 л) с предварительно созданным переохлажденным туманом.

В табл. 2 приведены результаты испытаний данной партии реагента LN-212, предоставленной АНО «Агентство АТТЕХ», проведенных в ФГБУ «ЦАО» в 2017 г. (в соответствии с актом испытаний ФГБУ «ЦАО»).

Таблица 2

Льдообразующая эффективность реагента LN-212

Ice-forming efficiency of reagent LN-212

Температура, °С	Выход, г$^{-1}$	Примечание
–12,0	$5{,}22\cdot10^{13}$	–
–10,0	$2{,}01\cdot10^{13}$	–
–9,0	$1{,}32\cdot10^{13}$	–
–8,0	$1{,}27\cdot10^{12}$	–
–6,0	$6{,}04\cdot10^{11}$	–
–10,0	$5{,}75\cdot10^{13}$	Перетертый
–8,0	$8{,}10\cdot10^{12}$	Перетертый
–6,0	$2{,}60\cdot10^{12}$	Перетертый

Как видно из табл. 2, лабораторные испытания данной партии реагента в ФГБУ «ЦАО» показали эффективность реагента LN-212 на уровне штатного пиротехнического состава АД-1, но значительно ниже, чем в испытаниях за 2014 г. (см. табл. 1). Предположительно более низкие результаты могут объясняться получением более грубодисперсного порошка (подтверждением этому служит и факт увеличения эффективности в случае перетертого порошка).

С целью уточнения результатов, полученных в ФГБУ «ЦАО», были проведены испытания опытно-промышленной партии реагента LN-212 в ФГБУ НПО «Тайфун», ФГБУ «ВГИ», АО «ЧПО им. В.И. Чапаева» и на стенде АНО «Агентство АТТЕХ». Подготовка образцов порошкообразного реагента для испытаний (измельчение) и их испытания проводились в полном соответствии с методикой, описанной в [7]. Отличие состояло только в регистрации формирующихся в облачной камере ледяных кристаллов. В экспериментах, проведенных в ФГБУ «ЦАО» и описанных в работе [7], ледяные кристаллы осаждались на предметное стекло, смазанное метилметакрилатом. После полимеризации пленки на ней оставались

реплики кристаллов, которые в дальнейшем подсчитывались под оптическим микроскопом. В экспериментах, проведенных в других организациях, ледяные кристаллы осаждались на предметные стекла в предварительно охлажденных термостатах и сразу же фотографировались и подсчитывались в оптическом цифровом микроскопе.

Анализ результатов

В табл. 3 приведены результаты испытаний на льдообразующую эффективность реагента LN-212, полученные в ФГБУ «ВГИ», АО «ЧПО им. В.И.Чапаева», НПО «Тайфун» и АНО «Агентство АТТЕХ».

Таблица 3

ЛьдообразующаяэффективностьреагентаLN-212

Ice-forming efficiency of reagent LN-212

ФГБУ «ВГИ»		АО «ЧПО им. В.И. Чапаева»		НПО «Тайфун»		АНО «Агентство АТТЕХ»	
T, ºC	Выход, $г^{-1}$	*T*, ºC	Выход, $г^{-1}$	*T*, ºC	Выход, $г^{-1}$	*T*, ºC	Выход, $г^{-1}$
–12,0	$1{,}50\cdot10^{11}$	–14,8	$2{,}76\cdot10^{10}$	–	–	–11,6	$7{,}8\cdot10^{10}$
–8,8	$6{,}97\cdot10^{10}$	–12,0	$1{,}97\cdot10^{10}$	10,2	$2{,}30\cdot10^{10}$	–10,1	$5{,}1\cdot10^{10}$
–5,5	$3{,}40\cdot10^{10}$	–6,6	$3{,}22\cdot10^{9}$	–6,2	$1{,}70\cdot10^{10}$	–6,3	$1{,}3\cdot10^{10}$

Как видно из табл. 3, в результате испытаний, проведенных в разных организациях, были получены близкие значения, но они оказались на три-четыре порядка величины ниже значений, полученных в ФГБУ «ЦАО» (см. табл. 1 и табл. 2). При этом результаты испытаний реагента LN-212 на малых аэродинамических стендах АО «ЧПО им. В.И. Чапаева» и АНО «Агентства АТТЕХ» [9], распыляемого с помощью устройства, описанного выше (см. рис. 1 *б*), оказались ниже нижнего предела чувствительности этих методик — меньше 10^9 $г^{-1}$.

Помимо упомянутых выше испытаний, в АНО «Агентство АТТЕХ» проводились испытания, в ходе которых распыление порошков в аэрозольной камере производилось как по методике, описанной в [8], так и с помощью электростатического распылителя «Лидер», который может быть использован в практической работе. Однако во всех случаях полученные в результате измерений значения выхода льдообразующих частиц составляли менее 10^{11} $г^{-1}$.

Полученные данные показывают, что при определении льдообразующей эффективности необходимо применять методики измерений, в которых максимально близко моделируются условия распыления порошков при активных воздействиях с помощью летательных аппаратов.

По мнению авторов, причиной низкой эффективности наноразмерных порошкообразных льдообразующих реагентов является высокая агрегируемость в таких наносистемах отдельных наночастиц кремнезема, являющаяся результатом высокой активности поверхности этих частиц.

Известно, что 1 г нанокремнезема с удельной поверхностью 300 $м^2/г$ содержит примерно 10^{18} частиц диаметром 9—10 нм. На рис. 2 приведено схематическое

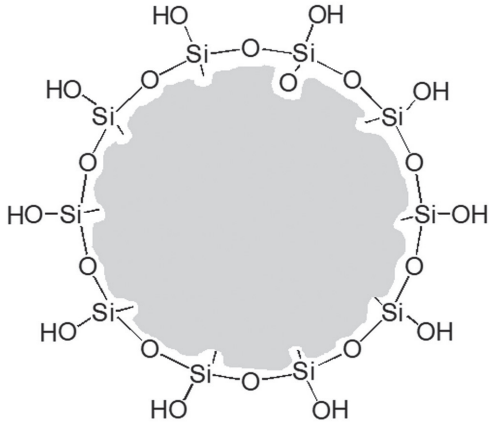

Рис. 2. Схематическое изображение частицы нанокремнезема.

Fig. 2. Schematic representation of a nanosilica particle.

изображение частицы нанокремнезема. Как видно из рисунка, поверхность каждой наночастицы покрыта гидроксильными (силанольными) группами и содержит молекулы сорбированной воды.

Благодаря водородным связям происходит взаимодействие частиц нанокремнезема (рис. 3).

Различают несколько уровней структурной иерархии пространственных структур нанокремнезема. Вначале сферические частицы нанокремнезема образуют агрегаты с линейными размерами 100—500 нм. Агрегаты, в свою очередь, объединяются в еще большие структуры — агломераты (>1 мкм), которые, в свою

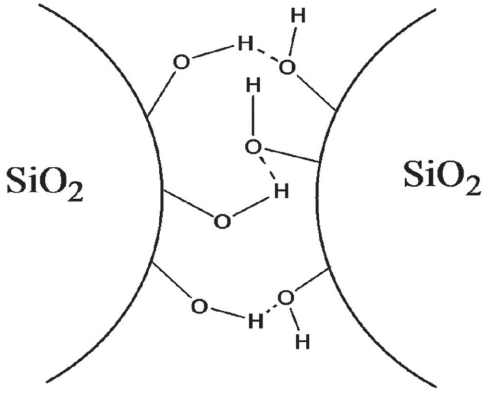

Рис. 3. Взаимодействие двух идеализированных частиц нанокремнезема.

Fig. 3. The interaction of two idealized particles of nanosilica.

очередь, образуют конгломераты (флокулы). На рис. 4 приведена фотография типичных агломератов.

Указанное выше говорит о том, что для повышения выхода льдообразующих частиц из одного грамма нанопорошка необходимо понизить высокую активность поверхности его частиц. Активность поверхности частиц можно уменьшить в результате абсорбции газов или жидкостей либо значительного ослабления межчастичных связей, например, путем:

— замещения части силанольных групп на триметилсилильные группы по реакции с триметилхлорсиланом или аналогичным соединением;

— замещения силанольных групп на бутоксильные группы по реакции с бутанолом;

— создания на поверхности частиц субмонослойного покрытия из органоолигосилоксана;

— создания на поверхности частиц субмонослойного или монослойного покрытия из водорастворимых негидроксильных полимеров, например поливинилпирролидона или полиоксиэтилена.

В настоящее время проводятся работы по разработке новых образцов наноразмерных льдообразующих реагентов с модифицированной поверхностью исходных частиц нанокремнезема путем создания на поверхности частиц монослойного покрытия из водорастворимых негидроксильных полимеров.

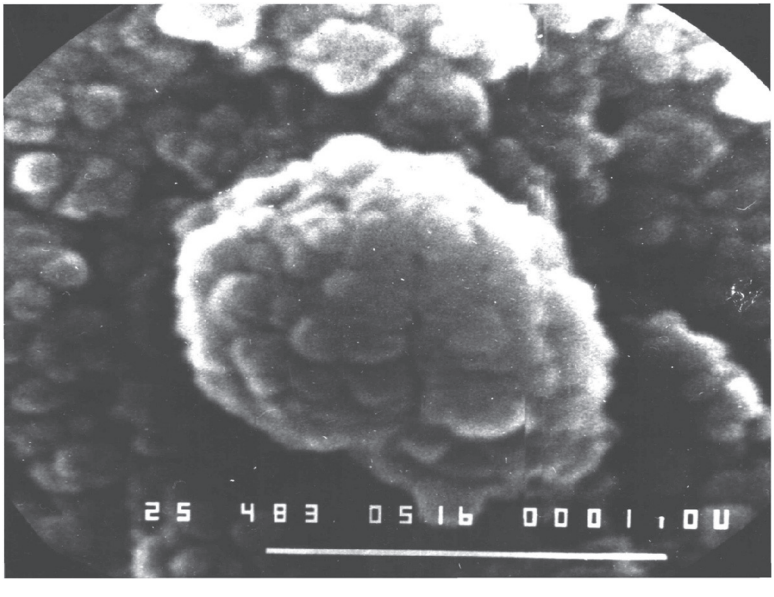

Рис. 4. Микрофотография агломератов нанокремнезема (масштаб 1 мкм).

Fig. 4. Micrograph of nanosilicon agglomerates (scale 1 μm).

Выводы

1. Величина выхода для современных наноразмерных льдообразующих реагентов при температуре порядка –10 °С может составлять около 10^{10}—10^{11} $г^{-1}$.

2. Высокие значения выхода для нескольких типов нанопорошков, полученные при испытаниях в ФГБУ «ЦАО» [7], противоречат данным, полученным в других организациях, и требуют более тщательного анализа с целью выявления возможных причин различия.

3. Предположительно низкая эффективность наноразмерных льдообразующих реагентов, возможно, связана с высокой агрегируемостью исходных наночастиц. Вероятней всего, даже после непродолжительного хранения агрегаты могут достигать 1 мкм в диаметре.

4. Поскольку применение наноразмерных порошкообразных реагентов в силу целого ряда их преимуществ перед пиротехническими составами представляется перспективным, то дальнейшие исследования при разработке таких порошкообразных реагентов следует направить на снижение степени их агрегируемости.

Список литературы

1. *Ким Н.С., Корнеев В.П., Частухин А.В., Щукин Г.Г.* Экологические аспекты российских технологий активных воздействий на облака // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 46. С. 91—99.
2. *Fletcher N.H.* On ice crystal production by aerosol particles // J. Meteorol. 1959. V. 16. No. 2. P. 173—180.
3. *Никулин В.Н., Чукин В.В., Садыкова А.Ф.* Экспериментальные установки для исследования образования льда в атмосфере // Ученые записки РГГМУ. 2015. № 38. С. 102—112.
4. *Ким Н.С., Шкодкин А.В.* Стохастическая нуклеация льда на неоднородной поверхности / В сб.: Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий. Труды Всесоюзного семинара. Гидрометеоиздат, 1991. С. 171—177.
5. *Головко Л.В., Баханова Р.А., Борисенко Н.В., Юрченко Г.Р., Олейник Р.В., Киселев В.И.* Исследование покрытия поверхности кремнезема йодидом серебра при его адсорбции из паровой фазы // Труды УкрНИГМИ. 1985. № 214. С. 92—95.
6. *Ким Н.С., Шкодкин А.В., Шилин А.Г.* Эффективность генераторов льдообразующих аэрозолей // Труды ИЭМ.Вып. 48 (138). 1989. С. 171—177.
7. *Сосников Е.В., Плауде Н.О., Воронин Е.Ф., Носач Л.В., Пахлов Е.М., Гунько В.М., Покровский В.А.* Исследование эффективности наноразмерных кристаллизующих реагентов AgI/SiO_2 / В сб.: Вопросы физики и облаков. Атмосферные аэрозоли, активные воздействия. Памяти Н.О. Плауде. Обнинск: изд-во ВНИИГМИ — МЦД, 2015. С. 323—330.
8. *Частухин А.В.* Экспериментальные и теоретические исследования эффективности применения реагентов для воздействия на облака и туманы / Автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук (25.00.30). Нальчик, 2018.
9. *Частухин А.В., Двоеглазов С.М., Ким Н.С., Корнеев В.П.* Методические особенности оценки льдообразующей эффективности полноразмерных наземных аэрозольных генераторов // Наука. Инновации. Технологии. 2019. Вып. 4. С. 129—136.

References

1. *Kim N.S., Korneev V.P., Chastuhin A.V., Shchukin G.G.* Ecological aspects of Russian technologies of active impacts on the clouds. *Uchenye zapiski RGGMU.* Proceedings of the RSHU. 2016, 46: 91-99. [In Russian].

2. *Fletcher N.H.* On ice crystal production by aerosol particles. J. Meteorol. 1959, 16 (2): 173–180.
3. *Nikulin V.N., Chukin V.V., Sadykova A.F.* Experimental installations for studying the formation of ice in the atmosphere. *Uchenye zapiski RGGMU.* Proceedings of the RSHU. 2015, 38: 102–112. [In Russian].
4. *Kim N.S., Shkodkin A.V.* Stochastic nucleation of ice on an inhomogeneous surface. Active impacts on hail processes and prospects for improving ice-forming reagents for the practice of active impacts. *Trudy Vse souznogo seminara.* Proceedings of the All-Union Seminar. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1991: 171–177. [In Russian].
5. *Golovko L.V., Bakhanova R.A, Borisenko N.V., Yurchenko G.R., Oleynik R.V., Kiselev V.I.* Investigation of the surface coating of silica with silver iodide upon its adsorption from the vapor phase. *Trudy UkrNIGMI.* Works UkrSIHNI. 1985, 214: 92–95. [In Russian].
6. Kim N.S., Shkodkin A.V., Shilin A.G. Efficiency of ice-forming aerosol generators. *Trudy IEM.* Works IEM. 1989, 48 (138): 171–177. [In Russian].
7. *Sosnikova E.V., Plaude N.O., Voronin E.F., Nosach L.V., Pakhlov E.M., Gun'ko V.M., Pokrovsky V.A.* Investigation of the efficiency of nanoscale crystallizing AgI/SiO2 reagents. *Problemy fiziki oblakov. Atmosfernye aerozoli. Aktivnye vozdeistviya. Sbornik statei pamayti N.O. Plaude.* Problems of the physics of clouds. Atmospheric aerosols, active effects. Collection articles memory of N.O. Plaude. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-WDC», 2015: 323–330. [In Russian].
8. *Chastuhin A.V. Eksperimentalnye i teoreticheskie isledovaniya effektivnosti primeneniya reagentov dlya vozdeistviya na oblaka i tumany.* The dissertation of the candidate of physical and mathematical sciences. Nalchik: 2018: 132 p. [In Russian].
9. *Chastuhin A.V., Dvoeglazov S.M., Kim N.S., Korneev V.P.* Methodological features of the assessment of the ice-forming efficiency of full-sized ground-spare aerosol. *Nauka. Innovacii. Tehnologii.* The Science. Innovation Technology. 2019, 4:129-136 [In Russian].

Статья поступила 11.12.2019
Принята после доработки в печать 18.02.2020

Сведения об авторах

Ким Николай Сергеевич, д-р физ.-мат. наук, доцент, научный консультант АНО «Агентство атмосферных технологий», e-mail: adk@mail.ru, attech@mail.ru

Корнеев Виктор Петрович, канд. техн. наук, научный руководитель, АНО «Агентство атмосферных технологий», e-mail:kornvp@mail.com, attech@mail.ru

Петрунин Андрей Михайлович, канд. физ.-мат. наук, заместитель директора АНО «Агентство атмосферных технологий», e-mail: a.m.petrunin@mail.ru, attech@mail.ru

Частухин Андрей Викторович, канд. физ.-мат. наук, заместитель директора АНО «Агентство атмосферных технологий», e-mail: a.chastuhin@mail.ru, attech@mail

Воронин Евгений Филиппович, д-р хим. наук, профессор,старший научный сотрудник, Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины, e-mail: e.voronin@bigmir.net, info@isc.gov.ua

Information about authors

Kim Nicolay Sergeevich, Grand PhD (Phys. and Math. Sci.), associate professor, scientific consultant, ANO «Agency of Atmospheric Technologies»

Korneev Viktor Petrovich, PhD (Tech. Sci.), scientific advisor, ANO ««Agency of Atmospheric Technologies»

Petrunin Andrey Mihaylovich, PhD (Phys. and Math. Sci.), deputy director, ANO «Agency of Atmospheric Technologies»

Chastuhin Andrey Viktorovich, PhD (Phys. and Math. Sci.), deputy director, ANO «Agency of Atmospheric Technologies»

Voronin Evgeny Filippovich, Grand PhD (Chem. Sci.), professor, senior researcher, Institute of Surface Chemistry A.A. Chuiko NAS of Ukraine

УДК [556.164+556.168](479) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-41-48

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО И ПОДЗЕМНОГО СТОКА РЕК БОЛЬШОГО КАВКАЗА

И.С. Алиева

Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан, aliyeva-1958@list.ru

Выполнен анализ статистической структуры рядов, оценена степень синхронности колебаний стоковых характеристик, выявлены линейные тренды. Оценка значимости линейных трендов выполнена по значениям коэффициента парной корреляции и его стандартной ошибке. Установлено, что стационарность большей части рассматриваемых рядов нарушена по дисперсии или среднему значению. Выявлено, что за многолетний период наблюдений подземный сток подавляющего большинства рек увеличивается. Для рядов поверхностного стока обнаружены разнонаправленные тренды. Большинство линейных трендов подземного стока и половина трендов поверхностного стока являются статистически значимыми. Использованы ряды данных о стоке 17 гидрологических пунктов за период с 1934 по 2017 г.

Ключевые слова: Большой Кавказ, подземный сток, поверхностный сток, многолетние колебания, стационарность рядов, коэффициент автокорреляции, линейный тренд.

SPATIAL-TEMPORARY REGULARITIES OF THE SURFACE AND UNDERGROUND FLOWS OF THE RIVERS OF THE GREAT CAUCASUS

I.S. Alieva

Baku State University, Baku, Azerbaijan

The analysis of the statistical structure of the ranges is carried out, the degree of synchronism of fluctuations in runoff characteristics is estimated, and linear trends are identified. The annual values of groundwater runoff have been determined as the arithmetic average of the monthly average minimum winter and summer-autumn water discharges, the surface runoff being calculated as the difference between the annual and groundwater runoff. The stationarity of most of the considered ranges proves to be violated by dispersion or average value. For underground runoff, the number of such ranges according to the Fisher and student criteria is 9 and 12, and for surface runoff, 7 and 9, respectively. For 15 rows of underground runoff and 9 rows of surface runoff, autocorrelation coefficients are statistically significant at a 5 % level of significance. Differential integral curves have been drawn according to the data of each river, the temporal indicators of various phases of water content being determined from them. For the long-term, fluctuations of the underground flow of all the studied rivers are characterized by the presence of a prolonged low-water phase. To quantify the degree of synchronism of long-term fluctuations in the underground flow of rivers, the pair correlation coefficients between all the analyzed series have been calculated. In the long-term fluctuations of both the underground and surface runoff of the rivers of the Greater Caucasus, asynchrony has not been detected. Over the long-term observation period, the underground runoff of the vast majority of rivers is shown to be increasing. For ranges of surface runoff, multidirectional trends have been found. Most of the linear trends in groundwater flow and half of the trends in surface runoff are statistically significant. The significance of

linear trends has been estimated by the values of the pair correlation coefficient and its standard error. The data on the runoff of 17 hydrological observation points covering 1934—2017 period have been used.

Keywords: Greater Caucasus, underground runoff, surface runoff, long-term fluctuations, stationarity of series, autocorrelation coefficient, linear trend.

For citation: *Alieva I.S.* Spatial-temporary regularities of the surface and underground flows of the rivers of the Great Caucasus. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 41—48. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-41-48

Введение

Многолетние колебания речного стока происходят под совместным влиянием природных и антропогенных факторов. Среди природных факторов следует особо отметить роль атмосферных осадков и температурного режима воздуха. В зависимости от степени изменения этих двух климатических факторов стационарность рядов стока может нарушаться. В условиях изменяющегося климата во всех регионах земного шара, включая территорию Азербайджана, наблюдается нарушение страционарности значительной части рядов стока [1—5].

В наиболее обжитых районах земного шара к настоящему времени уже не осталось сколько-нибудь крупных речных систем с режимом, не нарушенным в той или иной степени деятельностью человека [2]. Учитывая это, в настоящей статье рассмотрены ряды данных о поверхностном и подземном стоке рек Большого Кавказа, которые имеют естественный или же условно естественный режим. Ежегодные значения подземного стока были определены как средние арифметические значения среднемесячных минимальных зимних и летне-осенних расходов воды [6]. В настоящее время влияние антропогенных факторов на минимальный зимний сток не только рек Большого Кавказа, но и всех рек Азербайджана практически отсутствует [4, 7, 8]. Минимальные летне-осенние расходы воды рассматриваемых рек характеризуют естественный их режим, поскольку выше пунктов наблюдений водозабор для хозяйственных нужд отсутствует.

В случае отсутствия или слабого антропогенного влияния на реку и ее бассейн многолетние колебания речного стока рассматриваются как вероятностный (стохастический) процесс [9, 10]. Такой подход возможен по нескольким причинам. Крупномасштабная турбулентность в атмосфере обусловливает вероятностные изменения гидрологических характеристик и процессов [11]. Другая причина стахостической природы многолетних колебаний речного стока связана с их многофакторностью. Например, на формирование речного стока влияют климатические факторы, геологическое строение и гидрогеологические особенности бассейна, а также озера, ледники, различные типы ландшафтов и антропогенные факторы. Информация о влиянии каждого из этих многочисленных факторов ограничена, и их совместное влияние имеет случайный характер [9]. Вышесказанное свидетельствует о возможности и эффективности применения теории вероятности при описании многолетних колебаний расходов воды [12].

Цель статьи заключается в анализе статистической структуры рядов поверхностного и подземного стока рек Большого Кавказа.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе были проанализированы ряды данных о поверхностном и подземном стоке за период 1934—2017 гг. 17 гидрологических постов, действуюших на реках Большого Кавказа. Годовые значения подземного стока были определены как средние арифметические значения среднемесячных минимальных зимних и летне-осенних расходов воды [6], а значения поверхностного стока рассчитаны как разность между годовым и подземным стоком. Стационарность рядов наблюдений оценена по критериям Фишера и Стьюдента, рассчитаны значения коэффициента автокорреляции. Анализ синхронных колебаний поверхностного и подземного стока рек выполнен с применением разностных интегральных кривых и методом корреляции. Значимость линейных трендов оценена по коэффициенту парной корреляции (R) с учетом его средней квадратичной ошибки (σ_R). При выполнении условия $R/\sigma_R \geq 2$ тренд принимался статистически значимым на 5 %-ном уровне [9, 13].

Обсуждение результатов

Анализ статистической структуры рядов. *Подземный сток.* Установлено, что большинство рядов подземного стока являются неоднородными. Число таких рядов по критериям Фишера и Стьюдента составляет 9 и 12 соответственно. Девять рядов являются неоднородными как по среднему значению, так и по дисперсии. Все коэффициенты автокорреляции являются положительными и изменяются в пределах от 0,027 до 0,830. Самые высокие значения этих коэффициентов характерны для притоков трансграничной реки Ганых (Алазани). Для 15 рядов коэффициенты автокорреляции являются статистически значимыми на 5 %-ном уровне. Это объясняется высокой инерционностью подземных вод.

Поверхностный сток. Почти половина рядов поверхностного стока являются неоднородными: семь рядов по критерию Фишера и девять по критерию Стьюдента. Три ряда являются неоднородными как по среднему значению, так и по дисперсии. По обоим критериям четыре ряда являются однородными. Таким образом, для 13 из 17 анализируемых рядов гипотеза о стационарности отвергается как минимум по одному из применяемых критериев.

Коэффициенты автокорреляции рядов поверхностного стока изменяются в пределах от –0,158 до 0,610 и для половины рядов (девять рядов) эти коэффициенты являются статистически значимыми.

Анализ синхронности рядов стока. *Подземный сток.* По данным для каждой реки были построены разностные интегральные кривые, и по ним были определены временны́е показатели (начало, конец и продолжительность) фаз различной водности (многоводная, маловодная и средневодная фазы). Обычно на фоне продолжительных фаз конкретной водности встречается несколько лет (один — три года) другой водности. Для выявления общих закономерностей временны́х показателей фаз различной водности такие короткие периоды не рассматривались. Полученные результаты представлены на рис. 1.

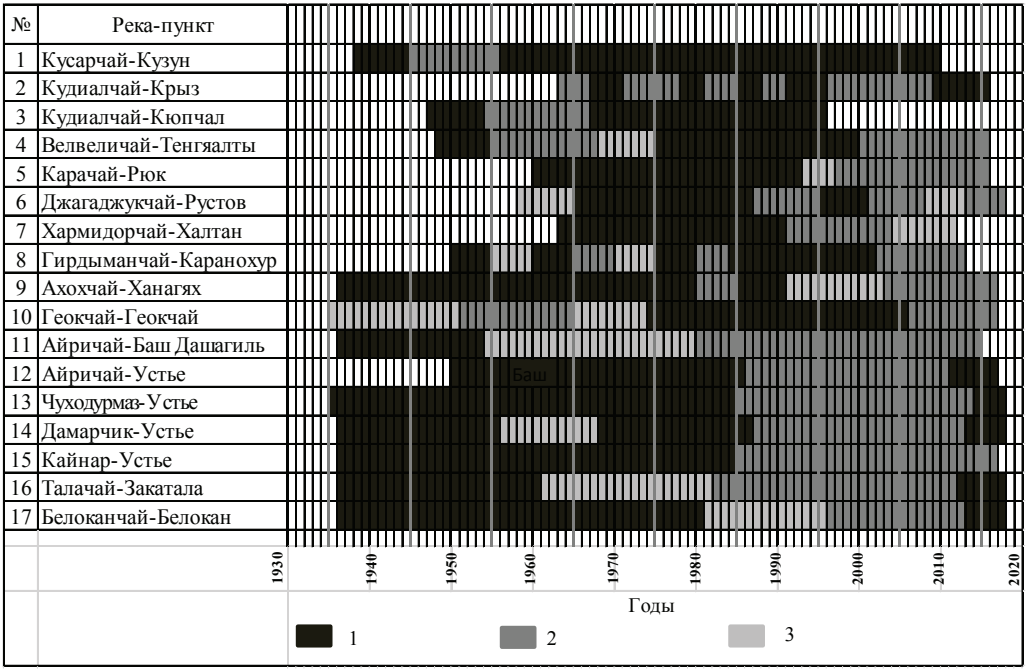

Рис. 1. Временны́е границы фаз с различной водностью в рядах подземного стока.

1 — маловодная фаза, *2* — средневодная фаза, *3* — многоводная фаза.

Fig. 1. Temporal boundaries of phases with different water content in the rows of underground runoff.

1 — low-water phase, *2* — medium-water phase, *3* — high-water phase.

Как видно на рис. 1, для большинства рассматриваемых рек отчетливо выделяются все фазы различной водности, однако они различаются по продолжительности. В целом для многолетних колебаний подземного стока всех рек Большого Кавказа характерно наличие продолжительной маловодной фазы. По-видимому, это объясняется повышенной инерционностью подземных вод. Доля подземного питания рассматриваемых рек составляет 40—48 % [14].

Для количественной оценки степени синхронности многолетних колебаний подземного стока рек были вычислены коэффициенты парной корреляции r между всеми анализируемыми рядами. Для рек северо-восточного склона Большого Кавказа среднее значение коэффициента парной корреляции составляет 0,51, а для рек бассейна Ганых (Алазани) — 0,57. Степень синхронности колебаний подземного стока Ширванских рек еще слабее (r = 0,36).

В многолетних колебаниях подземного стока рек Большого Кавказа асинхронность не выявлена. Все коэффициенты парной корреляции (всего 45) являются положительными.

Поверхностный сток. Разностные нтегральные кривые поверхностного стока рек имеют более сложный вид. Из-за того что поверхностный сток является более изменчивым, в его рядах общее число фаз различной водности больше, а число продолжительных фаз меньше. Это затрудняет обобщение временных показателей фаз различной водности. Можно лишь отметить, что для большинства рек период после 2005—2010 гг. был маловодным.

Таким образом, по сравнению с многолетними колебаниями подземного стока синфазность поверхностного стока рек изучаемой территории выражена слабее. Этот вывод подтверждается результатами анализа коэффициентов парной корреляции. Среднее районное значение коэффициента парной корреляции для рек северо-восточного склона Большого Кавказа составляет 0,31, для рек Ширванской зоны — 0,29 и для рек бассейна Ганых (Алазани) — 0,23. В многолетних колебаниях поверхностного стока асинхронность также отсутствует.

Анализ линейных трендов. *Подземный сток.* Анализ линейных трендов рядов подземного стока рек показывает, что в общем в многолетнем разрезе наблюдается увеличение значений рассматриваемой характеристики стока (рис. 2). Число таких рядов составляет 14, и для 13 из них линейные тренды являются статистически значимыми, а для одного незначимым. В остальных трех рядах тренд отсутствует. Отрицательных трендов также нет.

Вполне вероятно, что увеличение подземного стока рек Большого Кавказа в последние несколько десятилетий связано с изменением климата. Выше уже отмечалось, что годовые значения подземного стока были вычислены по минимальным зимним и летне-осенним расходам воды. Многочисленные исследования,

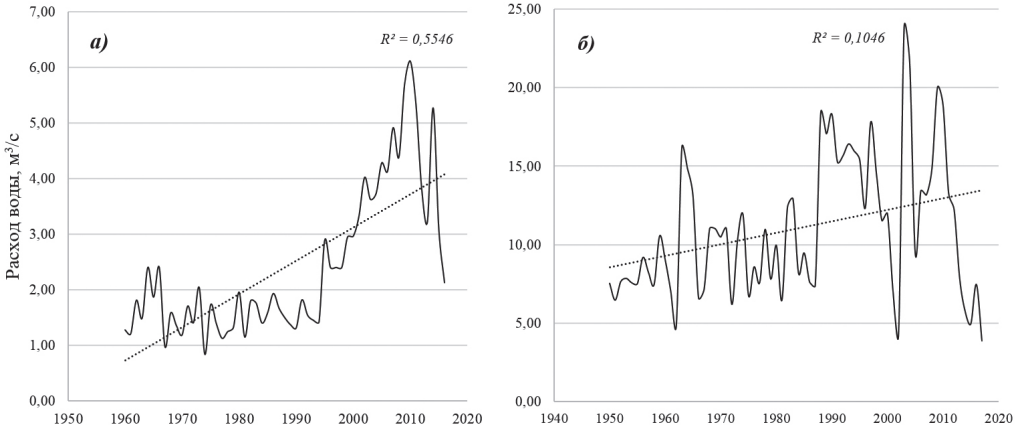

Рис. 2. Динамика изменения подземного стока рек Большого Кавказа.

а) р. Айричай — п. Устье (тренд значим), *б*) р. Карачай — п. Рюк (тренд значим).

Fig. 2. Dynamics of changes in the underground runoff of the rivers of the Greater Caucasus.

а) r. Ayrichay — st. Mouth (the trend is significant), *б*) r. Karachay — st. Ryuk (the trend is significant).

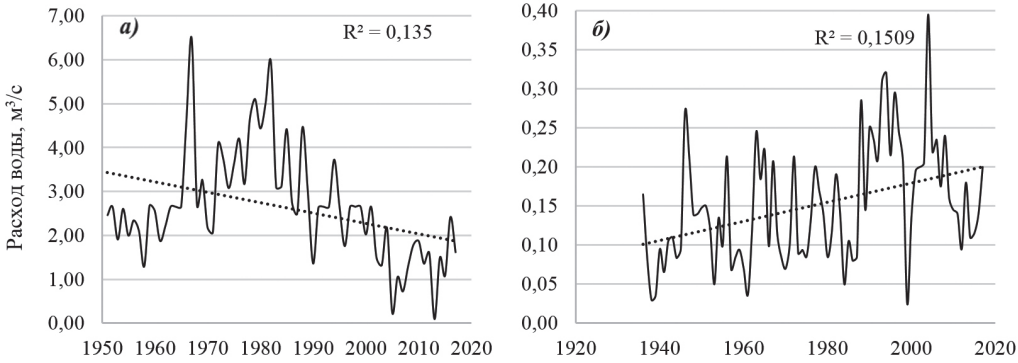

Рис. 3. Динамика изменения поверхностного стока рек Большого Кавказа.

а) р. Гирдиманчай — п. Каранохур (тренд значим), *б*) р. Кайнар — п. Устье (тренд значим).

Fig. 3. Dynamics of changes in surface runoff of the rivers of the Greater Caucasus.

а) r. Girdimanchay — st. Karanohur (the trend is significant),
б) r. Kaynar — st. Mouth (the trend is significant).

выполненные в различных регионах земого шара, показывают, что в условиях изменения климата в бассейнах рек, где осадки выпадают в основном в виде снега, режим рек изменился, точнее, изменились временны́е границы фаз водного режима. Вследствие повышения температуры воздуха в зимний период большую часть осадков составляют дожди, и по сравнению с предыдущим периодом снег начинает таять на одну-две недели раньше [1, 15, 16]. Однако влияние этого обстоятельства на летний сток рек очень слабое [16]. Следует отметить, что после 1990—1995 гг. значение и изменчивость подземного стока резко возросли, но последние годы (2013—2017 гг.) являются маловодными (см. рис. 2).

Поверхностный сток. Характер линейных трендов рядов поверхностного стока рек отличается от трендов подземного стока. Из 17 пунктов в шести поверхностный сток увеличивается, в шести уменьшается, а в пяти изменения отсутствуют. Для девяти рядов тренды являются статистически значимыми. Линейные тренды для двух рек представлены на рис. 3.

Выводы

Анализ статистической структуры рядов поверхностного и подземного стока рек Большого Кавказа показывает, что однородность основной части анализируемых рядов стока нарушена по среднему значению или по дисперсии. Рассмотренные ряды характеризуются высокой автокорреляцией, особенно ряды подземного стока. Уровень синфазности и синхронности в многолетних колебаниях подземного стока рек выше, чем для поверхностного стока. Это связано с тем, что подземный сток рек характеризуется повышенной инерционностью, а изменчивость поверхностного стока более высокая. Анализ корреляционных матриц показал, что возможности парной корреляции для удлинения коротких рядов поверхностного

и подземного стока ограничены. Показано, что в многолетних колебаниях рассмотренных характеристик стока рек асинхронность отсутствует.

В многолетнем разрезе подземный сток подавляющего большинства рек увеличивается, а в рядах поверхностного стока выявлены разнонаправленные тренды. Большинство линейных трендов подземного стока и около половины трендов поверхностного стока являются статистически значимыми.

Список литературы

1. *Бейтс Б.К., Кунцевич З.В., У.С., Палютикоф Ж.П.* (ред.). Изменение климата и водные ресурсы. Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата, Секретариат МГЭИК, Женева, 2008. 228 с.
2. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб: изд-во Государственного гидрологического института, 2008. 600 с.
3. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЭОС, 2012. 736 с.
4. *Иманов Ф.А., Гасанова Н.И., Агаев З.Б.* Многолетние колебания стока рек Азербайджана // Вопросы географии. 2018. № 145. Гидрологические изменения. С. 277—284.
5. *Махмудов Р.Н.* Современные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления. Баку: НАА, 2018. 232 с. (на азерб. языке).
6. *Иманов Ф.А., Алиева И.С.* Метод оценки ежегодных величин подземного стока в реки Большого Кавказа // Водные проблемы: наука и технологии. 2018. № 2 (12). С. 17—26 (на азерб. языке).
7. *Иманов Ф.А.* Минимальный сток рек Кавказа. Баку: Нафта-Пресс, 2000. 298 с.
8. *Иманов Ф.А., Алакбаров А.Б.* Современные изменения водных ресурсов Азербайджана и их интегрированное управление. Баку: Мутарджим, 2017. 352 с. (на азерб. языке).
9. *Сикан А.В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб: изд. РГГМУ, 2007. 279 с.
10. *David A. Chin.* Water-resources Engineering (second edition). USA, New Jersey: Pearson Education International, 2006. 572 p.
11. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: изд-во МГУ, 1990. 304 с.
12. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 377 с.
13. *Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M.* Groundwater hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press. 2011. 634 p.
14. *Рустамов С.Г., Кашкай Р.М.* Водный баланс Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1978. 110 с.
15. *Hodgkins G.A., Dudley R.W., Huntington T.G.* Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century // J. Hydrol. 2003. 278 (1—4). P. 244—252.
16. *Hodgkins G.A., Dudley R.W., Huntington T.G.* Summer low flows in New England during the 20th century // J. Amer. Water Res. Assoc. 2005. 41(2). P. 403—412.

References

1. *Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P.* Eds. *Izmeneniye klimata vodniye resursi.* Climate Change and Water. Technical Paper. IPCC Secretariat. Geneva, 2008: 228 p. [In Russian].
2. *Vodniye resursi Possii i ix ispolzovaniye.* Water resources of Russia and their use. Ed. prof. I.A. Shiklomanov. SPb: State Hydrological Institute, 2008: 600 p. [In Russian].
3. *Zakonomernosti gidrologicheskix prosessov.* Patterns of hydrological processes. Ed. N.I. Alekseyevskiy. Moscow: GEOS, 2012: 736 p. [In Russian].
4. *Imanov F.A., Gasanova N.I, Agayev Z.B.* Long-term fluctuations of river flow in Azerbaijan. *Voprosi geografii. Gidrologicheskiye izmeneniya.* Problems of Geography. Hydrological Changes. 2018, 145:277–284. [In Russian].
5. *Mahmudov R.N. Sovremenniye izmeneniya klimata i opasniye gidrometeorologicheskiye yavleniya.* Modern climate change and dangerous hydrometeorological phenomena. Baku: NAA, 2018. 232 p. [In Azerbaijani].

6. *Imanov F.A., Aliyeva I.S.* Method for estimating annual underground flow in the rivers of the Greater Caucasus. *Vodniye problemi: nauka i texnologii.* Water problems: science and technology. 2018, 12 (2): 17–26. [In Azerbaijani].
7. *Imanov F.A. Minimalniy stok rek Kavkaza.* The minimum flow of the rivers of the Caucasus. Baku: Publishing House Nafta-Press, 2000. 298 p. [In Russian].
8. *Imanov F.A., Alakbarov A.B. Sovremenniye izmeneniya vodnix resursov Azerbaydjana i ix integrirovannoye upravleniye.* Modern changes in water resources of Azerbaijan and their integrated management. Baku: Publishing house Mutarjim, 2017. 352 p. [In Azerbaijani].
9. *Sikan A.V. Metodi statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informasii.* Methods of statistical processing of hydrometeorological information. SPb: RSHU, 2007. 279 p. [In Russian].
10. *David A. Chin.* Water-resources Engineering (second edition). Pearson education International, USA, New Jersey, 2006. 572 p.
11. *Yevstigneyev V.M. Rechnoy stok i gidrologicheskiye rascheti.* River runoff and hydrological calculations. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1990: 304 p. [In Russian].
12. *Kalinin G.P. Problemı globalnoy gidrologii.* Problems of global hydrology. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1968. 377 p. [In Russian].
13. *Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M.* Groundwater hydrology: Engineering, Planning, and Management. CRC Press. 2011: 634 p.
14. *Rustamov S.H., Kashkay R.M..Vodniy balans Azerbaydjanskoy SSR.* Water balance of the Azerbaijan SSR. Baku: Publishing House Elm, 1978. 110 p. [In Russian].
15. *Hodgkins G.A., Dudley R.W., Huntington T.G.* Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century. J. Hydrology, 2003, 278 (1–4): 244–252.
16. *Hodgkins G.A., Dudley R.W., Huntington T.G.* Summer low flows in New England during the 20th century. J. Amer. Water Resources Assoc., 41(2), 2005: 403–412.

Статья поступила 22.01.2020
Принята после доработки в печать 05.03.2020

Сведения об авторе

Алиева Ирада Сабир кызы, канд. геогр. наук, доцент, доцент кафедры гидрометеорологии Бакинского государственного университета, e-mail: aliyeva-1958@list.ru

Information about author

Aliyeva Irada Sabir kizi, PhD (Geogr.), Associate Professor, Baku State University, Department of Hydrometeorology

УДК 556.132.6 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-49-67

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИСПАРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПО ВОЗРАСТУ, УСЛОВИЯМ ПРОИЗРАСТАНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСАХ

Ю.В. Карпечко[1], С.А. Кондратьев[2], В.З. Родионов[3], М.В. Шмакова[2]

[1] Институт леса — обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, yukarpechko@yandex.ru
[2] ФГБУН Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург
[3] ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург,

Рассмотрены основные факторы формирования испарения в лесах в различных лесорастительных и климатических условиях. С использованием разработанных ранее методов рассчитана возрастная динамика испарения с различных по условиям произрастания и продуктивности участков леса, расположенных в средне- и южнотаежной подзонах. Получено, что в зависимости от лесорастительных условий возраст, в котором наблюдаются максимальные годовые значения суммарного испарения и транспирации, изменяется от 50 до 100 лет.

Ключевые слова: тип леса, фитомасса, класс бонитета, испарение, транспирация, радиационный баланс.

EVAPORATION PATTERNS IN FORESTS OF DIFFERENT AGES, SITE CONDITIONS, AND PRODUCTIVITY LEVELS

Yu.V. Karpechko[1], S.A. Kondratyev[2], V.Z. Rodionov[3], M.V. Shmakova[2]

[1] Forest Research Institute of the Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia
[2] Institute of Limnology of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
[3] Institution of Russian Academy of Sciences Saint-Petersburg Scientific-Research Centre for Ecological Safety RAS, St. Petersburg, Russia

The paper analyzes the factors behind evaporation from a forest: foliage and solar irradiance. The patterns of foliage formation and its changes with age in forests of varying productivity are demonstrated. The limiting factor for stand growth and development in each type of forest is the energy resources available. The average radiation balance of a region being given, the stand productivity depends on the characteristics of the locality, which influence soil fertility and predetermine the forest type. The southwards enhancement of the quality class of a forest type with a rise in the radiation balance is associated with the growing share of foliage and intensification of biochemical processes. The share of foliage mass in the total biomass of the tree stand depends on the forest site conditions, quality class, and energy supply. Previously designed techniques have been applied to calculate age-related patterns of evaporation from forest sites of varying habitat conditions and productivity in middle and southern taiga. As the radiation balance grows, physical evaporation from forest areas increases, and the growing share of foliage in the tree stand's total biomass enlarges transpiration by the stand in every forest type and quality class. Alteration of site conditions entails a change in the age-related pattern of evaporation and transpiration by the stand. Enhancement of site conditions and quality characteristics leads to an increase in evaporation in young and middle-aged forests, however in mature and over-mature forests this trend may be broken. The greatest evaporation and transpiration by the stand are observed at an age when current biomass increment is the highest and the amount

of foliage is at maximum. According to our calculations, the age of maximum annual total evaporation and transpiration varies from 50 to 100 years depending on the forest site conditions.

Keywords: forest type, plant biomass, stand quality class, evaporation, transpiration, radiation balance.

For citation: *Karpechko Yu.V., Kondratyev S.A., Rodionov V.Z., Shmakova M.V.* Evaporation Patterns in Forests of Different Ages, Site, Conditios, and Productivity Levels. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 49—67. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-49-67

Введение

Около 50 % территории Европейского Севера России занято лесами. Леса представляют собой сложные природные объекты, различающиеся по многим характеристикам: породному составу, условиям произрастания древостоя, его продуктивности, возрасту и другим. Роль леса в гидрофизических и гидрологических процессах еще слабо исследована, так как он относится к природным объектам, в которых очень трудно проводить экспериментальные гидрологические исследования. Из-за громоздкости древесных растений непосредственно измерить, в частности, испарение с леса существующими методами натурных исследований практически невозможно.

При отсутствии наблюдений часто приходится прибегать к методам математической оценки испарения. Для оценки адекватности результатов таких определений, кроме непосредственных измерений можно использовать тепло- и воднобалансовые исследования. Однако из-за многообразия характеристик леса невозможно в достаточной степени осветить такими исследованиями даже наиболее распространенные типы леса. Тип леса — это участок, представленный однородными лесорастительными условиями, которые характеризуются схожестью почвенных, гидрологических, гидрогеологических свойств и положением в рельефе местности [1]. В связи с этим поставлена задача подробнее исследовать физическую сущность протекающих в лесу процессов, а также их воздействие на процессы формирования испарения и представить выявленные закономерности в виде расчетных методов (математических моделей). Полученные результаты представлены в настоящей статье.

Факторы формирования испарения с леса

Особенности формирования листового аппарата и их учет при оценке испарения с леса

Суммарное испарение с леса тесно связано с жизнедеятельностью всего биогеоценоза. Его основной частью в большинстве случаев является транспирация древостоем. Тесная связь между годовой величиной транспирации древостоем и количеством листвы показана во многих отечественных и зарубежных исследованиях, значительная часть которых обобщена О.И. Крестовским [1]. (Термин «листва» в данной работе обозначает ассимилирующие органы лиственных, а также хвойных

пород.) Наличие этой связи дает основание использовать для расчета осредненной за вегетационный период величины транспирации простую формулу [1—3]:

$$E_t = mK_{tr}, \quad (1)$$

где E_t — транспирация (мм); K_{tr} — коэффициент транспирационной активности (мм/т); m — масса листвы (т/га).

Использование этой формулы возможно при наличии коэффициента транспирационной активности или методов его определения. В настоящее время на основании результатов гидрологических исследований и изучения физиологических характеристик дерева считается возможным принимать постоянными коэффициенты транспирационной активности для конкретных пород древостоя, произрастающего в различных условиях [1—3]. При этом нужно иметь в виду, что возможна некоторая зависимость их значений от метеорологических факторов [2] и от возраста. Для наиболее распространенных в таежной зоне европейской части России видов сосны, ели, березы и осины значения коэффициента рекомендуется принимать равными 19; 8,5; 50 и 45 мм/т соответственно [4]. Эти значения соответствуют массе свежей листвы.

При вычислении испарения с леса за короткие интервалы времени в качестве регулятора интенсивности транспирации принимается устьичная проводимость или обратная ей величина — устьичное сопротивление [5]. При их вычислении по формулам, учитывающим влияние метеорологических факторов, используется максимальная проводимость (минимальное сопротивление) [6, 7]. Вместе с тем по результатам некоторых исследований минимальное устьичное сопротивление, являющееся физиологической характеристикой растений и обобщенным показателем их видовых признаков, зависит от условий произрастания и климатических особенностей данной местности [8].

Большое число значений максимальной проводимости, выбранных из измеренных в умеренной климатической зоне, приведено в работе [9]. Нужно отметить, что при существенных колебаниях значений максимальной проводимости (у сосны от 0,6 до 7,4 мм/с и у ели от 0,5 до 6,9 мм/с) зависимости их от видов как сосны, так и ели не прослеживается. Средние значения максимальной проводимости из приведенных для сосны обыкновенной, ели европейской и березы равны 3,16; 1,34 и 4,3 мм/с соответственно. При сравнении значений коэффициента транспирационной активности и значений максимальной проводимости по породам отмечается некоторое соответствие соотношений их значений для рассматриваемых пород древостоя. Это можно принимать как свидетельство схожести их роли в регулировании транспирации. Вместе с тем значительный разброс значений максимальной устьичной проводимости, а также указанное в литературе влияние на нее условий произрастания, видового разнообразия растений и климатических характеристик предполагают возможность наличия, кроме того, некоторой зависимости коэффициентов транспирационной активности от этих факторов. Данное предположение требует дополнительных исследований.

Листва также регулирует поступление солнечной радиации и атмосферных осадков под полог леса, что влияет на величину физического испарения

с напочвенного покрова и осадков с крон древостоя. Поступающие под кроны солнечная радиация и осадки влияют на наличие, проективное покрытие и видовое разнообразие напочвенной растительности, что определяет транспирацию растений под пологом леса.

Снижение массы листвы вместе с уменьшением полноты древостоя способствует некоторому уменьшению альбедо [10] и лучшему проникновению солнечной радиации под полог леса. Это должно приводить, с одной стороны, к уменьшению транспирации древостоем и величины испарения осадков с полога леса, а с другой стороны — к увеличению транспирации и физического испарения с напочвенного покрова. Некоторая доля поступающей под полог леса солнечной радиации затрачивается на теплообмен со скелетной частью древостоя и турбулентный теплообмен, что в итоге способствует уменьшению суммарного испарения с леса.

Нужно отметить, что, учитывая возможные отклонения истинных значений коэффициента транспирационной активности от указанных выше средних, полученных по формуле (1), результаты, характеризующие возрастную динамику транспирации и влияние на нее условий произрастания, необходимо уточнять. Эти уточнения могут основываться на анализе данных о формирующейся в разных условиях листве, влияющей на транспирацию древостоя и на суммарное испарение в целом. Все это предполагает необходимость изучения особенностей формирования листового аппарата древостоя при исследовании гидрологической роли леса.

Масса листвы связана с общей фитомассой и с интенсивностью ее прироста. При анализе общую фитомассу древостоя и ее прирост можно заменить на тесно связанные с ними запас (объем) стволовой древесины и ее текущий прирост [11]. С увеличением этих характеристик масса листвы возрастает, о чем свидетельствует статистический анализ.

Анализ с использованием множественной линейной регрессии для одновозрастного древостоя, произрастающего в южной Карелии, показывает, что изменение массы листвы средневозрастного елового древостоя с изменением продуктивности определяется на 80 %, а соснового — на 94 % влиянием запаса древесины и его прироста. Данные для анализа взяты из монографий [12, 13].

Связь между листвой и характеристиками древостоя (запасом и его приростом) нарушается при анализе изменчивости листвы с возрастом. Это обусловлено тем, что для древостоя, произрастающего в одинаковых лесорастительных условиях, масса листвы возрастает до определенного возраста и в дальнейшем начинает снижаться. Поскольку до стадии спелости запас древостоя увеличивается, то его роль в изменении массы листвы остается положительной. Следовательно, возрастные изменения количества листвы связаны с динамикой прироста древостоя, который увеличивается до конкретного возраста. Этот возраст зависит от продуктивности лесного участка.

Высокопродуктивные леса характеризуются, как это следует из таблиц хода роста [14], более интенсивным текущим приростом фитомассы в молодом и среднем возрасте, и его наибольшее значение достигается в 50—70 лет. С ухудшением

лесорастительных условий интенсивность прироста древостоя снижается, и его максимум наступает позже. Эта зависимость роста и развития древостоя от условий произрастания отмечается Э.П. Галенко [15], по мнению которой интенсивный прирост древесины в суровых северных условиях наблюдается до 80—120 лет.

В работе [13], где представлены особенности развития карельских сосняков в различных условиях их роста, показано, что в наиболее продуктивном сосняке черничном (II—III классы бонитета) увеличение массы хвои происходит до 50 лет, а в сосняке брусничном (III—IV классы бонитета) такая тенденция отмечается до 80—90 лет. Под бонитетом леса понимается показатель добротности и производительности лесного участка. Класс бонитета является количественной характеристикой продуктивности и скорости роста деревьев и определяется в зависимости от среднего возраста и средней высоты древостоя. Обозначается римскими цифрами. Чаще всего для характеристики древостоя достаточным является интервал от Ia, I до V, Va. Древостой Ia, I, II класса бонитета называют высокобонитетным, III—IV — среднебонитетным, V — низкобонитетным, а меньшие классы относятся к непродуктивным [1].

Снижение прироста в спелых и перестойных древостоях связано с уменьшением листового аппарата. Поскольку этот процесс в высокопродуктивных лесах начинается раньше, то в спелом и перестойном возрасте в этих лесах масса листвы может быть ниже, чем в менее продуктивных. Эти рассуждения подтверждаются исследованиями, результаты которых приведены в работе [13], где отмечено, что абсолютная масса хвои до 100 лет больше в наиболее продуктивном сосняке черничном, а после 100 лет — в сосняке брусничном.

Основываясь на описанной выше возрастной динамике листвы, следует заключить, что в молодом и среднем возрасте транспирация древостоем должна возрастать, а в спелых и перестойных лесах возможно ее снижение при улучшении бонитета.

Роль энергетического фактора в формировании листового аппарата, продуктивности фитомассы и транспирации

Рост и развитие древостоя, а следовательно, транспирация и испарение обусловливаются энергетическими ресурсами, наличием влаги, а также факторами, определяющими тип леса: геологическим строением местности, рельефом, гидрогеологическими характеристиками и почвенным плодородием. Зависимость продуктивности древостоя от типа леса и энергетического фактора (радиационного баланса) представлена на рис. 1.

Этот рисунок был построен с использованием информации о продуктивности ельников в пределах лесной зоны европейской части России, приведенной в работе [16]. Значения радиационного баланса для конкретного региона за год взяты из работы [17]. Кривые на рисунке проведены с учетом точек, соответствующих осредненному показателю класса бонитета конкретного типа леса конкретной территории, характеризуемой определяющим функционирование ландшафтов радиационным балансом. В работе для удобства выполнения анализов вместо

традиционного класса бонитета применяется показатель класса бонитета. Принятые обозначения Ia, I, … V, Va заменены арабскими цифрами 7, 6, …, 2, 1 [18]. Нужно иметь в виду, что значения радиационного баланса, полученные для метеостанций, используются в данном случае для характеристики энергетических ресурсов территории, и они могут отличаться от значений для конкретных лесных участков [10].

Тесные связи между радиационным балансом и показателем класса бонитета свидетельствуют о том, что продуктивность древостоя каждого типа леса в лесной зоне лимитируется энергетическим фактором (см. рис. 1). Это подтверждается и другими исследователями, использующими в качестве характеристики энергетического фактора температуру воздуха [19, 20].

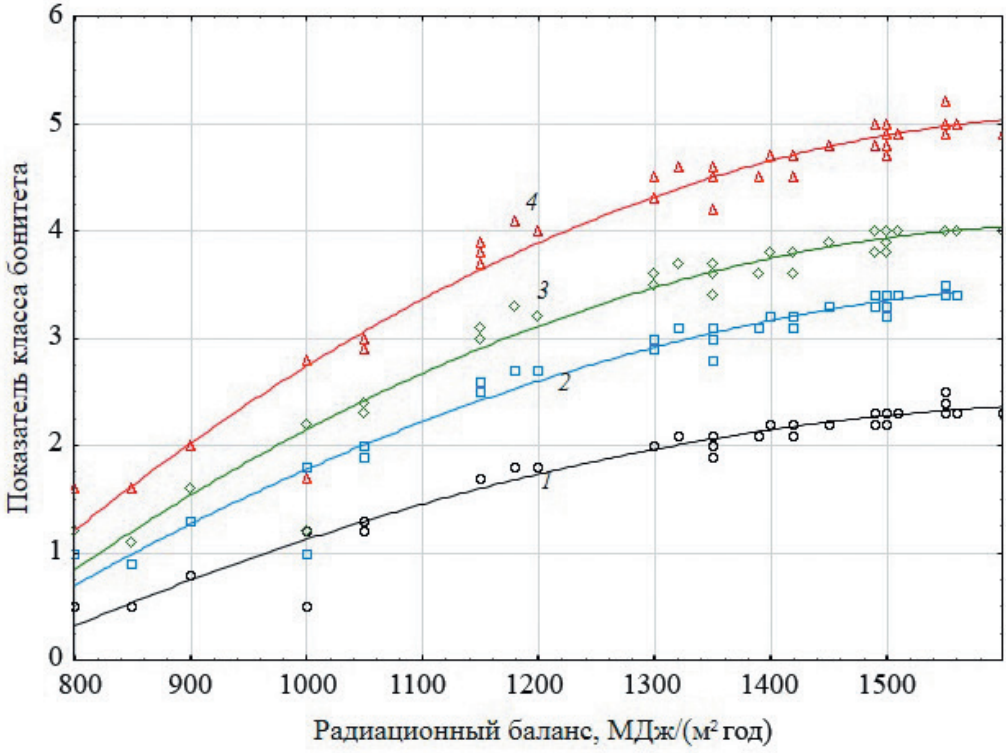

Рис. 1. Связь между продуктивностью елового древостоя, типом леса и энергетическими ресурсами территории.

1 — ельник сфагновый, *2* — ельник долгомошный, *3* — ельник брусничный, *4* — ельник черничный.

Fig. 1. The relationship between the productivity of spruce stands, forest type and energy resources of the territory.

1 — sphagnum spruce forewst, *2* — polytrichum spruce forest, *3* — lingonberry spruce forest, *4* — bilberry spruce forest.

Лимитирующая роль энергетического фактора в процессах, определяющих рост и развитие древостоя в лесной зоне, обусловлена особенностями ее климатических условий, одним из показателей которых является радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к затратам энергии, необходимой для испарения осадков) [21]. В настоящей работе показано, что для регионов, занятых преимущественно лесами, радиационный индекс сухости изменяется от 0,3 до 1,0, что свидетельствует о достаточном увлажнении территории.

Влияние энергетического фактора и лесорастительных условий на массу листвы и транспирацию можно выяснить из следующих рассуждений. Одной из основных физиологических функций транспирации является перемещение по растению потребляемого из почвы водного раствора минеральных веществ. При этом количество влаги, необходимой для прироста единицы фитомассы, оценивается по очевидному равенству [11]

$$E_{t1} = P_{i1} / C_i , \qquad (2)$$

где P_{i1} — количество i-го минерального элемента, необходимого для построения единицы фитомассы и лимитирующего в данных условиях ее рост; C_i — концентрация i-го минерального элемента в водном растворе, потребляемом растением из почвы.

С некоторым допущением можно принять, что количество элемента, необходимого для построения единицы фитомассы конкретной породы и лимитирующего ее рост и развитие, остается постоянным для любых условий. В этом случае из уравнения (2) следует, что с уменьшением концентрации питательных веществ в потребляемом растениями почвенном растворе, что соответствует ухудшению бонитета [11], должны возрастать затраты воды на прирост единицы фитомассы, и, соответственно, затраты энергии на удельную транспирацию.

Формулу (1) также можно использовать для оценки количества воды, необходимого для прироста единицы фитомассы. При этом удельная транспирация определяется как произведение удельной массы листвы на коэффициент транспирационной активности.

Основываясь на измененном равенстве (1) и равенстве (2), можно сделать вывод о том, что удельная масса листвы увеличивается со снижением концентрации питательных веществ в потребляемой растением из почвы воде. Этот вывод подтверждается зависимостями между удельной массой листвы (отношением массы листвы к приросту фитомассы) средневозрастного древостоя и показателем класса бонитета (рис. 2). Зависимости построены по данным, приведенным в работах [12, 13, 22]. Вместе с тем из этих же работ следует, что в зависимости от породы масса листвы в сухом виде возрастает на 0,3 — 1,0 т/га, а прирост на 1,2 — 1,8 т/га соответствует повышению продуктивности древостоя на один класс бонитета.

Нужно отметить, что в конкретном регионе при определенных энергетических ресурсах класс бонитета характеризует также и тип леса. Следовательно, для конкретной территории с ухудшением бонитета и лесорастительных условий возрастают энерго- и водопотребление при приросте единицы фитомассы.

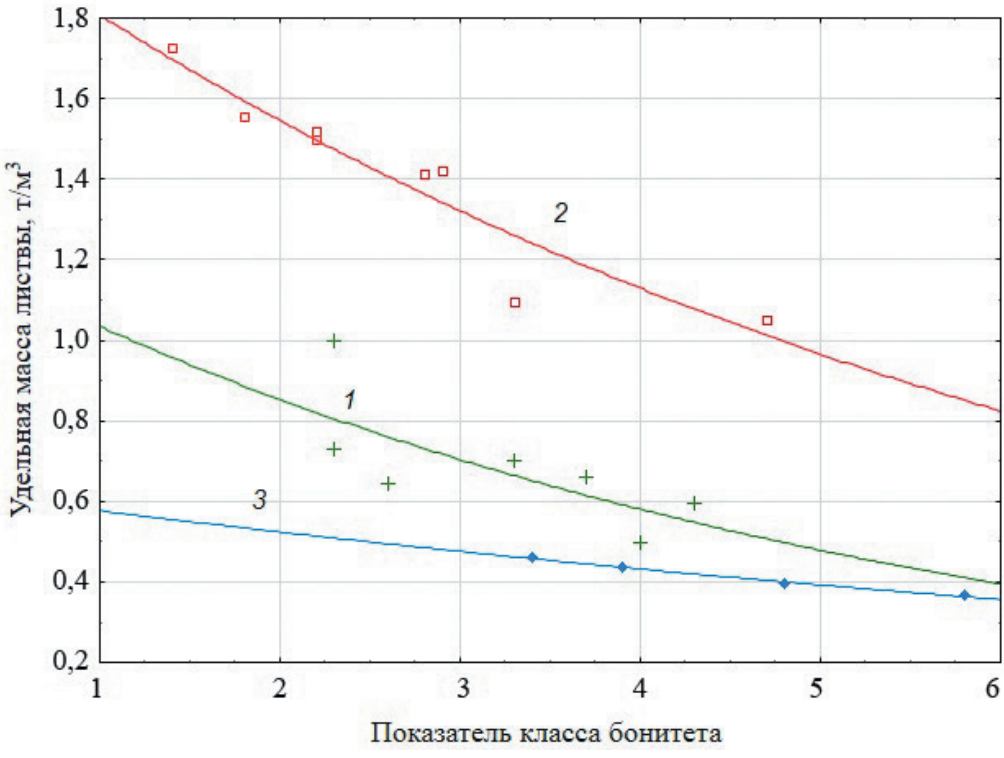

Рис. 2. Зависимость удельной массы листвы от продуктивности древостоя.

1 — сосняк, *2* — ельник, *3* — березняк.

Fig. 2. The dependence of the specific mass of foliage on the productivity of the stand.

1 — pine forest, *2* — spruce forest, *3* — birch forest.

Дополнительное потребление энергии и воды при ограниченных их ресурсах приводит к снижению общей фитомассы древостоя. При этом соответственно должна уменьшаться суммарная транспирация древостоем лесного участка.

С увеличением поступающей энергии при перемещении с севера на юг возрастают возможности увеличения водопотребления и поглощения питательных веществ из почвы, что способствует росту продуктивности древостоя.

Средний класс бонитета ельника черничного на территории, где радиационный баланс составляет 900 Мдж/(м^2·год) (северная подзона тайги, Мурманская область) равен V.0 (показатель класса бонитета 2,0). Ельник сфагновый достигает такого класса бонитета в южной подзоне тайги при радиационном балансе 1300 Мдж/(м^2·год) (Ленинградская область), где средний класс бонитета ельника черничного составляет II.7 (показатель класса бонитета 4,3) (см. рис. 1).

Возрастание водопотребления и поступления в связи с этим минеральных веществ при продвижении с севера на юг возможно, согласно формуле (1), только

при увеличении коэффициента транспирационной активности или при его постоянстве с увеличением массы листвы.

На основании результатов работы [23], свидетельствующих об увеличении индекса листовой поверхности (массы листвы) при продвижении с севера на юг примерно до южной границы таежной зоны (54—58° с.ш.), можно с некоторой вероятностью сделать вывод о доминирующем влиянии листового аппарата на продуктивность древостоя с увеличением радиационного баланса. Это дает основание принимать для конкретной породы постоянное значение коэффициента транспирационной активности, что соответствует результатам ряда исследований [1—3].

Все вышеизложенное показывает, что к факторам, определяющим массу листвы, относятся запас древесины, его прирост, а также класс бонитета, тип леса и радиационный баланс.

Расчеты испарения с лесных участков Северо-Запада России

Влияние типа леса и класса бонитета на испарение исследовалось по данным, характеризующим леса средней (южная Карелия) и южной (Ленинградская область) подзон тайги. Эти данные приведены в работах [4, 14]. При этом необходимо отметить, что использованная в настоящей работе некоторая дополнительная информация о таксационных характеристиках лесов Ленинградской области ранее была любезно предоставлена авторам А.А. Книзе и О.И. Крестовским. Все эти данные использовались при расчетах годовых значений испарения с лесных участков.

При расчетах принимались осредненные для рассматриваемых регионов метеорологические характеристики [24]. Для южно- и среднетаежной подзон годовая испаряемость принималась равной 500 и 450 мм соответственно, а годовые осадки с учетом всех поправок — 724 и 657 мм.

Суммарное испарение с леса за год определялось как сумма транспирации древостоем (E_t), испарения задержанных пологом леса осадков (E_i) и испарения с напочвенного покрова (E_s), включающего транспирацию растительности и физическое испарение [1]:

$$E = E_t + E_i + E_s. \tag{3}$$

Транспирация за год определялась по приведенной выше формуле (1), а годовое значение испарения осадков с полога леса рассчитывалась по уравнению [18]

$$E_i = E_{il} + E_{iws} + E_{ia}, \tag{4}$$

где E_{il} — испарение осадков с крон древостоя в теплый период (мм); E_{iws} — испарение снега с полога леса (мм); E_{ia} — испарение осадков (мм) с полога леса в переходный период, когда равновероятно выпадение жидких и твердых осадков.

Для расчета испарения осадков с крон за теплый период применялась формула [18]

$$E_{il} = k_{Ei} P_{il} \ln\left(m+1\right), \tag{5}$$

где P_{il} — количество жидких осадков за расчетный период (мм); k_{Ei} — коэффициент, равный для сосняка, ельника и березняка 0,105; 0,100 и 0,108 соответственно.

Для зимнего периода, когда снег лежит на кронах, испарение с полога хвойного древостоя вычислялось по формуле [18]

$$E_{iws} = 0,065dLAIn, \tag{6}$$

где d — дефицит влажности воздуха (гПа/сут); LAI — индекс листовой поверхности, представляющий собой отношение площади листовой поверхности к площади проекций крон древостоя и изменяющийся для различных лесных участков в среднем от 2 до 6 га/га; n — продолжительность расчетного периода (число суток).

Испарение с полога лиственного древостоя в период с отрицательной температурой, а также в переходный период при отсутствии листвы принималось равным 1 % количества осадков [1]:

$$E_{iws} + E_{ia} = 0,01C_M\left(P_{iws} + P_{ia}\right), \tag{7}$$

где P_{iws} и P_{ia} — количество осадков (мм) за период с отрицательной температурой и за переходный период соответственно; C_M — доля лиственных пород от общего запаса древостоя, указанная в таксационных описаниях.

Для переходных периодов испарение с хвойного леса рассчитывалось по формуле, предложенной О.И. Крестовским [1]:

$$E_{ia} = amP_{ia}, \tag{8}$$

где a — коэффициент, равный 0,01.

Испарение с напочвенного покрова вычислялось по формуле [18]

$$E_S = 0,8E_0 \exp\left(-0,3LAI\right), \tag{9}$$

где E_0 — испаряемость (мм), рассчитанная по методу Будыко — Зубенок [25].

Масса листвы рассчитывалась по предложенной в работе [26] эмпирической формуле, в которой учитывается продуктивность древостоя и косвенно тип леса, необходимость чего отмечается выше:

$$m = \frac{aM}{k_d}\exp\left[-h\left(b - c\ln\left(Kl + 1\right)\right)\right], \tag{10}$$

где m — масса листвы в свежем виде (т/га); Kl — показатель класса бонитета; h — средняя высота древостоя (м); k_d — коэффициент, показывающий долю сухого вещества в листве свежесрубленного дерева; a, b и c — коэффициенты регрессии, равные соответственно: для сосняков 0,15; 0,213; 0,063; для ельников 0,165; 0,128; 0,033; для березняков 0,067; 0,14; 0,026.

Значение коэффициента k_d для листвы рекомендуется принимать равным 0,48 для сосны, 0,46 для ели, 0,43 для березы [27].

Листовой индекс определялся по соотношению [18]

$$LAI = k_l m, \tag{11}$$

где k_l — переходный коэффициент, равный для сосны — 0,35; для ели — 0,28 и для березы — 0,62.

Из-за отсутствия значений коэффициентов для осины при расчетах по формулам (5), (10) и (11) они принимались равными их значениям для березы. При небольшой доле осины в лесах возможные неравенства соответствующих коэффициентов не приводят к большим погрешностям конечных результатов.

Следует отметить, что приведенные эмпирические формулы для определения составных частей суммарного испарения с леса разработаны с использованием опубликованных данных, полученных разными исследователями и различными методами. В работе [18] приведена оценка рассмотренного здесь метода расчета испарения (3), выполненная для 30 лесных водосборов Карелии. При сравнении осредненных значений годового испарения, вычисленных по формуле (3) и по уравнению водного баланса, получено, что отклонение составляет 1 %. В то же время расхождение максимальных из полученных этими методами значений составляет 26 %, а минимальных — 36 %. Такие расхождения могут быть объяснены точностью расчета по уравнению водного баланса и влиянием лесорастительных условий на точность расчета по методу (3).

Достаточно приемлемая точность осредненных для разных условий значений транспирации подтверждается сравнением результатов расчета по формуле (1) и полученных суммированием суточных значений по методу Пенмана — Монтейса, широко применяемому во многих странах мира. Выполненный для пяти лет анализ по трем карельским речным водосборам свидетельствует о том, что расхождение результатов расчета по двум методам не превышает 10 % [18].

Подтверждением точности расчетов испарения может служить выполненный выше анализ изменчивости листового аппарата, во многом определяющего величину испарения.

В табл. 1 представлены результаты расчетов суммарного испарения и транспирации, осредненные за 140-летний период роста сосняков и ельников и за 100-летний период роста березняков. Расчеты выполнялись по приведенным выше формулам для возраста, кратного 10, для всех типов леса.

Представленные в табл. 1 для каждого типа леса класс бонитета и полнота древостоя являются осредненными для всего возрастного ряда. Отмечается некоторое снижение полноты древостоя с ухудшением бонитета и лесорастительных условий, что сопровождается снижением транспирации древесной растительностью.

Участки леса, для которых выполнялись расчеты испарения, представлены смешанным по породному составу древостоем, и, следовательно, влагооборот исследуемых участков определяется влиянием на этот процесс всех произрастающих там пород. Практически на каждом лесном участке произрастают сосна, ель, береза и осина при преобладании породы, обозначающей тип леса.

Для оценки по изложенным выше методам испарения с разных типов чистых по составу карельских лесов среднетаежной подзоны использовались таблицы хода роста древостоя [14]. Модельные ряды возрастной динамики роста древостоя имеют полноту, равную единице, что исключает влияние этой характеристики на испарение с лесных участков.

Таблица 1

Осредненные за период роста древостоя значения испарения различных типов леса и транспирации древесной растительностью (Ленинградская область, южная подзона тайги)

Averaged values of evaporation of various forest types and transpiration by woody vegetation over the period of growth of the forest stand (Leningrad region, southern taiga subzone)

Характеристика	Типы сосновых лесов						
	скис	счер	сдчер	ссфч	слиш	сбаг	ссф
Бонитет	I	II	III	IV	IV	V	Va
Полнота	0,72	0,7	0,66	0,64	0,57	0,56	0,52
Испарение, мм	555	541	506	477	434	436	418
Транспирация, мм	229	213	178	146	122	115	83
Транспирация, %	41	39	35	31	28	26	20
Характеристика	Типы еловых лесов						
	екис	ечер	ечер	ечер	ечер	есфч.	етсбт
Бонитет	I	II	II	III	III	IV	V
Полнота	0,70	0,70	0,72	0,69	0,71	0,68	0,61
Испарение, мм	516	498	509	484	495	465	448
Транспирация, мм	220	194	205	175	189	155	134
Транспирация, %	43	39	40	36	38	33	30
Характеристика	Типы березовых лесов						
	бкис	бчер	бтк	бчер	бдч	бтбт	бтсф
Бонитет	I	II	II	III	III	III	IV
Полнота	0,74	0,74	0,70	0,72	0,72	0,69	0,63
Испарение, мм	516	518	505	494	494	488	470
Транспирация, мм	208	205	198	174	176	177	153
Транспирация, %	40	40	39	35	36	36	33

Примечание. скис — сосняк кисличный, счер — сосняк черничный, сдчер — сосняк долгомошно-черничный, ссфч — сосняк сфагново-черничный, слиш — сосняк лишайниковый, сбаг — сосняк багульниковый, ссф — сосняк сфагновый; екис — ельник кисличный, ечер — ельник черничный, есфч — ельник сфагново-черничный, етсбт — травяно-сфагновый и болотно-травяной; бкис — березняк кисличный, бчер — березняк черничный, бтк — березняк таволго- кисличный, бдч — березняк долгомошно-черничный, бтбт — березняк таволговый и болотно-травяной, бтсф — березняк травяно-сфагновый.

В табл. 2 приведены осредненные за 160-летние периоды роста хвойного древостоя и 100-летние периоды роста березняка значения суммарного испарения и транспирации древесной растительностью для восьми типов соснового леса, семи типов елового и шести типов березового. Расчеты выполнялись через 10-летние интервалы роста. Классы бонитетов каждого из типов леса являются осредненными по всему возрастному ряду.

Суммарное испарение с карельских лесов несколько меньше, чем с лесных участков южнотаежной подзоны, при близких классах бонитетов (см. табл. 1 и 2). Это объясняется в первую очередь различиями климатических условий.

Таблица 2

Осредненные за период роста древостоя значения испарения различных типов леса и транспирации древесной растительностью (Карелия, средняя подзона тайги)

Averaged values of evaporation of various forest types and transpiration by woody vegetation over the period of growth of the forest stand (Karelia, the average taiga subzone)

Характеристика	Типы сосновых лесов							
	счк	счсв	сбр	сдол	свер	сбаг	соссф	ссф
Бонитет	II.5	III.1	III.7	IV.3	IV.4	IV.8	V.3	V.7
Испарение, мм	452	445	434	420	421	409	403	395
Транспирация, мм	224	213	196	175	175	155	142	124
Транспирация (0,7), мм	*157*	*149*	*137*	*122*	*122*	*108*	*99*	*87*
Транспирация, %	50	48	45	42	42	38	35	31

Характеристика	Типы еловых лесов						
	екис	ечерсв	ебр	ечервл	ебтр	едол	ехвсф
Бонитет	II.8	III.6	IV.1	IV.3	IV.5	V.0	V.7
Испарение, мм	429	408	395	390	384	376	361
Транспирация, мм	202	178	163	156	147	141	114
Транспирация (0,7), мм	*141*	*125*	*114*	*109*	*103*	*99*	*80*
Транспирация, %	47	44	41	40	38	38	32

Характеристика	Типы березовых лесов					
	бзлр	брч	бзлбр	ббтр	босдол	боссф
Бонитет	I.8	II.7	III.4	III.8	IV.2	V.0
Испарение, мм	477	468	458	458	446	433
Транспирация, мм	274	259	241	240	219	193
Транспирация (0,7), мм	*192*	*181*	*169*	*168*	*153*	*135*
Транспирация, %	57	55	53	52	49	45

Примечания: 1. Курсивом выделены значения транспирации, рассчитанные для полноты древостоя, равной 0,7. 2. счк — сосняк чернично-кисличный, счсв — сосняк черничный свежий, сбр — сосняк брусничный, сдол — сосняк долгомошный, свер — сосняк вересковый, сбаг — сосняк багульниковый, соссф — сосняк осоково-сфагновый, ссф — сосняк сфагновый; екис — ельник кисличный, ечерсв — ельник черничный свежий, ебр — ельник брусничный, ечервл — ельник черничный влажный, ебтр — ельник болотно-травяный, едол — ельник долгомошный, ехвсф — ельник хвощево-сфагновый; бзлр — березняк злаково-разнотравный, брч — березняк разнотравно-черничный, бзлбр — березняк злаково-брусничный, ббтр — березняк болотно-трявяный, босдол — березняк осоково-долгомошный, боссф — березняк осоково-сфагновый.

Полученные результаты расчетов (см. табл. 1 и 2) свидетельствуют об увеличении суммарного испарения и транспирации древесных растений с улучшением условий роста леса и повышением продуктивности древостоя. Это соответствует сделанным выше выводам о влиянии этих факторов на массу листвы. Данный вывод подтверждает аналогичную тенденцию, отмеченную в выполненных ранее исследованиях [1, 18].

По результатам расчетов получено, что для лесных участков равной продуктивности, расположенных в южнотаежной подзоне, влияние породного состава на испарение и долю транспирации в испарении практически не прослеживается.

Такие результаты можно объяснить присутствием на участке разных пород, нивелирующих роль каждой из них в водопотреблении леса, а также точностью расчетов. Кроме того, можно предположить, что такое явление закономерно, так как каждый биогеоценоз стремится более эффективно использовать пространство и энергетические ресурсы. Это достигается, в частности, и за счет того, что при наличии пространственной неоднородности [28] размещение различных пород древостоя соответствует их требованиям к плодородию почв и к энергопотреблению, связанному с транспирацией.

Для модельных лесных участков средней подзоны тайги результаты расчетов свидетельствуют о том, что наибольшим испарением характеризуются березовые леса, а наименьшим — еловые. При этом различия в испарении уменьшаются с улучшением бонитета. В среднем расхождение в испарении между ельниками и березняками составляет около 11 %.

Выполненный ранее анализ исследований влияния пород древостоя на испарение [18] показывает, что многие авторы не обнаруживают наличия такой зависимости. Учитывая, что полученные нами результаты зависят от адекватности используемых таблиц хода роста природным условиям и расчетного метода следует признать необходимость продолжения данных исследований.

Транспирация древостоем для конкретных условий в большой степени зависит от его полноты и от климатических условий. Увеличением солнечной радиации, способствующей возрастанию доли листвы в фитомассе древостоя, можно объяснить заметное превышение значений транспирации, представленных в табл. 1, рассчитанных для полноты 0,7 значений из табл. 2. Такая полнота принята при сравнении из-за того, что эта величина близка к средней для участков, представленных в табл. 1.

Проявление лесорастительных условий в возрастной динамике испарения иллюстрируется для десяти основных типов сосновых лесов Карелии (рис. 3). При этом осредненные за период роста значения испарения для восьми из этих десяти типов сосновых лесов приведены в табл. 2. Наибольшее значение испарения за период роста от 20 до 160 лет отмечается в сосняке чернично-кисличном в 50 лет (класс бонитета II.5). При этом амплитуда возрастного изменения испарения составила около 80 мм. В сосняке сфагновом (класс бонитета V.7), характеризуемом достаточно низкими значениями испарения, максимум испарения наблюдается в 80—100-летних насаждениях, причем возрастные изменения испарения, как следует из результатов расчетов, не превышают 20 мм.

Нужно отметить, что на качественном уровне возрастная динамика испарения всех пород, произрастающих в различных лесорастительных условиях в Карелии и Ленинградской области, соответствует представленной на рис. 3. Различаются только количественные показатели, о чем можно судить по приведенным в таблицах данным.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что при оценке гидрологической роли лесов на водосборах с помощью различных моделей необходимо учитывать как климатические характеристики местности, так и лесорастительные условия.

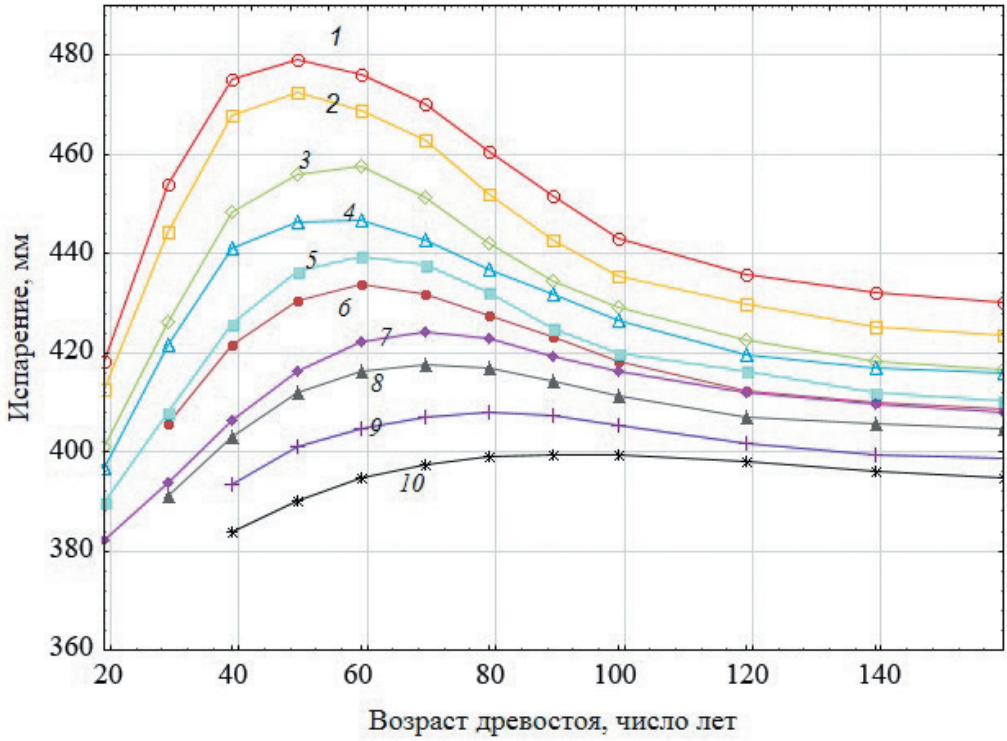

Рис. 3. Возрастные изменения испарения с разных типов сосновых лесов среднетаежной подзоны (Карелия).

1 — сосняк чернично-кисличный, *2* — сосняк черничный свежий, *3* — сосняк брусничный, *4* — сосняк черничный влажный, *5* — сосняк долгомошный, *6* — сосняк вересковый, *7* — сосняк лишайниковый, *8* — сосняк багульниковый, *9* — сосняк осоково-сфагновый, *10* — сосняк сфагновый.

Fig. 3. Age-related evaporation changes in some types of pine forests in the middle taiga subzone (Karelia).

1 — bilberry-oxalis pine forest, *2* — bilberry pine forest, *3* — lingonberry pine forest, *4* — moist bilberry pine forest, *5* — polytrichum pine forest, *6* — calluna pine forest, *7* — lichen pine forest, *8* — ledum pine forest, *9* — sedge-sphagnum pine forest, *10* — sphagnum pine forest.

Заключение

Суммарное испарение с леса и его возрастная динамика определяются особенностями формирования листового аппарата различной продуктивности, произрастающего в различных лесорастительных условиях древостоя. Эти особенности в большой степени обусловлены наличием элементов питания в лесной почве и энергозатратами на поглощение их из почвы и перемещение к органам растения. Данными факторами определяется доля количества листвы в фитомассе древостоя.

С ухудшением лесорастительных условий и бонитета лесного участка испарение и транспирация древостоем во всех возрастных категориях, как правило, снижаются. В среднем за период роста древостоя снижение продуктивности леса на один класс бонитета сопровождается уменьшением испарения на 20—25 мм. Отклонения от этой тенденции могут наблюдаться в спелых и перестойных лесах. Возраст древостоя, в котором наблюдаются максимальные испарение и транспирация, увеличивается с ухудшением лесорастительных условий и бонитета, что соответствует возрастным режимам массы листвы и текущего прироста.

Наибольшие испарение и транспирация древостоем наблюдаются в возрасте, характеризуемом самым высоким приростом фитомассы древостоя и максимальным количеством листвы. В соответствии с результатами расчетов возраст, в котором наблюдается максимальные годовые значения суммарного испарения и транспирации, изменяется от 50 до 100 лет в зависимости от лесорастительных условий.

Динамика испарения с леса на различных этапах его развития является исходной информацией для моделирования гидрологического режима лесных водосборов, стока с них и выноса химических веществ, а также для оценки влияния антропогенной деятельности на сток малых рек и определения экологического ущерба, уже причиненного лесохозяйственной деятельностью [29—31].

Благодарности

Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета в рамках проекта FP7 ERA — Net Sumforest-POLYFORES (идентификатор проекта RFMEFI61618X0101), средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН), а также темы № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Список литературы

1. *Крестовский О.И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 118 с.
2. *Кайбияйнен Л.К.* Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. IV. Общие характеристики водного режима в разных экологических условиях // Лесоведение. 1986. № 4. С. 70—75.
3. *Федоров С.Ф.* Определение транспирации еловыми насаждениями по коэффициенту транспирационной активности // Труды ГГИ. 1981. Вып. 279. С. 32—34.
4. *Книзе А.А., Крестовский О.И.* Определение влияния структуры лесного фонда на водность рек. Методические рекомендации. СПб: изд-во СПбНИИЛХ, 1993. 74 с.
5. *Monteith J.L.* Evaporation and environment. Symposium No. 19 of the Society for Experimental Biology. New York. Academic Press. 1965. V. 19. P. 205—234.
6. *Jarvis P.G.* The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1976. V. 273. No. 927. P. 593—610.
7. *Lexer M.J.* Anwendung eines «big leaf»-Modelles zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes in Fichtenbeständen // Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 1995. V. 112. No. 4. S. 209—225.

8. *Старцева З.П.* Использование модели влагопереноса для оценки суммарного испарения в ельниках Валдая // Лесоведение. 2000. № 5. С. 53—58.
9. *Breuer L., Eckhardt K., Frede G.-F.* Plant parameter values for models in temperate climates // Ekological Modelling. 2003. No. 169. P. 237—293. doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00274-6.
10. *Раунер Ю.Л.* Тепловой баланс растительного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 210 с.
11. *Карпечко Ю.В., Мясникова Н.А.* Особенности формирования листового аппарата и транспирации хвойного древостоя // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». 2014. № 4 (141). С. 78—84.
12. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
13. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков, А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
14. *Лесотаксационные* таблицы / Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1976. 33 с.
15. *Галенко Э.П.* Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 128 с.
16. Производительность еловых насаждений по типам леса (экологические нормативы). Научные рекомендации. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1991. 44 с.
17. Атлас СССР. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1985. 260 с.
18. *Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л.* Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 225 с.
19. *Молчанов А.А.* Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976. 168 с.
20. *Moren A.-S., Pertti K.L.* Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land // Studia Forestalia Suecica. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences. 1994. No. 194. P. 19.
21. *Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 472 с.
22. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.К.* Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.
23. *Цельникер Ю.Л., Малкина И.С., Завельская Н.А.* Географические аспекты фотосинтеза у лесных деревьев России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб: Гидрометеоиздат. Т. XVIII. 2002. С. 81—108.
24. *Водные* ресурсы Нечерноземной зоны РСФСР. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 214 с.
25. *Рекомендации* по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 96 с.
26. *Карпечко Ю.В., Мясникова Н.А.* Расчет фитомассы древостоя // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». 2012. № 4 (125). С. 77—81.
27. Лесотаксационный справочник. М.: Лесная промышленность, 1980. 288 с.
28. *Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г.* Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность // Лесоведение. 2010. № 5. С. 45—56.
29. *Кондратьев С.А., Карпечко Ю.В., Шмакова М.В., Расулова А.М., Родионов В.З.* Опыт экспериментальных исследований и математического моделирования воздействий вырубки леса и последующего лесовосстановления на сток и вынос химических веществ с лесных водосборов // Региональная экология. 2019. № 1 (55). С. 25—53. DOI:10.30694/1026-5600-2019-1-25-53.
30. *Родионов В.З., Дрегуло А.М., Кудрявцев А.В.* Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние рек Ленинградской области // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 4 (80). С. 96—108. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96—108.
31. *Биненко В.И., Иванов Р.В., Родионов В.З.* Мониторинг рек, озер, суши на основе использования беспилотных летательных аппаратов // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 34. С. 106—114.

References

1. *Krestovskiy O. I. Vliyaniye vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek.* Impact of deforestation and forest restoration on river water. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986: 117 p. [In Russian].

2. *Kaibiyainen L.K*. The balance of the water transport system in the pine. IV. General characteristics of water regime in different ecological conditions. *Lesovedenie.* Forest Science, 1986, 4: 70—75. [In Russian].
3. *Fedorov S.F.* Determination of transpiration by spruce plantations by transpiration activity coefficient. *Trudy gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*. Transactions of the State Hydrological Institute, 1981, 279: 32—34. [In Russian].
4. *Knize A.A., Krestovskii O.I. Opredelenie vliyaniya struktury lesnogo fonda na vodnost' rek*. Determination of the influence of the forest Fund structure on the water content of rivers. *Metodicheskie rekomendatsii* Methodical recommendation. Saint-Petersburg: St. Petersburg Research Institute of Forestry Publ*.,* 1993: 74 p. [In Russian].
5. *Monteith J.L.* Evaporation and environment. Symposium no. 19 of the Society for experimental Biology. New York. Academic Press. 1965, 19: 205—234.
6. *Jarvis P.G.* The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1976, 273 (927): 593—610.
7. *Lexer M.J.* Anwendung eines «big leaf»-Modelles zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes in Fichtenbeständen. Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 1995, 4 (112): 209—225.
8. *Startseva Z.P.* The use of moisture transport models for estimation of evapotranspiration in the spruce forests of Valdai. *Lesovedenie*. Forest Science. 2000, 5: 53—58. [In Russian].
9. *Breuer L., Eckhardt K., Frede G.-F.* Plant parameter values for models in temperate climates. Ekological Modelling. 2003, 169: 237—293.
10. *Rauner Yu.L. Teplovoi balans rastitel'nogo pokrova*. Thermal balance of vegetation cover. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972: 210 p. [In Russian].
11. *Karpechko Yu.V., Myasnikova N.A.* Features of formation of leaf apparatus and transpiration of coniferous stand. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki*". Scientific notes of Petrozavodsk State University. A series of "Natural and Technical Sciences". Petrozavodsk, 2014, 4 (141): 78—84. [In Russian].
12. *Kazimirov N.I., Morozova R.M. Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii*. Biological cycle of substances in spruce forests of Karelia. Leningrad: Nauka, 1973: 176 p. [In Russian].
13. *Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov, A.A., Morozova R.M. Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeiskogo Severa*. Exchange of Substances and Energy in the Pine Forests of the European North. Leningrad: Nauka, 1977: 304 p. [In Russian].
14. 14. *Lesotaksatsionnye tablitsy*. Forest taxation tables. Petrozavodsk: Karelian Branch of the Academy of Sciences of SSSR, 1976: 33 p. [In Russian].
15. 15. *Galenko E.P. Fitoklimat i energeticheskie faktory produktivnosti khvoinogo lesa Evropeiskogo Severa*. Phytoclimate and energy factors of coniferous forest productivity in the European North. Leningrad: Nauka, 1983: 128 p. [In Russian].
16. *Proizvoditel'nost' elovykh nasazhdenii po tipam lesa (ekologicheskie normativy). Nauchnye rekomendatsii*. Productivity of spruce plantations by forest types (environmental standards). Scientific advice. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN. Karelian Scientific Center of RAS, 1991: 44 p. [In Russian].
17. *Atlas SSSR*. Atlas of the USSR. Moscow: General Directorate of Geodesy and Cartography, 1985: 260 p. [In Russian].
18. *Karpechko Yu.V., Bondarik N.L. Gidrologicheskaya rol' lesokhozyaistvennykh i lesopromyshlennykh rabot v taezhnoi zone Evropeiskogo Severa Rossii*. The hydrological role of forestry and forest industry in the taiga zone of the European North of Russia. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of the RAS, 2010: 225 p. [In Russian].
19. *Molchanov A.A. Dendroklimaticheskie osnovy prognozov pogody*. Dendroclimatic bases of weather forecasts. Moscow: Nauka, 1976: 168 p. [In Russian].
20. *Moren A.-S., Pertti K.L.* Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. 1994, 194: 19 p.
21. *Budyko M.I. Klimat i zhizn'*. Climate and life. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971: 472 p. [In Russian].
22. *Kazimirov N.I., Morozova R.M., Kulikova V.K. Organicheskaya massa i potoki veshchestv v beresznyakakh srednei taiga*. Organic mass and flows of substances in birch forests of the middle taiga. Leningrad: Nauka, 1978: 216 p. [In Russian].

23. *Tsel'niker Yu.L., Malkina I.S., Zavel'skaya N.A.* Geographical aspects of photosynthesis in Russian forest trees. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*. Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat. 2002. XVIII: 81—108. [In Russian].
24. *Vodnye resursy Nechernozemnoi zony RSFSR*. Water resources of the non-Chernozem zone of the RSFSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980: 214 p. [In Russian].
25. *Rekomendatsii po raschetu ispareniya s poverkhnosti sushi*. Recommendations for the calculation of evaporation from the land surface. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976: 96 p. [In Russian].
26. *Karpechko Yu.V., Myasnikova N.A.* Calculation of forest phytomass. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki*". Scientific notes of Petrozavodsk state University. A series of "Natural and technical Sciences". Petrozavodsk, 2012, 4 (125): 77—81. [In Russian].
27. *Lesotaksatsionnyi spravochnik*. Forest handbook. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. Forest Industry, 1980: 288 p. [In Russian].
28. *Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G.* Forest soil fertility as the basis of soil-vegetation relationship. *Lesovedenie*. Forest Science, 2010, 5: 45—56. [In Russian].
29. *Kondrat'ev S.A., Karpechko Yu. V., Shmakova M. V., Rasulova A.M., Rodionov V.Z.* Experience of experimental studies and mathematical modeling of the impacts of deforestation and subsequent reforestation on the runoffand removal of chemicals from forest watersheds. *Regional'naya ekologiya.* Regional Ecology, 2019, 1 (55): 25—53. DOI:10.30694/1026-5600-2019-1-25-53. [In Russian].
30. *Rodionov V.Z., Dregulo A.M., Kudryavtsev A.V.* Anthropogenic impact on the ecological state of rivers in the leningrad region. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya.* Water and ecology: problems and solutions, 2019, 4 (80): 96—108. Doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.4.96-108. [In Russian].
31. *Binenko V.I., Ivanov R.V., Rodionov V.Z.* Monitoring of rivers, lakes, land-based use of unmanned aerial. *Uchenye zapiski RSHU.* Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2014, 34: 106—114. [In Russian].

Статья поступила 27.01.2020
Принята в печать 05.03.2020

Сведения об авторах

Карпечко Юрий Васильевич, д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник Института леса Карельского научного центра РАН, karp@nwpi.krc.karelia.ru

Кондратьев Сергей Алексеевич, д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией математических методов моделирования Института озероведения РАН, kondratyev@limno.org.ru

Родионов Владимир Зинонович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологических проблем природно-хозяйственных систем и урбанизированных территорий. ФГБУН СПб НИЦЕБ РАН, rodionov1941@mail.ru

Шмакова Марина Валентиновна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории математических методов моделирования Института озероведения РАН, m-shmakova@yandex.ru

Information about authors

Karpechko Yury Vasilievich, Grand PhD (Geog. Sci.), lead researcher of Institute of Forest, Karelia Research Center RAS

Kondratyev Sergei Alekseevich, Grand PhD (Phys and Math. Sci.), chief of the laboratory of mathematical modeling methods of the Institute of lake science RAS

Rodionov Vladimir Zinonovich, PhD (Geog. Sci.), senior researcher at the laboratory of environmental problems of natural and economic systems and urbanized territories

Shmakova Marina Valentinovna, PhD (Tech. Sci.), senior researcher of the laboratory of mathematical modeling methods

УДК 556.131.1.048(261.24) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-68-82

ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ ПРИ РАЗНЫХ ПЕРИОДАХ ОСРЕДНЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ЮЖНОЙ БАЛТИКЕ

А.С. Аверкиев[1], В.Ф. Дубравин[2]

[1] Российский гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, asav@rshu.ru
[2] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

На основании длительных и надежных рядов наблюдений (2002—2016 гг.) на станциях в Южной Балтике дана количественная оценка влияния осреднения на рассчитанные значения потока влаги в случае непосредственного расчета по данным срочных наблюдений и в случае расчета по осредненным данным. Получены коэффициенты для коррекции значений испарения, рассчитанных по осредненным значениям гидрометеорологических параметров.

Ключевые слова: испарение, поток влаги, осреднение, гидрометеорологические параметры, Балтийское море.

CALCULATION ACCURACY OF EVAPORATION AT DIFFERENT AVERAGING PERIODS BY OBSERVATION DATA IN THE SOUTHERNBALTIC

A.S. Averkiev[1], V.F. Dubravin[2]

[1] Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia
[2] Institute of Oceanology P.P. Shirshov RAS, Moscow, Russia

The evaporation or moisture flow in the boundary layer is one of important components in the ocean-atmosphere interaction system. The most commonly used formulas for calculating evaporation include standard hydrometeorological parameters — atmospheric pressure, wind speed, drop of humidity, and height, at which measurements are made, and the exchange rate of moisture, which also depends on these parameters. The correct method is to calculate moisture flow based on current or hourly parameter values and then average the flow values for the required period: day, month or year. In the absence of current data of observation parameters, flow values should be calculated based on averaged parameter values. In this case, the calculated values of evaporation strongly depend on the method and the averaging period. Using the example of rather long observation series (2002—2016) at stations in the Southern Baltic, a quantitative assessment of the effect of averaging on the calculated values of the moisture flow both for direct calculation from the current observation data and for averaged data is made. The probable explanations are given for a significant variation in the calculated values of evaporation in the Baltic Sea by different authors. The coefficients for the correction of evaporation values obtained from the averaged values of hydrometeorological parameters are calculated. It is shown that averaging the parameters per day is acceptable with almost no loss of accuracy (error no more than 2-4 %). Averaging the values of hydrometeorological parameters over the period of a month leads to an underestimation of the calculated evaporation values by 20-30 %. When averaging over a period of about a year, the error increases to 30-35 %. The conclusions and correction coefficients are valid for calculations of evaporation in the Baltic Sea and can be used in other areas of middle and high latitudes,

where the evaporation values do not differ by orders of magnitude (tropics, equator, zones of significant variability of environmental parameters).

Keywords: evaporation, moisture flow, averaging, hydrometeorological parameters, Baltic Sea.

For citation: *Averkiev A.S., Dubravin V.F.* Accuracy of Evaporation calculation at Different Periods of Averaging by Observation Data in Southern Baltica. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 68—82. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-68-82

Введение

В системе взаимодействия океана и атмосферы большая роль принадлежит круговороту воды — влагообороту. Влагооборот, помимо собственно значимости, обеспечивает круговорот тепла. Совместно с общей циркуляцией атмосферы эти процессы формируют климат Земли.

Основу влагооборота составляет обмен пресными водами в результате материкового стока (R_Σ), осадков (Pr) и испарения (E). В отличие от измерений величин R_Σ и Pr, прямые измерения испарения (E) или потока влаги (E_v) в открытом море (океане) трудновыполнимы и производятся редко. Одним из косвенных методов измерения этих величин является аэродинамический: турбулентные потоки влаги (а также потоки тепла и импульса) выражаются через значения характеристик на стандартном уровне измерений, т. е. используются так называемые балк-формулы. Как правило, сравниваются значения на высоте 10 м и на поверхности моря. Обоснование этого метода и анализ работ по физическим основам параметризаций приводятся, например, в [1].

В последнее время появились модели (см., например, [2]), в которых сделана попытка улучшить классический балк-метод путем учета дополнительной информации о солнечной (коротковолновой и длинноволновой) радиации и состоянии поверхности моря (ее шероховатости, обусловленной волнением). Очевидно, что учет дополнительной информации несколько улучшает полученные для потоков результаты, но, во-первых, это усложняет расчеты, а во-вторых, и это главное, модель используется только для расчетов по данным срочных наблюдений и, по-видимому, непригодна для исследования долгопериодной изменчивости потоков тепла и влаги (с использованием метеоданных с дискретностью месяц или год).

По мнению авторов, при расчете потов тепла, влаги и импульса в Северной Атлантике по средним многолетним месячным значениям гидрометеорологических величин предпочтение следует отдавать методике С.К. Гулева [1, 3]. Такие расчеты для Балтийского моря не производились. Поэтому в данной работе подход С.К. Гулева и соавторов использован для акватории Южной Балтики, для которой имеются данные достаточно продолжительных гидрометеорологических наблюдений (2002—2016 гг.) на автоматических морских станциях с дискретностью 1 ч. Эти ряды уникальны по продолжительности и дискретности, и для открытого моря в других частях Балтики подобных рядов нет.

Сведения о потоках тепла и влаги с различным разрешением по времени и пространству можно найти в некоторых базах данных. Однако в большинстве

случаев они получены методами реанализа и качество и дискретность исходных гидрометеорологических данных, по которым они рассчитаны, неизвестны [4]. Поэтому такие сведения о потоках на поверхности раздела вода — воздух требуют тщательной проверки на основе надежных данных наблюдений хотя бы в некоторых пунктах. Спутниковая информация, касающаяся испарения и осадков [4], также нуждается в проверке и «привязке» по фактическим контактным данным наблюдений. Именно такие данные обработаны в данном исследовании и применены для расчета потоков влаги с разными периодами осреднения исходных гидрометеорологических параметров. Таким образом, приводимые здесь рассчитанные значения испарения и поправочные коэффициенты при разных значениях периода осреднения могут быть использованы как в моделях и прогностических схемах, так и для проверки надежности данных из архивов и баз данных разного происхождения.

Методы и оценки точности расчета испарения

Как известно, формула для расчета испарения (вертикального потока влаги) имеет вид

$$E_V = 0,622 P_0^{-1} \rho C_E \left(E_{0w} - e_a \right) W, \tag{1}$$

где P_0 — атмосферное давление на уровне моря (гПа); ρ — плотность воздуха (кг/м^3); e_a — парциальное давление водяного пара (гПа); E_{0w} — парциальное давление водяного пара, насыщенного при температуре воды T_w (°C); W — скорость ветра в приводном слое (м/с).

В формулу (1) входит коэффициент обмена влагой C_E, определение которого является задачей параметризации потоков влаги на границе океан — атмосфера [1, 5, 6]. Известно, что коэффициент C_E зависит от скорости ветра W, перепада влажности δE, стратификации и высоты z, на которой выполнялись измерения ([1, 3, 6—13] и др.). Многообразие подходов к параметризации процессов обмена привело к весьма широкому диапазону значений коэффициента обмена, предлагаемых разными авторами. Обобщения, позволяющие сопоставлять различные методы расчета, можно найти в работах [1, 2, 10, 13]. Как правило, значения коэффициента C_E составляют примерно $(1,0\ldots1,7)\cdot10^{-3}$. Иногда коэффициент C_E принимается постоянным. Например, в работе [14] $C_E = 1,3\cdot10^{-3}$. Однако использование средних значений коэффициента обмена без учета различий в гидрометеорологических условиях приводит к значительным погрешностям в расчетах потоков влаги (по оценкам в работе [10] равным ±27 %).

В [1] в качестве меры различия в подходах к расчету потоков тепла и влаги (при различных периодах осреднения) предложены коэффициенты вида

$$\xi_E\left(\tau, C_E, W, \delta e\right) = \frac{E\left(\tau, C_E, W, \delta e\right)}{\overline{E}\left(C_E, \overline{W}, \overline{\delta e}\right)}, \tag{2}$$

где в числителе — поток влаги по срочным данным, затем суммированное за период τ («корректный подход» по Лаппо и Гулеву [1]), а в знаменателе — осреднение

гидрометеорологических параметров в формуле (1) за тот же период, используемое для расчета потока («некорректный подход»); $\delta e = \left(E_{0w} - e_a\right)$. По сути, коэффициент ξ представляет собой функцию самих параметров и от периода осреднения.

Согласно [1, 3], эти поправки при месячном и годовом осреднении имеют следующий вид:

$$\xi_E\left(\tau, \delta e, W\right) = 0{,}058\left(\ln\tau - 3{,}144\right)^{1+0{,}059\overline{\delta e(\tau)}+0{,}034\overline{W(\tau)}} + 1{,}039 \text{ при } 3 \text{ ч} < \tau \le 720 \text{ ч}, \quad (3)$$

$$\xi_E\left(\tau, \delta e, W\right) = 0{,}063\left(\ln\tau - 3{,}826\right)^{1+0{,}109\overline{\delta e(\tau)}+0{,}0084\overline{W(\tau)}} + 1{,}023 \text{ при } 1 \text{ мес} < \tau \le 24 \text{ мес}. \quad (4)$$

Величины $\overline{\delta e(\tau)}$ и $\overline{W(\tau)}$ в (2) — (4) соответствуют осредненным за период τ параметрам. По оценкам в [1, 15] месячное осреднение занижает значения потоков испарения на 27 % относительно данных срочных наблюдений, а годовое осреднение — на 23 % относительно месячного осреднения, или на 54 % относительно срочных наблюдений.

Таким образом, формула (1) при применении в широтах открытого океана с высокой синоптической изменчивостью приводного слоя атмосферы и выраженным сезонным ходом должна быть дополнена коэффициентами (2) — (4), учитывающими масштаб осреднения параметров по времени:

$$E_V = \xi_E^{(\tau)} 0{,}622 \overline{P_0^{-1}} \overline{\rho} \overline{C_E} \overline{\delta E} \overline{W}. \quad (5)$$

Кроме того, в [1, 15] указывалось, что зависимость C_E от гидротермодинамических условий должна дополняться зависимостью ξ_E от масштабов пространственно-временного осреднения, также возникающей из-за нелинейности в выражениях (1) или (5). Например, в соответствии с [15], относительно наблюдений в точке пространственное двухградусное осреднение занижает потоки испарения на 28 %, а пятиградусное — на 46 %.

В случае среднемесячных или годовых климатических величин $\overline{\delta e}, \overline{W}$ месячное или годовое осреднение по [1] необходимо еще дополнить осреднением по ансамблю календарных месяцев или лет и в формуле (5) вместо $\xi^{(\tau)}$ следует использовать величины $\left[\overline{\xi^{(\tau)}}\right]$, также зависящие от динамических характеристик приводного слоя и стратификации и связанные с $\xi^{(\tau)}$ соотношениями

$$\left[\overline{\xi_E^{(30)}}\right] = \xi_E^{(30)}\left(1 + 0{,}053\overline{\delta e} + 0{,}0039\overline{W}\right); \quad \left[\overline{\xi_E^{(365)}}\right] = 1{,}149\xi_E^{(365)}. \quad (6)$$

Для понимания масштаба изменчивости величин обратимся к табл. 1, в которой, кроме размаха сезонного хода и климатических среднегодовых значений E и C_E, рассчитанных для района B11 (Западная Балтика) [16] по методикам разных авторов, представлены и отношения этих значений C_E к значениям коэффициента C_E, приведенным в работах С.К. Гулева [1, 3].

В табл. 1 приводятся примеры расчета C_E по двум методикам для данных срочных наблюдений [9, 11] — наименьшие значения C_E, а также по пяти методикам

для месячных данных [3, 7, 8, 12, 14] — наибольшие значения C_E. Отношение коэффициентов влагообмена C_E, рассчитанных по методикам [8, 12] к C_E по Гулеву [3] в среднегодовом масштабе составило 0,95—0,97.

Таблица 1

Рассчитанные по методикам разных авторов размах колебаний сезонного хода и годовые значения испарения E (мм), коэффициенты влагообмена $C_E \cdot 10^{-3}$ и отношение C_E разных авторов к C_E по С.К. Гулеву [3] ($C_E / (C_E)_Г$) для района В11 (1951—2000 гг.) по данным [16]

Calculated by the methods of different authors, the amplitude of seasonal variations and annual evaporation values E (mm), moisture exchange coefficients $C_E \cdot 10^{-3}$ and the ratio of C_E of different authors to C_E according to S.K. Gulev [3] ($C_E / (C_E)_Г$) for the B11 region (1951—2000) according to [16]

Авторы методики	Испарение E		$C_E \cdot 10^{-3}$		$C_E / (C_E)_Г$	
	Размах мм	мм/год	Размах	Среднее	Размах	Среднее
Радикевич, 1970 [11]	18,9—65,1	492,2	1,16—1,50	1,43	0,52—0,70	0,61
Бортковский, 1971 [9]	17,5—65,7	501,8	1,10—1,33	1,26	0,55—0,68	0,61
Ариэль и др., 1973 [7]	20,2—75,5	570,9	1,27—1,54	1,44	0,63—0,78	0,70
Ефимов и др., 1985 [14]	20,7—67,8	511,4	1,3—1,3	1,3	0,56—0,69	0,63
Шулейкин, 1968 [12]	30,9—105,1	774,8	1,91—2,02	1,96	0,87—1,03	0,95
Атлас, 1963 [8]	31,5—107,1	790,1	1,94—2,05	2,00	0,89—1,05	0,97
Гулев, Украинский, 1989 [3]	29,9—120,4	833,0	1,88—2,31	2,06	1,00—1,00	1,00

Из табл. 1 следует, что использование значений коэффициента C_E, рассчитанных по разным методикам, приводит к разбросу годового значения испарения в районе В11 от 492 до 833 мм. Кроме того, ранее в [17] было показано, что рассчитанное по методике С.К. Гулева [3] значение испарения, равное E = 300,4 км^3/год (или 716 мм с учетом среднего значения площади Балтийского моря, равного 419 тыс. км^2), для всей Балтики оказалось на 30—40 % выше результатов других авторов, в то время как значение E = 202,8 км^3/год (484 мм), полученное авторами настоящей работы по методике Н.З. Ариель [7], близкО́ к средним значениям. Таким образом, оценки годовых значений испарения E для Балтийского моря по данным разных авторов составляют от 170 км^3/год (406 мм) [18] до 300 км^3/год (716 мм) [17].

Целью настоящей работы является определение поправочных коэффициентов $\xi^{(\tau)}$ для расчета испарения при разных периодах осреднения входящих в формулу (1) параметров приводного слоя при фиксированном значении коэффициента обмена влагой C_E.

Исходные данные, материалы и методика расчетов при разных периодах осреднения

Для анализа расчетов E и C_E использовались данные натурных наблюдений температуры воздуха T_a (°С) и воды T_w (°С), относительной влажности f (%), атмосферного давления на уровне моря P_0 (гПа) и скорости ветра W (м/с) (дискретность

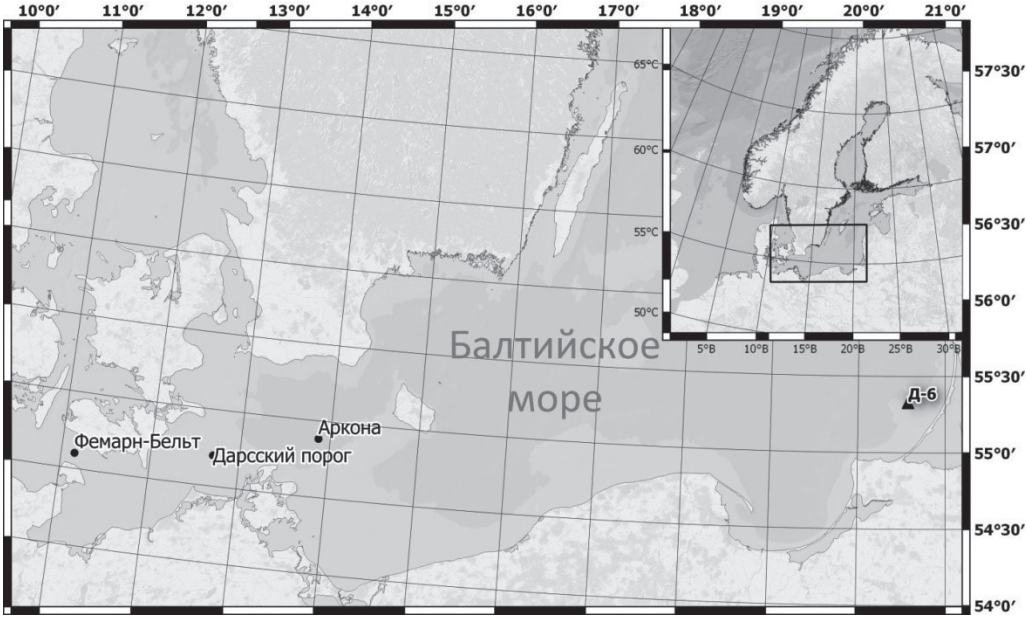

Рис. 1. Карта района исследований: указано положение станций мониторинговой сети MARNET и морской ледостойкой стационарной платформы Д-6.

Fig. 1. Map of the research area: the location of the stations of the monitoring network MARNET and the sea ice-resistant stationary platform Д-6 is indicated.

1 ч), на станциях Аркона (Arkona Basin) (54°53′ с.ш., 13°52′ в.д.) и Дарсский порог (Darss Sill) (54°42’ с.ш., 12°42’ в.д.) мониторинговой сети MARNET (рис. 1) за 2002—2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075), предоставленные Немецким центром океанографических данных (BSH/DOD M41).

Были выполнены следующие операции:

1) расчет значений испарения на обеих станциях за каждый час ($E_{час}$) и приведение к суткам $E_{сут}$ (суммированием за 24 час), к месяцу $E_{мес}$ (суммированием по числу дней в месяце), к году $E_{год}$ (суммированием за год); сравнение со значениями испарения, рассчитанными по осредненным за сутки, месяц и год гидрометеорологическим параметрам ($\bar{E}_{сут}$, $\bar{E}_{мес}$, $\bar{E}_{год}$);

2) сравнение значений испарения на обеих станциях за каждые сутки ($\bar{E}_{сут}$), приведенных к месяцу $E_{мес}$ и к году $E_{год}$, со значениями, полученными по осредненным за месяц и год гидрометеорологическим параметрам ($\bar{E}_{мес}$, $\bar{E}_{год}$);

3) сравнение значений испарения на обеих станциях за месяц ($\bar{E}_{мес}$), приведенных к году $E_{год}$, со значениями, полученными по осредненным за год гидрометеорологическим параметрам ($\bar{E}_{год}$).

В табл. 2 представлены месячные и годовые значения испарения E (мм) на станциях Аркона и Дарсский порог (далее ст. Дарсс), рассчитанные с различной дискретностью и при коэффициенте влагообмена $C_E = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$. Такое значение

коэффициента наиболее часто используется при расчетах испарения на границе раздела атмосфера — океан и было выбрано авторами для дальнейших расчетов. Длина суточных выборок составила 2665 и 2940 для станций Аркона и Дарсс соответственно. Это меньше, чем общее число дней за период 2002 —2016 гг., так как в наблюдениях были пропуски (по-видимому, в период проведения профилактики, ремонта поврежденных датчиков и пр.). Расчеты проводились только по тем суткам, когда наблюдениями была охвачена большая часть суток. Длина месячных выборок составила 153 и 134 месяца для станций Аркона и Дарсс соответственно, и это тоже связано с тем, что для расчета использовались только месяцы с практически полным набором данных. Для годовых выборок оказалось 10 и 9 полных лет для станций Аркона и Дарсс соответственно.

Таблица 2

Средний многолетний внутригодовой ход испарения *E* (мм) на станциях Аркона и Дарсс, рассчитанный с различной дискретностью

The average long-term intra-annual course of evaporation *E* (mm) at Arkona and Darss stations, calculated with different discreteness

Дискретность	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Аркона (2002—2016)													
Час	63,4	29,6	21,1	15,2	15,1	35,9	48,1	81,9	76,7	89,3	84,8	61,1	622,2
Сутки	63,3	29,3	21,1	14,7	14,6	35,6	47,3	81,7	77,1	89,4	85,2	61,6	620,9
Месяц	53,8	24,5	15,1	6,9	5,2	20,9	39,0	69,3	73,0	85,6	70,9	56,3	520,4
Год	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	481,3
Дарсский порог (2003—2016)													
Час	46,3	27,5	14,2	11,0	19,1	33,5	50,6	61,5	65,1	77,4	64,8	47,0	518,1
Сутки	46,3	27,7	14,2	10,8	18,7	33,0	49,8	61,3	64,7	77,6	65,1	47,3	516,6
Месяц	45,4	25,5	11,8	3,8	9,3	24,3	38,8	50,2	62,1	71,9	59,5	46,5	449,2
Год	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	423,0

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и затем приведенных к суткам ($E_{сут}$), и значений испарения, рассчитанных по среднесуточным значениям гидрометеорологических элементов ($\bar{E}_{сут}$) за весь период наблюдений для обеих станций, показало, что средние значения совпадают: для ст. Аркона $E_{сут} = \bar{E}_{сут}$ =1,8 мм; для ст. Дарсс $E_{сут} = \bar{E}_{сут}$ = 1,5 мм. Значения коэффициента корреляции практически равны единице, и средние квадратические отклонения совпадают в обоих расчетных рядах (для ст. Аркона $\sigma_x = \sigma_y$ = 1,8 мм; для ст. Дарсс $\sigma_x = \sigma_y$ = 1,7 мм).

Это убедительно свидетельствует о том, что суточное осреднение исходных параметров не приводит к существенным отклонениям от результатов расчета испарения по данным срочных наблюдений, и, следовательно, такое осреднение возможно при любых расчетах, по крайней мере, в Балтийском море. По оценкам, представленным в работе [1], для Северной Атлантики различие в результатах расчета испарения по срочным значениям и осредненным за сутки составляет 4 %. Сравнение результатов авторов настоящей работы и оценок из работы [1] будет приведено ниже.

Сравнение значений испарения, рассчитанных по ежечасным наблюдениям, суммированным за сутки и за месяц ($E_{мес}$, мм/мес), и значений испарения, рассчитанных по среднемесячным данным ($\bar{E}_{мес}$, мм/мес) для обеих станций, показывает систематическое занижение оценок испарения, рассчитанных по среднемесячным значениям гидрометеорологических элементов примерно на 24—26 %. Коэффициент корреляции при этом составляет 0,90 для ст. Аркона и 0,94 для ст. Дарсс, а уравнения регрессии имеют вид

$$\overline{E}^{A}_{мес} = 0,845E^{A}_{мес} - 0,064, \tag{7}$$

$$\overline{E}^{Д}_{мес} = 0,910E^{Д}_{мес} - 1,557. \tag{8}$$

Графики связи значений испарения по осредненным за месяц данным и значений испарения по «срочным» данным для обеих станций имеют явный линейный характер (рис. 2), но разброс точек существенно больше, чем при осреднении с периодом одни сутки.

При сравнении значений испарения, рассчитанных по среднегодовым значениям гидрометеорологических элементов ($\bar{E}_{год}$, мм/год), с «почасовыми» значениями, суммированными за сутки, месяц и год ($E_{год}$, мм/год), выявлено занижение до 34—35 %. Полученные уравнения регрессии имеют вид

$$\overline{E}^{A}_{год} = 0,493E^{A}_{год} + 179,63, \tag{9}$$

$$\overline{E}^{Д}_{год} = 0,536E^{Д}_{год} + 138,18. \tag{10}$$

Значения коэффициента корреляции существенно ниже, чем в первых двух случаях, и равны 0,64 и 0,91. Хотя последнее значение достаточно высокое, но длина рядов (10 и 9 лет) явно недостаточна для надежного вычисления коэффициентов корреляции. В математической статистике для надежного вычисления коэффициента корреляции и построения уравнений регрессии достаточной считается длина ряда не менее 30—40 членов. Однако для более полного охвата возможных периодов осреднения были построены уравнения регрессии для периодов осреднения до 1 года (рис. 3).

Вторая серия аналогичных расчетов произведена для случая, когда за аргумент (x) приняты значения испарения $\bar{E}_{сут}$, рассчитанные по средним суточным значениям параметров и затем приведенные суммированием к месяцу и году, а за функцию y — значения, рассчитанные по среднемесячным и среднегодовым данным. Например, если отсутствуют данные срочных наблюдений, но есть средние суточные значения или данные наблюдений, выполненных один раз в сутки.

Уравнения регрессии при месячном осреднении сходны с уравнениями (7) — (8) и для станций Аркона и Дарсс имеют следующий вид соответственно:

$$\overline{E}^{A}_{мес} = 0,841E^{A}_{мес} + 0,20, \tag{11}$$

$$\overline{E}^{Д}_{мес} = 0,909E^{Д}_{мес} - 1,45. \tag{12}$$

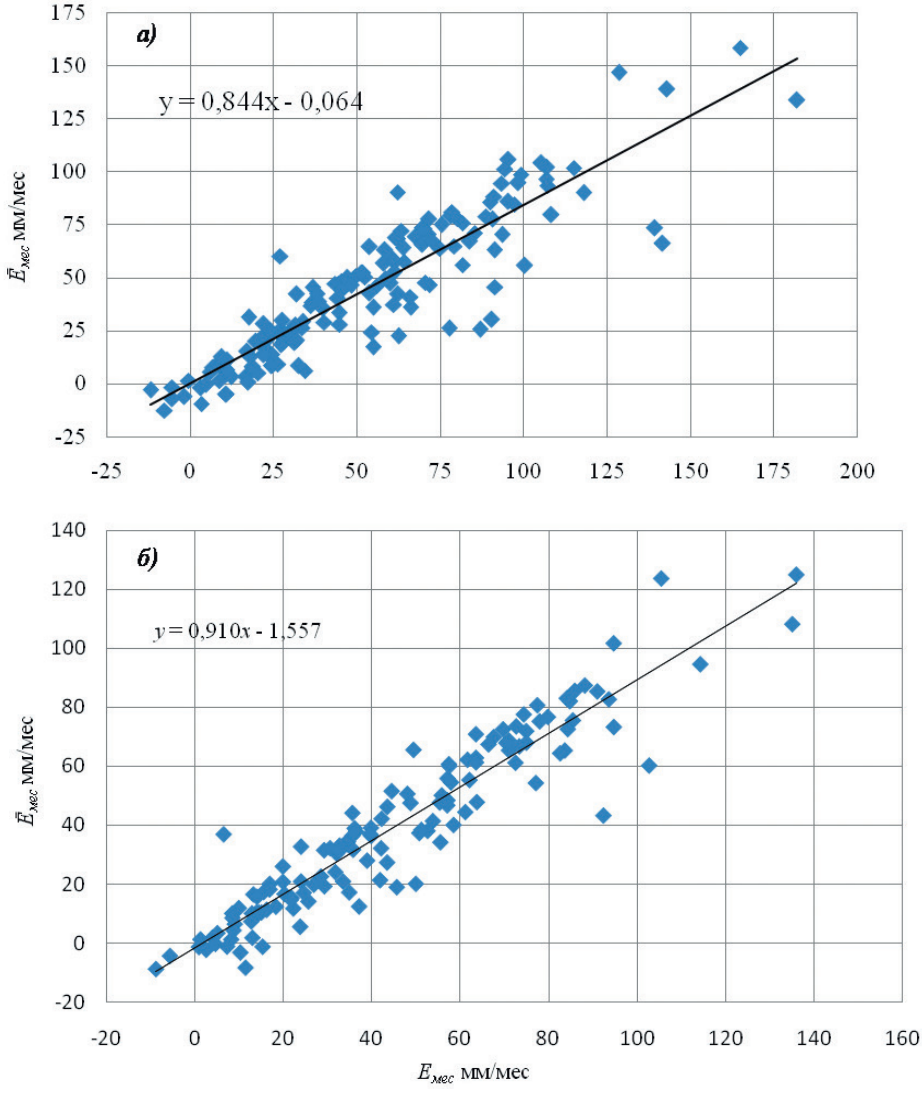

Рис. 2. Связь значений испарения, рассчитанных по среднемесячным значениям гидрометеорологических величин ($\bar{E}_{мес}$, ось ординат), со значениями испарения, суммированными за сутки и месяц ($E_{мес}$, ось абсцисс), для ст. Аркона (*а*) и ст. Дарсс (*б*).

Fig. 2. The relationship between the evaporation values calculated from the monthly average values of the hydrometeorological values ($\bar{E}_{mon}$, ordinate), with the evaporation values summed over the day and month (E_{mon}, abscissa), for st. Arkona (*a*) and st. Darss (*б*).

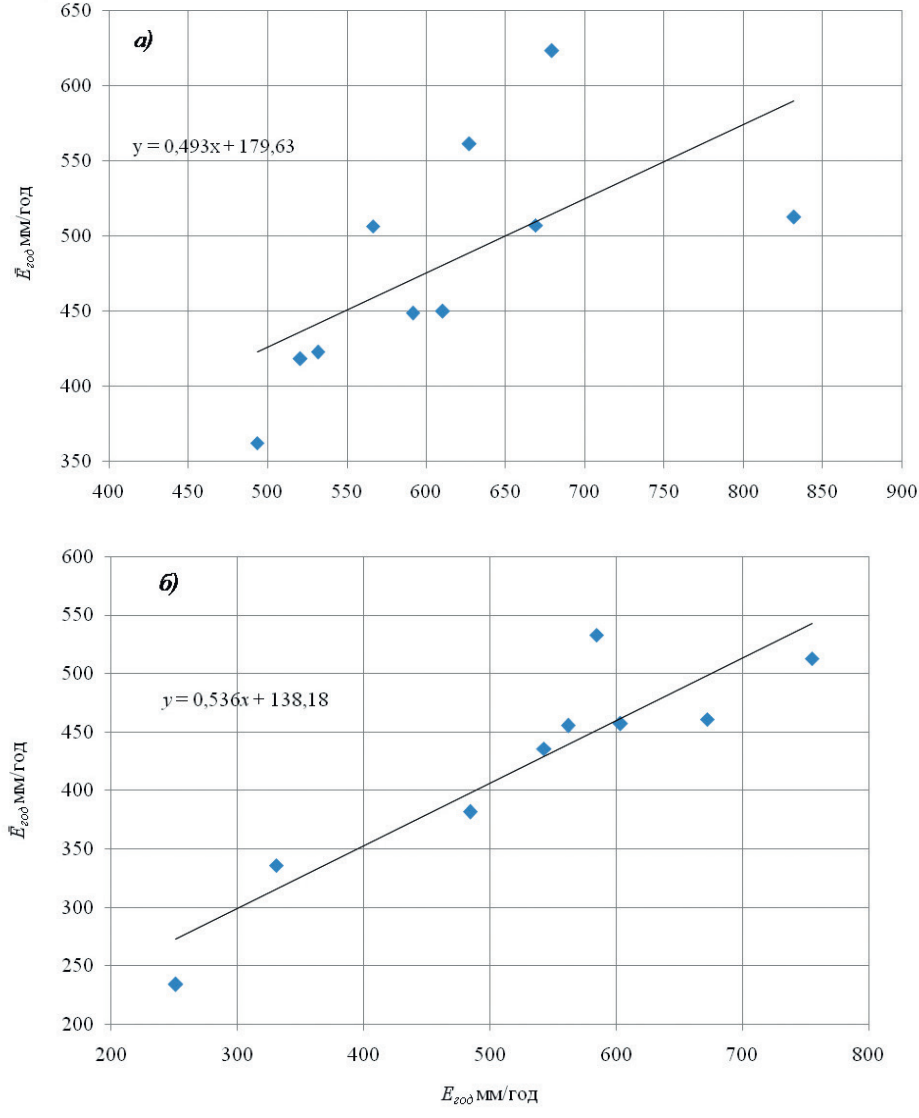

Рис. 3. Связь значений испарения, рассчитанных по среднегодовым значениям гидрометеорологических величин ($\bar{E}_{год}$, ось ординат), с «почасовыми» значениями, суммированными за сутки, месяц и год ($E_{год}$, ось абсцисс) для ст. Аркона (*а*) и ст. Дарсс (*б*).

Fig. 3. The relationship between the evaporation values calculated from the average annual values of hydrometeorological values ($\bar{E}_{year}$, ordinate), with the “hourly” values, summed over the day, month and year (E_{year}, abscissa) for st. Arkona (*a*) and st. Darss (*б*).

При годовом осреднении уравнения регрессии схожи с уравнениями (9) — (10) и имеют вид

$$\overline{E}^{A}_{год} = 0,340E^{A}_{год} + 261,59, \tag{13}$$

$$\overline{E}^{Д}_{год} = 0,536E^{Д}_{год} + 138,79. \tag{14}$$

Коэффициенты уравнений регрессии (11) — (14) и уравнений (7) — (10) различаются незначительно, чего и следовало ожидать с учетом тесной линейной связи значений потоков влаги, рассчитанных по ежечасным данным наблюдений и рассчитанных по среднесуточным значениям гидрометеорологических параметров. Таким образом, аргументы (x) в уравнениях регрессии (7) — (10) и в уравнениях (11) — (14) связаны линейно с коэффициентом корреляции, близким к единице, поэтому и уравнения регрессии различаются незначительно.

Занижение от среднесуточной к месячной дискретности, как и от среднесуточной к годовой дискретности, мало изменилось по сравнению с занижением от часовой дискретности и составило от 16 до 35 %. Таким образом, допустимо с точностью до 2—4 % использование средних суточных значений исходных данных, но при осреднении за месяц и год нужно вводить поправочный коэффициент ξ_E.

Третья серия расчетов произведена для случая, когда за аргумент (x) приняты значения испарения, рассчитанные по средним месячным значениям параметров и затем суммированные за год $E_{год}$, а за функцию y — значения, рассчитанные по среднегодовым данным $\bar{E}_{год}$. Уравнения регрессии при годовом осреднении для станций Аркона и Дарсс имеют вид

$$\overline{E}^{A}_{год} = 0,916E^{A}_{год} + 4,59, \tag{15}$$

$$\overline{E}^{Д}_{год} = 0,830E^{Д}_{год} + 44,21. \tag{16}$$

Средние значения при расчете по среднегодовым значениям параметров занижены на 10—12 %, средние квадратические отклонения отличаются на 15—20 %, коэффициенты корреляции в этом случае достаточно высокие (0,97 и 0,98). Но высокие значения коэффициента корреляции при годовом осреднении, так же как и в предыдущей серии расчетов, не показательны, так как ряды слишком короткие.

Обсуждение результатов

Наиболее простой способ оценки коэффициента для коррекции рассчитанных значений испарения $\xi_E^{(\tau)}$ — это сравнение средних по всему ряду значений испарения [$E_{сут}$], [$E_{мес}$], [$E_{год}$], полученных суммированием за соответствующий период значений, рассчитанных по срочным данным $E_{час}$ («корректный» подход по [1]), и средних значений, полученных по осредненным гидрометеорологическим параметрам [$\bar{E}_{сут}$], [$\bar{E}_{мес}$], [$\bar{E}_{год}$] (при «некорректном» подходе):

$$\xi_E^{(1)} = \frac{\left[E_{сут}\right]}{\left[\overline{E}_{сут}\right]}, \quad \xi_E^{(30)} = \frac{\left[E_{мес}\right]}{\left[\overline{E}_{мес}\right]}, \quad \xi_E^{(365)} = \frac{\left[E_{год}\right]}{\left[\overline{E}_{год}\right]}. \tag{17}$$

Результаты расчета коэффициента коррекции $\xi_E^{(\tau)}$ по формулам (17) при разных периодах осреднения в наших расчетах и по оценкам, приведенным в работах [1] и [15], представлены в табл. 3. В таблице для коэффициента $\xi_E^{(30)}$ через слэш приведены значения при осреднении час — месяц и сутки — месяц, а для коэффициента $\xi_E^{(365)}$ — значения при осреднении час — год, сутки — год, месяц — год.

Таблица 3

Коэффициенты коррекции $\xi_E^{(\tau)}$ (суточное осреднение $\xi_E^{(1)}$, месячное осреднение $\xi_E^{(30)}$, годовое осреднение $\xi_E^{(365)}$) и ошибка (%) для потока влаги (испарения) при разных периодах осреднения и по данным разных источников

Correction coefficients $\xi_E^{(\tau)}$ (daily averaging $\xi_E^{(1)}$, monthly averaging $\xi_E^{(30)}$, annual averaging $\xi_E^{(365)}$) and error (%) for the moisture flow (evaporation) for different averaging periods and according to different sources

	$\xi_E^{(1)}$	$\xi_E^{(30)}$	$\xi_E^{(365)}$
$\xi_E^{(\tau)}$ по (19)			
Аркона	1,00	1,19/1,18	1,27/1,34/1,08
Дарсс	1,00	1,14/1,14	1,26/1,25/1,08
Макс. $\xi_E^{(\tau)}$ из результатов расчетов по (19)	1,00	1,19	1,34
Значение $\xi_E^{(\tau)}$ по [1]	1,04	1,27	1,52
Максимальное занижение $\Delta E^{(\tau)}$ (%) в расчетах авторов	2	29	35
$\Delta E^{(\tau)}$ (%) по оценкам в [15]	—	27	54

Заключение

На основе результатов представленных расчетов и обзора более ранних исследований были сделаны следующие выводы. Сравнение значений испарения, рассчитанных по данным ежечасных наблюдений и затем суммированных за сутки, месяц, год, и рассчитанных по осредненным значениям гидрометеорологических параметров на станциях Южной Балтики показало, что осреднение параметров за сутки допустимо практически без потери точности (ошибка не более 2—4 %).

Осреднение значений гидрометеорологических параметров за месяц приводит к ошибкам (занижению) в рассчитанных значениях испарения, равным 20—30 %. При осреднении за период порядка года ошибка возрастает до 30—35 %. Эти значения близки к полученным ранее для открытых районов океанов и морей, но несколько меньше, чем полученные для акваторий с большой изменчивостью гидрометеорологических характеристик.

Отмечены незначительные различия в результатах расчетов испарения при одном принятом значении коэффициента ($C_E = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$) между климатическим средним за 1951—2000 гг. для района B11 (511,4 мм/год) и средними за 2002 —2016 гг. на станциях Аркона и Дарсс (520,4 и 449,2 мм/год соответственно). Ошибки за счет осреднения параметров при расчете испарения или потоков влаги велики, но разброс значений коэффициента обмена влагой C_E составляет $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ — $2{,}0 \cdot 10^{-3}$. Такой разброс может превосходить ошибки осреднения.

Представленные выводы и значения коэффициента коррекции справедливы для расчетов испарения (а также, видимо, и для расчетов потоков скрытого тепла) на акватории Балтийского моря и могут использоваться для других акваторий средних и высоких широт, где величины испарения не отличаются на порядки величин (тропики, экватор, зоны значительной изменчивости параметров среды).

Благодарности

Авторы благодарят Немецкий Центр Океанографических Данных (BSH/DOD(M42)) за предоставление данных мониторинговой сети MARNET за 2002—2016 гг. (соглашение 2518/2014-002 и 2518/2016-075).

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013).

Acknowledgments

The authors thank the German Oceanographic Data Center (BSH / DOD (M42)) for providing MARNET monitoring network data for 2002—2016 (agreement 2518 / 2014-002 and 2518 / 2016-075).

Список литературы

1. *Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е.* Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 336 с.
2. *Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E., Rachev A.G., Edson J.B.* Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm // J. Climate. 2003. V. 16. P. 571—591. doi:10.1175/1520-0442(2003)
3. *Гулев С.К., Украинский В.В.* Роль различных временных масштабов в процессах энергообмена океана и атмосферы // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25, № 7. С. 675—687.
4. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Изменчивость испарения и осадков над океаном по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2016. № 4. С. 23—34. doi: 10.7868/S0205961416040047
5. *Аверкиев А.С., Беликова Г.И., Белянцев М.А., Каган Б.А., Плинк Н.Л.* Взаимодействие океана и атмосферы (лабораторный практикум). Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 200 с.
6. *Малинин В.Н.* Общая океанология. Ч.1. Физические процессы. СПб: изд-во РГГМУ, 1998. 348 с.
7. *Ариель Н.З., Бортковский Р.С., Бютнер Э.К., Кучеров Н.В., Строкина Л.А.* О расчете среднемесячных значений потоков тепла и влаги над океаном // Метеорология и гидрология. 1973. № 5. С. 3—11.
8. Атлас теплового баланса земного шара / Под ред. М.И. Будыко. М., 1963. 69 л.
9. *Бортковский Р.С.* Расчет турбулентных потоков тепла, влаги и количества движения над морем по данным судовых измерений // Метеорология и гидрология. 1971. № 3. С. 93—98.
10. *Китайгородский С.А.* Физика взаимодействия атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 284 с.
11. *Радикевич В.М.* О расчете потоков тепла, влаги и количества движения // Океанология. 1970. Т. X, вып. 5. С. 878—882.
12. *Шулейкин В.В.* Связь между климатом Европы и переносом тепла в Атлантике // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1968. Т. IV, № 3. С. 243—261.
13. *Blanc T.V.* Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the of Different Transfer Coeffcient Schemes // J. Phys. Oceanogr. 1985. V. 15, No 6. P. 650—669.

14. *Ефимов В.В., Тимофеев Н.А., Сычев Е.Н., Куржеевский И.В.* Оценка коэффициентов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1985. Т. 21, № 7. С. 735—743.
15. *Gulev S.K.* Influence of Space-Time Averaging on the Ocean-Atmosphere Exchange Estimates in the North Atlantic Midlatitudes // J. Phys. Oceanogr. 1994. V. 24, No 6. P. 1236—1255.
16. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Eds.: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. 703 p.
17. *Дубравин В.Ф., Маслянкин Г.Е.* Атлас пресноводного баланса Балтийского моря. LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. 172 с.
18. *Omstedt A.* Baltic Sea marine system: In introduction. University of Gothenburg. Göteborg, 2009. 37 p.
19. *Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Стонт Ж. И.* Оценки потоков тепла на границе вода — воздух в юго-западной части Балтики (2003—2016 гг.) // Известия РГО. 2019. Т. 151, вып. 4. С. 15—26. doi: https://doi.org/10.31857/S0869-6071151415-26

References

1. *Lappo S. S., Gulev S.K., Rozhdestvenskij A.E. Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodejstvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana.* Large-scale heat interaction in the ocean-atmosphere system and energy-active regions of the World Ocean. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1990: 336 p. [in Russian].
2. *Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E., Rachev A.G., Edson J.B*. Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm. J. Climate. 2003, 16: 571—591. doi:10.1175/1520-0442(2003)
3. *Gulev S.K., Ukrainskiy V.V.* The role of different time scales in the processes of ocean and atmosphere energy exchange. *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana*. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean. 1989, 25(7): 675—687. [in Russian].
4. *Malinin V.N., Gordeyeva S. M.* Variability of evaporation and precipitation over the ocean based on satellite data. *Issledovaniya Zemly iz kosmosa*. Earth Observations and Remote Sensing. 2016, 4: 23—34 [in Russian]. doi: 10.7868/S0205961416040047
5. *Averkiev A.S., Belikova G.I., Belyancev M.A., Kagan B.A., Plink N.L. Vzaimodejstvie okeana i atmosfery` (laboratorny`j praktikum).* The ocean-atmosphere interaction (laboratory workshop). Leningrad: Hydrometeoizdat, 1989: 200 p. [in Russian].
6. *Malinin V.N. Obshchaya okeanologiya. CH.1. Fizicheskiye protsessy*. General Oceanology. Part 1. Physical processes. SPb: Publ. Russian State Hydrometeorological University, 1998:348 p. [in Russian].
7. *Ariel` N.Z, Bortkovskij R.S., Byutner E.K., Kucherov N.V., StrokinaL.A.* About the calculation of the monthly average values of heat and moisture flux over the ocean. *Meteorologiya i gidrologiya.* Meteorology and Hydrology. 1973, 5: 3—11. [in Russian].
8. *Atlas teplovogo balansa zemnogo shara / pod red. M.I. Budy`ko.* Atlas of the global heat balance / Ed. M.I. Budy`ko. Moskow: 1963: 69 p. [in Russian].
9. *Bortkovskij R.S.* Calculation of turbulent heat, moisture and momentum flows over the sea according to ship measurements. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and Hydrology. 1971, 3: 93—98. [in Russian].
10. *Kitajgorodskij S.A. Fizika vzaimodejstviya atmosfery i okeana.* The physics of the atmosphere-ocean interaction. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1970: 284 p. [in Russian].
11. *Radikevich V.M.* On the calculation of heat, moisture and momentum fluxes. *Okeanologiya,* Oceanology. 1970, X(5): 878—882. [in Russian].
12. *Shulejkin V.V.* The relationship between the climate of Europe and the transfer of heat in the Atlantic. *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana*. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean.1968, IV(3): 243—261. [in Russian].
13. *Blanc T.V*. Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the of Different Transfer Coefficient Schemes. J. Phys. Oceanogr. 1985, 15(6): 650—669.

14. *Efimov V.V., Timofeev N.A., Sy`chev E.N., Kurzheevskij I.V.* Estimate of the Ocean-Atmosphere exchange. *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana.* Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean. 1985, 21(7): 735—743. [in Russian].
15. *Gulev S.K.* Influence of Space-Time Averaging on the Ocean-Atmosphere Exchange Estimates in the North Atlantic Midlatitudes. J. Phys. Oceanogr. 1994, 24(6): 1236—1255.
16. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment /Editors: R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. 2008: 703 p.
17. *Dubravin V.F., Maslyankin G.E. Atlas presnovodnogo balansa Baltijskogo moray.* Atlas of the freshwater balance of the Baltic Sea. Saarbrücken, Germany: LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH&-Co KG, 2012: 172 p. [in Russian].
18. *Omstedt A.* Baltic Sea marine system: In introduction. University of Gothenburg. Göteborg. 2009: 37 p.
19. *Dubravin V.F.*, *Kapustina M.V.*, *Stont Zh.I.* Estimates of heat fluxes at the water-air border in the South-Western part of the Baltic sea (2003-2016). *Izvestiya RGO*. Proceedings of the Russian Geographical society. 2019, 151(4):15—26. [in Russian]. doi: https://doi.org/10.31857/S0869-6071151415-26

Статья поступила 21.11.2019
Принята после доработки в печать 27.02.2020

Сведения об авторах

Аверкиев Александр Сергеевич, д-р геогр. наук, доцент, профессор кафедры прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными зонами Российского гидрометеорологического университета, e-mail: asav@rshu.ru

Дубравин Владимир Филиппович, д-р геогр. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: v_dubravin@mail.ru

Information about authors

Averkiev Alexander Sergeevich, professor, Dr. of Sci., Russian State Hydrometeorological University

Dubravin Vladimir Philippovich, Dr. of Sci., leading researcher of the Laboratory of Shirshov Institute of Oceanology RAS

УДК [502.3:613.15+ 614.8.027.2]:504.61 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-83-93

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

В.И. Биненко[1], А.А.Ткаченко[2]

[1] Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, vibinenko@mail.ru

[2] Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург

Представлены результаты расчетов вероятности на основе использования пробит-функции для оценки воздействия сероводорода H_2S на людей на примере происшествия в г. Армянске (Крым) и г. Балашиха (Подмосковье) вблизи полигона отходов «Кучино», а также в случае воздействия диоксида серы SO_2 на жителей г. Сибай (Башкирия) при разной кратности превышения предельно допустимых значений концентрации токсикантов и продолжительности их воздействия.

Ключевые слова: пробит-функция, риск, вероятность, экотоксиканты, отходы.

IMPACT OF TECHNOGENIC AND ENVIRONMENTAL ACCIDENTS ON AIR POLLUTION AND HUMAN HEALTH

V. I. Binenko[1], A.A. Tkachenko[2]

[1] Saint-Petersburg Scientific-Research Centre for Ecological Safety RAS, St. Petersburg, Russia

[2] St. Petersburg State University of Technology and Design, St. Petersburg, Russia

The article presents calculations of probability of human exposure to atmospheric ecotoxicants based on the use of probit function for technogenic environmental accidents having already occurred in the small cities of Armyansk, Balashikha and Sibay. For example, the dependence of the probability of human exposure on the time of exposure to H2S toxicant near the Kuchino waste landfill (Balashikha, Moscow region) in the case of 5 to 625 times the maximum permissible H_2S concentrations (MPC) has been obtained. With 60% probability, a human as a bioindicator will feel the impact in 1000 s at 5 MPC, and in 1 s – at 625 MPC with the same probability. Similar calculations have been made for SO_2 and other toxicants. The SO_2 hazard level is lower than that of H_2S, so the time interval for exposure to ecotoxicants is longer. In the absence of appropriate devices for monitoring gases at potentially dangerous objects, the considered assessment method can be used for predictive tasks to assess the likelihood of exposure of human health to toxicants at different levels of air pollution and to make management decisions on the advance preparation of means to protect the population. The introduction of the best available technologies, like in the European countries, can increase the level of environmental safety in Russia

Keywords: probit function, risk, probability, ecotoxicants, wastes.

For citation: *Binenko V. I., Tkachenko A.A.* Impact of Technogenic and Environmental Accident on Air Pollution and Human Health. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 83—93. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-83-93

Введение

В приземном воздухе атмосферы присутствует целый ряд вредных веществ, таких как озон (O_3), сероводород (H_2S), формальгелид (HCOH), диоксид серы (SO_2), диоксид азота (NO_2), метан (CH_4), бенз(а)пирен, взвешенные частицы и др., которые имеют как антропогенное, так и природное происхождение. Если изменчивость концентрации SO_2 в тропосфере в какой-то мере может быть связана с вулканической активностью, а CH_4 — с эмиссией газа из болот и других источников, то в случае других вышеперечисленных вредных веществ она в основном обусловлена хозяйственной деятельностью человека: добычей природных ресурсов, сгоранием автомобильного топлива, работой ТЭЦ и промышленных предприятий, с образованием свального газа от многочисленных мусорных свалок [1—4].

Региональные особенности производственных объектов, использующих несовершенные технологии очистки воздуха, приводят к максимальному загрязнению таких городов РФ, как Норильск, Красноярск, Магнитогорск, Братск и др. В ежегодном государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды» [4] приводятся сведения о качестве воздуха во всех субъектах РФ. В частности, отмечается, что в Норильске выпадает 10 т/(км^2·год) серы при критической нагрузке серы сульфатной, равной 2 т/(км^2·год). При этом на долю ГМК «Норильский никель» приходится 1 % общего поступления диоксида серы в атмосферный воздух, или 25 % общероссийских промышленных газовых выбросов.

Работа в Красноярске предприятий алюминиевого производства и тепловых электростанций, работающих на угле, сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, которые составляют около 200 тыс. т, что при неблагоприятных метеорологических условиях приводит к образованию смога (режима «черного неба») в среднем 60 дней в год. Уже к концу июля 2019 г. в Сибири выгорело более 3 млн гектаров леса, и это тоже внесло вклад в загрязнение атмосферного воздуха над Красноярском частицами сажи и оксидом углерода. В Красноярском крае производят захоронение радиоактивных отходов, что тоже представляет дополнительную потенциальную экологическую угрозу.

В воздухе Магнитогорска концентрация бенз(а)пирена, диоксида азота, сероводорода и формальдегида в отдельных районах города превышает ПДК в 5—20 раз. Среднемесячная концентрация без(а)пирена в воздухе г. Братска постоянно превышает ПДК: так, в январе 2017 г. его концентрация достигала 50 ПДК [4]. Ежегодно в Московской области на 41 официальный полигон ТБО вывозится около 11,7 млн т бытовых отходов (7,9 млн т из Москвы). Только 29 марта 2019 г. на полигоне бытовых отходов «Ядрово» в Волоколамском районе выбросы сероводорода сопровождались 12-кратным превышением ПДК, в результате чего было госпитализировано около полусотни детей с жалобами на недомогание, тошноту и рвоту. Такого рода происшествия в Наро-Фоминске, Балашихе приводят к социальным протестам, антимусорным митингам. Планы складирования московского мусора на строящихся полигонах в Шиесе Архангельской области и в других регионах еще более обостряют социально-экологические проблемы РФ. Исследования, выполненные Институтом показателей и оценки здоровья, а также некоммерческой организацией *HealthEffectsInstitute*, показали, что в 2017 г. загрязненный

воздух стал причиной смерти почти 100 тыс. россиян, в Китае и Индии зафиксировано по 1,2 млн смертей, обусловленных этой причиной [5].

Даже эти фрагментарные факты свидетельствуют об ухудшении ситуации с экологической безопасностью в целом ряде промышленно развитых регионов России. Явно недостаточна сеть станций мониторинга окружающей среды. Если в Москве эксплуатируется 54 автоматические станции контроля загрязнения атмосферы, а в Санкт-Петербурге — 25 станций, то в остальных регионах, и особенно в моногородах с градообразующими предприятиями, их на порядок меньше или вообще нет, как, например, в Крыму.

Целью данной работы является оценка рисков, связанных с токсичным воздействием техногенно-экологических происшествий в малых городах, таких как Армянск, Сибай, Никель, Мончегорск, а также в городах вблизи свалок твердых бытовых отходов на основе использования пробит-функции и определения условной вероятности поражения людей при значимых превышениях предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ. Негативное воздействие загрязняющих веществ, в частности, в атмосфере носит вероятностный характер. Вероятность поражения $P_{пор}$ (эффект воздействия) измеряется в процентах и определяется по функции Гаусса с использованием пробит-функции: $P_{пор} = f[\mathrm{Pr}(S)]$, где Pr — пробит-функция, S — интенсивность воздействующего фактора [6—8].

Методы оценки загрязненности атмосферного воздуха

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха обычно используется суммарный санитарно-гигиенический критерий — индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), определяемый по формуле

$$ИЗА = {}^{n}\Sigma_{i=1} (C_i/ПДК_i)^{ki},$$

где k_i — коэффициент, принимающий значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для веществ класса опасности 1, 2, 3, 4 соответственно; n — число учитываемых компонентов; C_i — концентрация отдельных компонентов, загрязняющих атмосферный воздух; $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация выбранных компонентов.

При расчете ИЗА, обычно учитывают вещества, вносящие наибольший вклад в загрязнение. Чаще всего ИЗА рассчитывают по пяти — семи веществам, вносящим наибольший вклад в загрязнение. Значения ИЗА < 4 соответствуют чистой атмосфере, 0 — 4 — слабо загрязненной атмосфере, 5 — 6 — повышенному загрязнению атмосферного воздуха; 7 — 13 — высокому загрязнению атмосферы, более 14 — очень высокому загрязнению атмосферы.

Используются следующие варианты предельно допустимой концентрации:

- $ПДК_{МР}$ — максимальная разовая концентрация вещества, при которой оно не влияет на живые организмы в течение 20—30 минут;
- $ПДК_{СС}$ — среднесуточная концентрация вещества, при которой оно не оказывает отрицательного воздействия на живые организмы за период, равный средней продолжительности жизни людей.

Наземный мониторинг атмосферного воздуха городов проводится на основе газоаналитических методов с погрешностью до 1 $млрд^{-1}$ (ppb). Космический

мониторинг вредных веществ в тропосфере над мегаполисами, крупными промышленными конгломерациями (например, г. Норильском) реализован на основе методов оптической абсорбционной спектроскопии с помощью приборов атмосферный инфракрасного радиометра (AIRS) или инфракрасного интерферометра атмосферного зондирования (IASI) с точностью до 1 млн$^{-1}$ (ppm) [9, 10].

В 44 городах Российской Федерации (21 % городов, охваченных регулярными наблюдениями за загрязнением атмосферного воздуха), где проживает 13,5 млн человек (12 % всего городского населения РФ), индекс загрязнения атмосферного воздуха очень высокий (ИЗА > 14) [4]. В российской Арктике уровень загрязнения в таких моногородах, как Никель, Мончегорск, Апатиты, несколько ниже, чем в Норильске или Воркуте, но при менее оснащенной газоанализаторами сети мониторинга качества воздуха.

В марте 2019 г. было зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации SO_2 в Мончегорске в 4,5 раза и десятикратное в г. Никеле Мурманской области, где расположен второй комбинат Кольской ГМК — «Печенга никель», выбросы которого достигают норвежского города Киркенес, расположенного на расстоянии 36 км от Никеля [4]. При этом максимальная разовая концентрация взвешенных частиц составила в Апатитах 2,6 ПДК$_{МР}$, в Воркуте 6 ПДК$_{МР}$, в Норильске 4,6 ПДК$_{МР}$. Наблюдается рост концентрации формальдегида и диоксида серы в г. Мончегорске и поселке городского типа Никель до 2,5 ПДК$_{МР}$ и 10,2 ПДК$_{МР}$ соответственно, что связано с выбросами АО «Кольская ГМК». Среднегодовая концентрация диоксида серы в Никеле и Мончегорске составила 0,037 и 0,008 мг/м^3 соответственно при ПДК$_{СС}$ = 0,05 мг/м^3, диоксида углерода 0,03 мг/м^3 при ПДК$_{СС}$ = 1,95 мг/м^3. Среднегодовая концентрация формальдегида в Мончегорске составила 0,011 мг/м^3 при ПДК$_{СС}$ = 0,1 мг/м^3, т. е. равнялась 1,1 ПДК$_{СС}$ и была выше средней по РФ [4].

Определение ИЗА возможно при наличии базы данных мониторинга загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере и поэтому затруднительно для потенциально опасных объектов в малых городах и поселках. Количественные прогностические оценки для возможных загрязнений можно рассчитать для задаваемых значений концентрации ЗВ, что важно для принятия заблаговременных управленческих решений по снижению риска их воздействия на людей. Такой подход будет рассмотрен ниже на конкретных примерах уже произошедших экологических бедствий.

Для оценки последствий воздействия поражающих факторов, например количества попавшего в организм человека токсикантов, часто применяются стохастические модели с использованием пробит-функции Pr, обратной функции распределения $P_{пор}$ случайных величин U, связанной со стандартным нормальным распределением, для которого математическое ожидание $\mu = 0$, а стандартное отклонение $\sigma^2 = 1$:

$$P_{пор} = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{Pr} \exp(-0{,}5U^2)\, dU.$$

Такой подход наиболее применим при выполнении процессов с двумя переменными типа «воздействие — доза — эффект». При этом Pr является верхним пределом интегрирования приведенного выше уравнения, отражающего связь между вероятностью поражения $P_{пор}$ и воздействием — дозой U [6—8].

В практике вероятностных оценок воздействия поражающих факторов на людей используется пробит-функция, безразмерная величина которой в общем виде представлена зависимостью

$$\mathrm{Pr} = a + b\ln S,$$

где a и b константы пробит-функции (коэффициенты, зависящие от вида воздействия, его свойств и реципиента); S — воздействующий фактор, определяемый при токсическом воздействии газов в виде

$$S = C^n t,$$

где t — эффективное время экспозиции (с); C — концентрация токсиканта (мг/л, ppm); n — показатель степени опасности токсиканта (табл. 1).

Таблица 1

Параметры пробит-функции, класс опасности, $ПДК_{СС}$ и значения полулетального поражения LC50 людей при воздействии некоторых химических веществ в воздухе

Parameters of the probit function, the hazard class maximum permissible concentrations and the values of LC50-lethal destruction of people when exposed to certain chemicals

Вещество	*a*	*b*	*n*	Класс опасности	ПДКсс мг/м^3	LC50, мг/м^3
Формальдегид	–12,24	1,30	2,00	2	0,003	500—5000
Сероводород	–31,42	3,008	1,43	2	0,008	500—1000
Диоксид азота	–13,8	1,4	2,00	2	0,04	50—5000
Диоксид серы	–15,67	2,10	1,00	3	0,05	5001—50 000
Оксид углерода	–37,98	3,7	1,00	4	3	Более 50 000
Взвешенные частицы (сажа) $PM_{2.5}$				4	0,025	Более 50 000

Для определения условной вероятности воздействия реципиентов в зависимости от величины пробит-функции Pr (см. табл. 1) используется табл. 2.

Таблица 2

Связь вероятности воздействия $P_{пор}$ с пробит-функцией Pr

The relation between the probability of impact P with a probit function Pr

$P_{пор}$, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	**5,10**	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для разных вредных веществ в атмосферном воздухе пробит-функция имеет разные константы, которые определялись по результатам специальных медико-биологических исследований применительно к среднестатистическому составу населения. Параметры пробит функции, класс опасности, $ПДК_{СС}$ и значения полулетального поражения LC_{50} людей при воздействии некоторых химических веществ [1, 3, 6—8] приведены в табл. 1. Таблица 2 позволяет определить значение вероятности $P_{пор}$. Так, если значение Pr составит 5,10, то десятичный знак значения $P_{пор}$ находим в крайнем левом столбце табл. 2 напротив 5,10, а значение единиц $P_{пор}$ — в верхней строке. Таким образом, $P_{пор}$ составит 55 %.

Вероятность токсического воздействия на людей загрязнения воздуха сероводородом вследствие происшествий в городах Армянске и Балашихе вблизи полигона отходов ТБО «Кучино»

В течение двух недель начиная с 25 августа 2018 г. вблизи г. Армянска в Крыму происходил вынос сернистого ангидрида из пересохшего (вследствие отсутствия воды в крымском канале из Днепра и исчерпания подземных вод) кислотонакопителя, куда сбрасываются химические отходы завода ООО «Крымский Титан», производящего диоксид титана, минеральные удобрения и серную кислоту. Это привело к экологической катастрофе.

В районе кислотонакопителя площадью 42 км^2 концентрация H_2S составляла от 30 до 10 ПДК. В г. Армянске, который находится на расстоянии 10 км от завода ООО «Крымский Титан» уровень загрязненности H_2S в отдельные дни достигал 5—15 ПДК.

Вероятность поражения людей H_2S определялась с использованием пробит-функции для токсического поражения. Константы для H_2S имеют следующие значения: a = — 31,42; b = 3,008; n = 1,43; ПДК = 8 мг/л. Концентрация сероводорода в воздухе г. Армянска превысила ПДК в пять раз, а в некоторых районах, наиболее близких к заводу ООО «Крымский Титан», были зафиксированы концентрации, превышающие ПДК в 10 раз и больше.

В соответствии с формулой для пробит-функции получаем:

$$C_{мг/л} = 5\ ПДК = 40\ мг/л,$$

$$Pr = a + b \ln (C^n t) = -31{,}42 + 3{,}008 \ln (40^{1{,}43} \cdot 300) = 1{,}6,$$

а вероятность воздействия $P_{пор}$ в зависимости от времени представлена на рис. 1 *а* и в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость условной вероятности воздействия на людей $P_{пор}$ от времени поражения токсикантом H_2S

The dependence of the conditional probability of exposure duration of exposure toxicants H_2S

t с	300	600	900	1200	1500	1800
Pr	1,60	3,69	4,91	5,77	6,45	6,99
$P_{пор}$ %	0	10	46	78	93	98

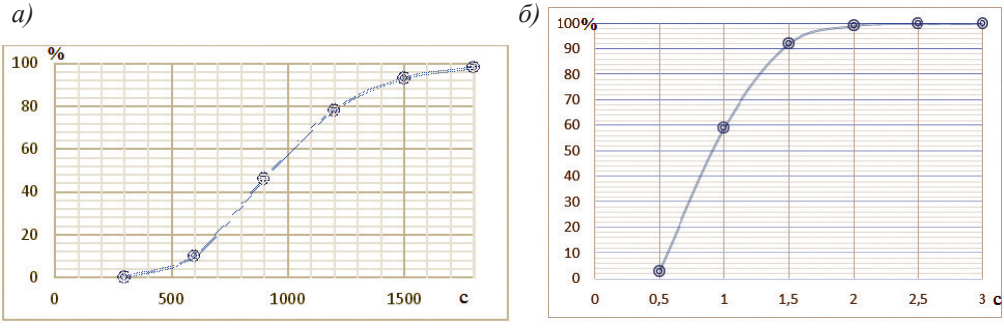

Рис. 1. Зависимость условной вероятности $P_{пор}$ (%) воздействия на людей от времени поражения токсикантом H_2S.

а) в Армянске при 5 ПДК, *б*) вблизи полигона «Кучино» (г. Балашиха) при 625 ПДК.

Fig.1. The dependence of the conditional probability of exposure to humans from the time of defeat toxicant H_2S.

а) in Armyansk at 5 permissible concentration,
б) near the landfill “Kuchino” Balashikha in the suburbs 625 permissible concentration.

Зависимость условной вероятности воздействия на людей от времени поражения токсикантом H_2S от полигона «Кучино» вблизи г. Балашиха в Подмосковье приведена на рис. 1 *б*. В июне 2017 г. загрязнение атмосферного воздуха сероводородом от полигона ТБО «Кучино» достигало 625 ПДК.

Из рис. 1 следует, что чем выше продолжительность пребывания в зоне воздействия токсиканта H_2S, тем выше риск поражения. Чем выше кратность превышения ПДК H_2S, тем это воздействие на людей ощущается за более короткий период и на больших расстояниях от источника H_2S.

Полигон ТБО «Кучино», расположенный на расстоянии 1 км от г. Балашиха в Подмосковье, был закрыт 23 июня 2017 г. из-за запредельного загрязнения H_2S (625 ПДК). Вдыхание воздуха, загрязненного H_2S, воздействует на нервную систему, вызывает сильные головные боли, сыпь на руках, жжение в глазах, судороги (при концентрации от 6 мг/м^3), а при концентрации более 1 000 мг/м^3 может привести к коме. На рис. 2 *б* приведена зависимость условной вероятности воздействия на людей от времени поражения токсикантом H_2S вблизи полигона «Кучино» (г. Балашиха, Подмосковье) при его концентрации, равной 625 ПДК. При концентрации H_2S, равной 5 ПДК, с вероятностью 60 % человек как биоиндикатор почувствует воздействие через 1000 с, а при 625 ПДК с той же вероятностью — через 1 с.

Экологическое бедствие в г. Сибай (Башкирия), связанное с загрязнением атмосферного воздуха диоксидом серы

С 12 декабря 2018 г. и до конца марта 2019 г. над г. Сибай наблюдался смог, вызванный окислительными процессами эндогенного характера и тлением рудной породы в двух очагах на южном и северном бортах заброшенного медно-цинкового карьера (рис. 2) на глубине 400—450 м. Глубина карьера составляет около 500 м,

а) *б)*

Рис. 2. Медно-цинковый карьер вблизи г. Сибай.

а) вид из космоса (Google Earth); *б)* испарение диоксида серы от карьера, январь 2019 г.

Fig. 2. A picture of a copper-zinc quarry near Sibai.

а) from space (Google Earth), *б)* in January 2019, when sulfur dioxide soars from it.

диаметр — около 2 км. Город расположен на расстоянии 500 м от карьера, поэтому на ближайших к карьеру улицах в отдельные дни были зарегистрированы значения концентрации диоксида серы, в 23 раза превышающие ПДК. На загрязнении воздуха также сказывалась работа местных предприятий — завода буровых реагентов и Учалинского горно-обогатительного комбината (УГМК). При этом в регионе установилась погода с нисходящими потоками воздуха и со слабым ветром, что привело к продолжительному ухудшению экологической обстановки в г. Сибай [11].

Вероятность воздействия на людей диоксида серы также определялась с использованием пробит-функции для токсического поражения.

Значение констант для SO_2: $a = -15{,}67$; $b = 2{,}1$; $n = 1$; ПДК SO_2= 8 мг/л;

ПДК SO_2 = 50 мг/л; 5 ПДК SO_2 = 250 мг/л;

$$\Pr = a + b \ln (C^n t) = -15{,}67 + 2{,}1 \ln (250^1 \cdot 600).$$

В табл. 4 приведены выбранные значения концентраци SO_2 и кратность превышения ПДК SO_2 для расчета вероятности, а на рис. 3 — зависимость условной

Таблица 4

Значения концентраци SO_2 и кратности превышения ПДК SO_2 для расчета условной вероятности поражения

Selected values of SO_2 concentration and multiplicity of permissible concentrations excess SO_2

Концентрация, мг/л	Кратность превышения ПДК
300	6
400	8
500	10
600	12
1150	23

вероятности воздействия SO_2 от времени экспозиции.

Расчет условной вероятности $P_{пор}$ воздействия SO_2 на людей в случае техногенно-экологического происшествия в г. Сибай показал, что при концентрации SO_2, равной 23 ПДК, вероятность воздействия на людей через 50 с составила 80 %.

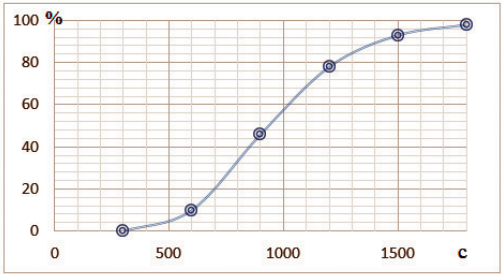

Рис. 3. Зависимость условной вероятности $P_{пор}$ воздействия на людей токсиканта SO_2 от времени его экспозиции.

Fig. 3. The dependence of the conditional probability $P_{пор}$ is high impact on people from the time of toxicant exposure to SO_2.

Вышеприведенные примеры и результаты расчетов воздействия атмосферных токсикантов на людей при различной их концентрации далеки от полулетальных значений поражения, приведенных в табл. 1. Тем не менее они обостряют экологическую ситуацию в малых городах типа г. Сибай, вызывают рост заболеваемости пневмонией среди детей до 17 лет. Число случаев таких заболеваний, как кашель, аллергии, отеки легких у взрослых людей, в 2019 г. возросло в несколько раз по сравнению 2014—2018 гг. [11].

Аналогичные расчеты были проведены также в случае бензолового испарения над полигоном «Красный бор» в Ленинградской области, парения аммиака и сероводорода в районе ЗАО «Птицефабрика Оренбургская».

Подобные расчеты позволяют определить на основе применения пробит-функции возможную вероятность воздействия токсикантов на здоровье людей при разных уровнях загрязнения атмосферного воздуха от потенциально опасных объектов, таких как полигоны ТКО, мусоросжигательные заводы или другие производства. На основе этих оценок можно принимать меры по предотвращению экологических бедствий, а в случае техногенно-экологических происшествий, основываясь на уже заранее подготовленных технологических решениях, предпринять меры по ликвидации их последствий и защите населения от загрязняющих веществ при значимых превышениях ПДК экотоксикантов [12, 13].

Заключение

Для малых моногородов с загрязненным атмосферным воздухом необходимо совершенствовать независимую от соответствующих монополистов систему мониторинга с использованием многоканальных газоанализаторов наиболее опасных экотоксикантов. В частности, к таким приборам относятся газоанализаторы Picarro, в основе работы которых лежит метод *WS-CRDS (Wave length Scanned Ring Down Spectroscopy)* — спектроскопия поглощения света в многопоточных неаксиальных кюветах при сканировании на резонансных длинах волн в ИК области спектра.

Были выполнены расчеты зависимости условной вероятности воздействия на людей от времени поражения сероводородом H_2S в г. Армянске (Крым), вблизи

полигона «Кучино» (г. Балашиха, Подмосковье) и при разных значениях превышения ПДК SO_2 в случае экологического бедствия в г. Сибай (Башкирия).

Было показано, что чем выше продолжительность пребывания людей в зоне воздействия токсиканта H_2S и чем выше кратность превышения ПДК его концентрацией, тем выше риск поражения. При концентрации H_2S, равной 5 ПДК, с вероятностью 60 % человек как биоиндикатор почувствует воздействие через 1000 с, а при 625 ПДК с той же вероятностью — через 1 с. Сернистый ангидрид в высоких концентрациях способен вызвать удушье, ожог слизистой, поражение печени, заболевания крови.

Расчетная зависимость условной вероятности $P_{пор}$ поражения людей от времени воздействия токсикантом SO_2 от медно-цинкового карьера в случае техногенно-экологического происшествия в г. Сибай показало, что при концентрации SO_2, равной 23 ПДК, вероятность воздействия на людей составила 80 % уже через 50 с.

Захоронение отходов ТКО в РФ без должной переработки приводит к выбросам биогазов и их негативному влиянию на людей и окружающую среду. Следует брать пример с таких стран, как Финляндия, Швеция, Австрия, и других стран Европы, где реализована почти 100 %-ная переработка мусора на основе раздельного сбора и использования современных технологий на мусороперерабатывающих заводах [13].

Список литературы

1. Р 1.2.3156-13. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. М.:Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 639 с.
2. *Биненко В.И., Северюхина А.С.* Изменчивость концентрации метана в атмосфере над Санкт-Петербургом и близлежащими регионами // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 50. С. 137—151.
3. *Биненко В.И., Храмов Г.Н., Яковлев В.В.* Чрезвычайные ситуации в современном мире и проблемы безопасности жизнедеятельности. СПб, 2004. 400 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
5. *Idir Bouarar, Xuemei Wang, Guy P.* Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective Brasseur-Editors ISSI // Scientific Report Series. V. 16. Springer International Publishing AG, 2017. 498 p. doi 10.1007/978-3-319-59489-7
6. *Чура Н.Н.* Техногенный риск. Учебное пособие / Под ред. В.А. Девисилова. М: Кнорус, 2015. 280 с.
7. *Швыряев А.А., Меньшиков В.В.* Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 2004. 124 с.
8. *Кузьмина М.С.* Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. Вып. 9. С. 1—12.
9. *Bauduin S.* et al. Retrieval of near-surface sulfur dioxide (SO_2) concentrations at a global scale using IASI satellite observations // Atmos. Meas. Tech. 2016. V. 9. P. 721—740. https://doi.org/10.5194/amt-9-721-2016
10. *Fioletov V.* et al. Multi-source SO_2 emissions retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. P. 12 597—12 616. doi: 10.5194/acp-17-12597-2017.
11. *Медведев Н.* Экологическая ситуация в Сибаи. Дата обращения: https://readovka.news/news/43374. 25.03.19
12. *Венцюлис Л.В., Чусов А.Н.* Твердые коммунальные отходы — одна из основных экологических проблем в России. СПб: изд-во СПбПУ, 2017. 208 с.
13. Наилучшие доступные технологии и комплексные экологические разрешения: перспективы применения в России / Под ред. М.В. Бегака. М.: ООО «ЮрИнфоР-Пресс», 2010. 220 с.

References

1. *R 1.2.3156-13 otsenka toksichnosti i opasnosti ximicheskix veshchyыem i cmeceyi dly zdoroviy ludey.* R 1.2.3156-13 evaluation of the toxicity and hazards of chemicals and mixtures to human health. Moscow, 2014: 649 p. [In Russian].
2. *Binenko V.I., Khramov G.N., Yakovlev V.V.Chrezvychnyi situatszii v sovremennom mire i problem zhiznedeyatelnosti.* Emergency situations in the modern world and problems of life safety. SPb. SPb Polytechnic University publishing house, 2004:400 p. [In Russian].
3. *Binenko V.I. Severyukhina A.S.* Variability of methane concentration in the atmosphere over St. Petersburg and nearby regions. *Uchenye zapiski RSHU*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2018, 50:137—151. [In Russian].
4. *Gosudarstvenny doklad* «*O sostoyanii i oxrane okruzhayushche*y *sred v Russkoy Federatsii v 2017*». State report «On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017» Moscow: Ministry of natural resources of Russia. NCE «Kadastr», 2018:888 p. [In Russian].
5. *Idir Bouarar, Xuemei Wang, Guy P.* Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective Brasseur-Editors ISSI. Scientific Report Series. V. 16. Springer International Publishing. AG. 2017:498. doi 10.1007/978-3-319-59489-7
6. *Chura N. N. Tehnogennyi risk*: Technogenic risk: textbook. Under the editorship of V.A. Devisilov. M: KnoRus, 2015: 280 p. [In Russian].
7. *Shvyryaev A.A., Menshikov V.V. Otsenka riska zagryzneniy atmosferyi v issleduevov regione.* Assessment of the risk of atmospheric pollution in the study region: textbook for universities. Moscow: MSU publishing House, 2004: 124 p. [In Russian].
8. *Kuzmina M.S.* Methods of forecasting the probability of damage to human and material resources. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsiy.* Engineering journal: science and innovation. 2014, 9:1—12. [In Russian].
9. *Bauduin S.* et al. Retrieval of near-surface sulfur dioxide (SO2) concentrations at a global scale using IASI satellite observations. *Sophie Bauduin and Lieven Clarisse, Juliette Hadji-Lazaro, Nicolas Theys, Cathy Clerbaux, and Pierre-François Coheur*. Atmos. Meas. Tech., 2016. 9: 721-740. doi.org/10.5194/amt-9-721-2016, 2016
10. *Fioletov V. et al.,* Multi-source emissions of SO_2 retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions. *V. Fioletov and McLinden, C.A., Kharol, S.K., Krotkov, N.A., Li, C., Joiner, J., Moran, M.D., Vet, R., and Visschedijk, A.J.H. and Denier van der Gon, H.A.C.* Atmos. Chem. Phys. 2017. 17: 12597-12616. doi: 10.5194/acp-17-12597-2017.
11. *Medvedev N.* Environmental situation in Sibay / Date of access: https://readovka.news/news/43374 25.03.19
12. *Vinchulis L.V. Tverdye othody glavnay problem okruzhaushchei sredy v Rossii*. Solid waste-one of the main environmental problems in Russia. Ed. L.V. Vinchulis, A.N.Chusov. SPb. Polytechnic University publishing house SPBPU, 2017:208 p. [In Russian].
13. *Nailuchshii dostupnye tehnologii i kompleksnye ekologicheskie resheniy: perspecktivy primeneniy v Russii*. The best available technologies and integrated environmental permits: prospects of application in Russia. Ed. *M.V. Begak*. Moscow: «YurInfo for-Press», 2010: 220 p. [In Russian].

Статья поступила 11.09.2019
Принята после доработки в печать 12.03.2020

Информация об авторах

Биненко Виктор Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник СПб НИЦЭБ РАН, e-mail: vibinenko@mail.ru

Ткаченко Алина Александровна, бакалавр СПбГУПТД, e-mail: akalikinaka@mail.ru

Information about authors

Victor I. Binenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Leading Researcher, SRCES RAN

Alina A. Tkachenko, bakalavr SpbSUPTD, e-mail: akalikinaka@mail.ru

УДК 551.510.42(470.26) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-94-110

АНТРОПОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Двоеглазова[1,2], Б.В. Чубаренко[2], Я.А. Козлова[3]

[1] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия; Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия, nadya2eyes@mail.ru

[2] Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия, chuboris@mail.ru.

[3.] Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области, Калининград, Россия, ya.kozlova@gov39.ru

По данным об объеме сожженного котельно-печного топлива за 2013—2016 гг. по методикам МГЭИК был рассчитан объем эмиссии углекислого газа, метана и диоксида азота от стационарных источников и автотранспорта для Калининградской области. Основной вклад вносит сжигание топливно-энергетических ресурсов. По оценкам для 2016 г. эмиссия от автотранспорта (2032,87 Гг CO_2 экв.) в 1,86 раз меньше, чем от сжигания ископаемого топлива за этот же год (3914,79 Гг CO_2 экв.), и составляет 34,5 % общей эмиссии. На углекислый газ приходится основная доля выбросов парниковых газов на территории Калининградской области, около 12 % которых поглощают леса области.

Ключевые слова: эмиссия, парниковые газы, углекислый газ, метан, закись азота, Калининградская область

ANTHROPOGENIC COMPONENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM THE TERRITORY OF THE KALININGRAD REGION

N.V. Dvoeglazova[1], B.V. Chubarenko[2], Y.A. Kozlova [3]

[1] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad, Russia

[2] Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad, Russia

[3.] Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region, Kaliningrad, Russia

The increase in greenhouse gases in the atmosphere is influenced to a greater extent by a degree of development of industry, a growth of electrification, deforestation, and the burning of fuel for the production of heating and electricity. The contribution of emissions of each of these factors and the ratio of greenhouse gases in them should be taken into account when developing the measures to prevent climate change. According to calculations of emissions from the territory of the Kaliningrad region the burning of fuel and energy resources are supposed to be playing the main role in the greenhouse gas emission from the territory of the Kaliningrad region. In statistical reference books this activity is described as the “activities for the production and distribution of electricity, gas and water.” The usage of this fuel in the energy sector is increasing: from 1742.4 thousand tons of standard fuel in 1991 up to 2193.9 in 2016. Such little increase in total emissions is due to the general technology improvement in the country.

Carbon dioxide makes up the bulk of greenhouse gas emissions from the territory of the Kaliningrad region. The percentage of the gases in the total volume is as follows: CO_2 - 96.7%, CH_4 - 1%, N_2O - 2.3%.

Its emissions for the period from 2013 to 2016 varied from 3,757.4 in 2014 to 4,091.7 in 2015 thousand tons of standard fuel, reaching its maximum value in 2015.

The estimate presented in this paper is a lower estimate, since it does not take into account emissions from industrial processes, leaks, land use, waste, etc., as well as from some categories of emission sources due to the lack of data on the use of fuel in the Kaliningrad region.

Among other things, the calculations of emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from the use of fuel by vehicles in 2016, which have shown to be 1.86 times less than from burning of fossil fuels for the same year (2032.87 Gg CO2 eq. and 3914.79 Gg CO2 eq., respectively) and to account for 34.5% of the total emissions, have been made.

Moreover, according to the methodology for calculating emissions the factor of carbon dioxide absorption by the region's forests has been taken into account. The amount of carbon dioxide absorbed by forests has shown to be only 11.9% of the emissions of this gas during the combustion of boiler and furnace fuel.

Keywords: emissions, greenhouse gases, global warming, carbon dioxide, methane, nitrogen dioxide air emissions, Kaliningrad region

For citation: *Dvoeglazova N.V., Chubarenko B.V., Kozlova Y.A.* Anthropogenic Component of Greenhouse Gas Emissions from the Territory of the Kaliningrad Oblast. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 94—110. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-94-110

Введение

Калининградская область расположена у юго-восточного побережья Балтийского моря: на севере и востоке граничит с Литвой, на юге — с Польшей, с запада омывается Балтийским морем. Общая площадь территории со всеми внутренними акваториями и заливами составляет 1512,5 тыс. га; площадь поверхности суши — 1281,2 тыс. га (84,7 %). Лесами и древесно-кустарниковой растительностью — ресурсом, поглощающим парниковые газы, — занято 315,8 тыс. га (24,5 % площади суши), в то время как на города и производственные территории приходится 1028,9 тыс. га [1].

Эмиссия парниковых газов с любой территории возникает в связи с хозяйственной деятельностью человека и природными процессами (вулканизм, пожары). Ее составляющая, обусловленная антропогенным влиянием (энергетика, промышленное производство, сельское хозяйство, переработка отходов), в настоящий момент считается главной причиной современных изменений климата [2—6].

Согласно [7] и данным Международного энергетического агентства (http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487) на 2017 г., Россия входит в пятерку стран с наибольшей эмиссией парниковых газов, занимая четвертую позицию. В отличие от большинства стран Россия и США в последние годы снизили объем эмиссии, причем Россия — более чем на 25 % по отношению к уровню 1990 г. Это результат выполнения целевого показателя [8] по снижению к 2020 г. объема выбросов парниковых газов до уровня не более 75 % объема выбросов в 1990 г.

На увеличение парниковых газов в атмосфере в большей мере влияют такие факторы, как степень развития промышленности, рост электрификации, вырубка лесов, сжигание топлива на производство отопления и электроэнергии. При разработке мер по предотвращению климатических изменений (например, [9]) необходимо учитывать вклад эмиссии каждого из этих факторов и соотношение

Рис. 1. Калининградская область (Россия).

Fig. 1. Kaliningrad Oblast (Russia).

в них парниковых газов. Хотя расчеты величины эмиссии парниковых газов могут быть сделаны разными методами [10], оценки на основе единых рекомендаций Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [11] эмиссии с отдельных территорий (например, [12—16]) являются действенным инструментом, который используется в разных странах для обоснования мероприятий по уменьшению антропогенной эмиссии [17, 18].

Цель настоящей работы — оценить (по данным официальной статистики за 2013—2016 гг. и на основе рекомендаций МГЭИК) объем эмиссии с территории Калининградской области трех основных парниковых газов (углекислый газ, метан и закись азота), вызванной составляющими хозяйственной деятельности, связанными со сферой энергетики, сравнить их вклад в общую эмиссию, установить наличие временного тренда, а также дать оценку поглощению этих газов за счет лесных ресурсов на территории области. Аналогичные оценки ранее не проводились.

Методика исследования

Использованные данные

Для расчета эмиссии парниковых газов с территории Калининградской области использовались статистические данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики (подразделение управления статистики предприятий) [19—22] по показателям израсходованных топливно-энергетических

ресурсов (котельно-печного топлива) в области за период с 2013 по 2016 г. Для расчетов выбросов от транспорта исходными данными послужило не количество израсходованного топлива, а число единиц автотранспортных средств [16].

Методика расчета эмиссии парниковых газов

В экономической статистике каждый сектор экономики включает в себя отдельные категории и подкатегории. Каждая из них фактически описывает источники поступления в атмосферу парниковых газов. Оценка выбросов парниковых газов для каждой из категорий проводилась по единому алгоритму [23, 24] с использованием индивидуальных коэффициентов [11]. В настоящей работе были использованы рекомендуемые [23] значения коэффициентов выбросов диоксида углерода (т CO_2/ТДж), метана (кг CH_4/ТДж) и закиси азота (кг N_2O/ТДж) при стационаром сжигании топлива, а именно коэффициенты пересчета единиц измерения каждого вида топлива в условные единицы, разработанные МГЭИК (Межправительственная группа экспертов по изменению климата) [11], и коэффициенты выбросов (табл. 1).

Таблица 1

Использованные коэффициенты выбросов парниковых газов [18, 22]

Emission factors used in the paper [18, 22]

Виды топлива	Коэффициент выбросов		
	т CO_2/ТДж	кг CH_4/ТДж	кг N_2O/ТДж
Уголь	94,6	300	1,5
Дизельное топливо	73,3	10	0,6
Пропан и бутан сжиженные; газы углеводородные и их смеси сжиженные; прочие, не вошедшие в другие группы	64,2	10	0,6
Газ природный и попутный	54,4	5	0,1
Кокс металлургический	107	10	1,5
Мазут топочный	77,4	3	0,6
Топливо печное бытовое	112	30	4
Древесина топливная	112	30	4
Керосин, включая топливо реактивное керосиновое	71,9	10	0,6
Бензин автомобильный	69,3	10	0,6

Расчеты были выполнены для 2013, 2014, 2015 и 2016 гг. В них использовалась методика [23] первого уровня (пример приведен в приложении к настоящей статье), основанная на статистических данных о сжигании топливно-энергетических ресурсов и рекомендуемых МГЭИК средних значениях коэффициентов выброса. Методики второго и третьего уровней [11], использующие региональные/национальные коэффициенты выбросов и измеренные (рассчитанные) данные для конкретных предприятий, не применялись.

Оценки проводились для следующих категорий источников, использующих отельно-печное топливо (табл. 2): сельское хозяйство, лесное хозяйство (AA); рыболовство и рыбоводство (BB); добыча полезных ископаемых (CC); обрабатывающие производства (DD); производство и распределение электроэнергии, газа и воды (EE); строительство (FF); оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования (GG); гостиничный и ресторанный сервис (HH); транспорт и связь (II); энергообеспечение учреждений образования (MM), здравоохранения и социальных услуг (NN) и предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг (OO).

Объем разных видов израсходованного топлива пересчитывался в тонны условного топлива (т.у.т.) путем умножения на соответствующий коэффициент МГЭИК [11], а далее для перевода тысяч тонн условного топлива в ТДж использовался коэффициент перевода, равный 29,3076 ТДж/т.

Кроме того, перевод физических единиц в энергетические (согласно [23]) выполнялся по формуле

$$ADi\ (\text{ТДж}) = ADi\ (\text{ед.}) \cdot Ci\ (\text{ТДж/ед.}), \tag{1}$$

где AD_i — потребление топлива в ТДж; ADi (ед.) — потребление топлива в физических единицах; Ci (ТДж/ед.) — коэффициент пересчета.

Далее производился расчет выбросов парниковых газов от сжигания каждого вида топлива по следующим формулам [23]:

— углекислый газ (CO_2), гигаграммы (Гг)

$$E = C \cdot D/10^3, \tag{2}$$

— метан (CH_4), гигаграммы (Гг)

$$G = C \cdot F/10^6, \tag{3}$$

— закись азота (N_2O), гигаграммы (Гг)

$$I = C \cdot H/10^6, \tag{4}$$

где C — потребление вида топлива в энергетических единицах (ТДж); D, F, H — коэффициенты выброса CO_2, CH_4, N_2O, представленные в табл. 1.

Пример таблицы расчетов эмиссии углекислого газа, метана и закиси азота для одной из категорий источников (Обрабатывающие производства) для Калининградской области за 2013 г. представлен в приложении к настоящей статье.

Методика расчета поглощения

На основе сведений о площади лесов Калининградской области выполнена оценка поглощения углерода лесами (табл. 6). В качестве исходных данных были использованы показатели прироста леса за год (A), которые с помощью коэффициента прироста (B) пересчитывались в массу сухого вещества, а далее рассчитано поглощение углекислого газа в гигаграммах в год по формулам [12]

$$C = A \cdot B, \tag{5}$$

$$E = C \cdot D, \tag{6}$$

$$F = E \cdot 44/12, \quad (7)$$

где A — показатель прироста леса за год (тыс. га/год), B — коэффициент прироста (1,5 тыс. т/тыс. га), C — годовой прирост биомассы (тыс. т/год), D — коэффициент поглощения углерода тонной сухой массы (тыс. т С/тыс. т), E — поглощение углерода в год (тыс. т/год), F — поглощение углекислого газа (CO_2) в год (Гг/год).

Результаты

Основные источники эмиссии

Результаты оценок вклада различных категорий источников в объем эмиссии парниковых газов для каждого года представлялись в виде сводных таблиц (см., например, табл. 2), где для каждой категориям указывались выбросы углекислого газа, метана и закиси азота в гигаграммах (вторая, третья и пятая колонки) и в гигаграммах эквивалента CO_2 (четвертая и шестая колонки).

Таблица 2

Пример сводной таблицы для 2013 г.: оценки эмиссии углекислого газа, метана и закиси азота по категориям источников. Метан и закись азота переведены в эквивалент CO_2 (выражены в гигаграммах)

An example of a summary table for 2013: the estimates of carbon dioxide, methane and nitrogen dioxide emissions for different source categories. Methane and nitrous oxide converted to CO_2 equivalent (expressed in gigrams)

Виды деятельности (категории источников)	CO_2 (Гг CO_2)	CH_4 (Гг CH_4)	CH_4 (Гг CO_2 экв.)	N_2O (Гг N_2O)	N_2O (Гг CO_2 экв.)	Гг (CO_2 экв.)
	(1)	(2)	(3) = 25 · (2)	(4)	(5) = 298 · (4)	(1) + (3) + (5)
AA	27,45	0,01	0,17	0,00	0,02	27,64
BB	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04
CC	10,76	0,0002	0,006	0,00	0,01	10,77
DD	245,98	0,007	0,18	0,001	0,29	246,44
EE	3500,68	0,07	1,64	0,01	3,19	3505,51
FF	22,14	0,0004	0,01	0,00	0,01	22,17
GG	2,02	0,0002	0,005	0,00	0,002	2,03
HH	1,08	0,0001	0,003	0,00	0,002	1,085
II	45,03	0,012	0,29	0,0004	0,13	45,45
MM	27,27	0,003	0,09	0,0004	0,12	27,47
NN	37,07	0,005	0,12	0,0005	0,16	37,35
OO	10,69	0,03	0,74	0,0002	0,05	11,48
Всего	3930,18	0,13	3,25	0,013	4,01	3937,44

При оценке эмиссии с территории Калининградской области основными категориями источников, содержащих в своих выбросах бóльшие по сравнению с остальными концентрации углекислого газа, метана и закиси азота, стали: в 2013, 2014 и 2016 гг. производство и распределение электроэнергии, газа и воды (EE), а в 2015 г. обрабатывающие производства (DD). Вторыми по значимости

категориями стали: для диоксида азота в 2013, 2014, 2016 гг. обрабатывающее производство (DD), в 2015 г. производство и распределение электроэнергии, газа и воды (DD); для метана предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг (OO); для оксида азота здравоохранение и предоставление социальных услуг (NN).

Временная изменчивость эмиссии по данным за 2013—2016 гг.

Самый большой за рассматриваемый период (2013—2016 гг.) объем выбросов углекислого газа был зафиксирован в 2015 г., но к 2016 г. он уменьшился по сравнению с предыдущим годом на 4,5 % (табл. 3). Если не принимать во внимание пик 2015 г., то можно сказать, что эмиссия уменьшилась на 0,7 % за период 2013—2015 гг., в то время как потребление котельно-печного топлива увеличилось на 0,1 %. В свою очередь, эмиссия метана и закиси азота с 2013 по 2016 г. увеличилась на 15,1 и 11,5 % соответственно.

Общий объем выбросов парниковых газов в большей степени определялся количеством выделившегося углекислого газа, так как он составил основную часть от всего количества рассчитанных веществ. Несмотря на значительную межгодовую изменчивость, наблюдается некоторое снижение эмиссии.

Таблица 3

Суммарные показатели выбросов парниковых газов с территории Калининградской области для каждой категории источников по годам, выраженные в эквиваленте CO_2

Total greenhouse gas emissions from the Kaliningrad Oblast for each source category by years, expressed in CO_2 equivalent

Виды дейтельности (категории источников)	Выбросы CO_2, CH_4, N_2O (Гг CO_2 экв.)			
	2013	2014	2015	2016
AA Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	27,64	28,88	26,25	25,31
BB Рыболовство, рыбоводство	0,04	0,025	0,025	0,00
CC Добыча полезных ископаемых	10,77	22,58	17,81	24,14
DD Обрабатывающие производства	246,44	261,37	296,33	321,55
EE Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	3505,51	3428,3	3642,46	3406,13
FF Строительство	22,17	1,53	2,93	2,99
GG Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	2,03	1,23	2,89	1,64
HH Гостиницы и рестораны	1,08	1,44	0,52	1,01
II Транспорт и связь	45,45	38,64	36,66	38,98
MM Образование	27,47	24,37	22,83	42,34
NN Здравоохранение и предоставление социальных услуг	37,35	32,65	30,83	31,84
OO Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	11,48	16,32	20,31	18,87
Всего в 2013 г.	3937,44	3857,33	4099,84	3914,79

Динамика выбросов для каждого из рассмотренных парниковых газов не одинакова. Рост количества выделяющегося в атмосферу углекислого газа отмечен в 2015 г., но уже к 2016 г. он сокращается на 183,41 Гг CO_2. В целом заметен тренд на увеличение содержания в атмосфере этого парникового газа. Также прослеживается уменьшение выделения метана в атмосферу в 2016 г. на 5,73 % по сравнению с 2015 г. Общий тренд содержания закиси азота за четыре года в противоположность трендам двух других составляющих состоит сначала в его понижении, сменяющимся в 2014 г. небольшим трехгодичным его ростом.

Связь эмиссии с количеством предприятий

Количество использованного котельно-печного топлива с 1991 по 2016 г. увеличилось с 1742,4 тыс. т условного топлива до 2193,9 тыс. т, или на 26 %.

Рассматривая число организаций по каждому виду экономической деятельности (табл. 4), можно проследить динамику ежегодного роста. Хозяйствующие субъекты сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства, рыболовства и рыбоводства, а также сферы образования не учитывались, так как они в малой степени влияют на изменение показателя выбросов парниковых газов в атмосферу в Калининградской области.

Изменение общего числа организаций и их числа по каждой сфере деятельности не коррелирует с колебаниями количества выбросов каждого из парниковых

Таблица 4

Распределение хозяйствующих субъектов Калининградской области по видам экономической деятельности, число организаций (на конец года)

Economic entities versus economic activities in the Kaliningrad Oblast, number of organizations (at the end of the year)

Виды дейтельности	2013	2014	2015	2016
AA. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	3131	1295*	1293	1316
BB. Рыболовство, рыбоводство	173	174	170	157
CC. Добыча полезных ископаемых	103	101	114	130
DD. Обрабатывающие производства	5230	5361	5446	5530
EE. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	268	278	285	290
FF. Строительство	6037	6480	6852	7031
GG. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	16538	17329	17923	18179
HH. Гостиницы и рестораны	1259	1326	1363	1390
II. Транспорт и связь	4629	4778	4940	5032
MM. Образование	1028	1001	993	957
NN. Здравоохранение и предоставление социальных услуг	701	718	751	790
OO. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	2658	2742	2869	2943

* Резкое уменьшение числа организаций по сравнению с 2013 г. обусловлено исключением недействующих крестьянско-фермерских хозяйств.

газов или их общей суммы, и, следовательно, не дает возможности использовать эту информацию для оценки трендов количества выбросов углекислого газа, метана и закиси азота.

Оценка вклада автомобильного транспорта

Дополнительно для 2016 г. (обеспечено данными) было рассчитано количество выбрасываемого в атмосферу в Калининградской области легковым автотранспортом углекислого газа, метана и закиси азота как деятельности, связанной со сжиганием топлива. Оно составило 2101,5 Гг CO_2 экв. (табл. 5 и 6). Исходными данными для проведенных расчетов послужило не количество израсходованного топлива, а число единиц автотранспортных средств (92 % общего числа автотранспортных средств) по данным из статистических сборников архивной библиотеки Калининградского отделения Федеральной службы государственной статистики. Анализируя полученные показатели, можно сказать, что выбросы, обусловленные легковым автотранспортом (без учета грузового и автобусного транспорта), составляют 1/3 часть выбросов, образующихся при сжигании топливных ресурсов. Количество каждого из рассматриваемых парниковых газов, связанное с выбросами легкового автотранспорта, распределяется следующим образом: CO_2 — 96,7 %, CH_4 — 1 %, N_2O — 2,3 %.

Таблица 5

Результаты расчетов выбросов углекислого газа, метана и закиси азота от легкового автотранспорта за 2016 г.

Spreadsheet for calculating the emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from passenger cars for 2016

Вид топлива	Потребление (тыс. т)	Коэффициент пересчета (ТДж/Тыс. т)	Потребление (ТДж)	Коэффициент выброса CO_2 (т CO_2/ТДж)	Выбросы CO_2 (Гг CO_2)	Коэффициент выброса CH_4 (кг CH_4/ТДж)	Выбросы CH_4 (Гг CH_4)	Коэффициент выброса N_2O (кг N_2O/ТДж)	Выбросы N_2O (Гг N_2O)
	(1)	(2)	(3)*	(4)	(5)*	(6)	(7)*	(8)	(9)*
Легковые АТС с нейтрализатором									
Бензин	330,55	43,66	14431,76	69,30	1000,12	25,00	0,36	8,00	0,12
Легковые АТС без нейтрализатора									
Бензин	330,55	43,66	14431,76	69,30	1000,12	33,00	0,48	3,20	0,05
Дизельное топливо	10,04	42,49	426,76	74,10	31,62	3,90	0,00	3,90	0,00
Сумма					2031,87		0,84		0,16

* Применены следующие формулы: (3) = (1)·(2); (5) = (3)·(4)/10^3; (7) = (3)·(6)/10^6; (9) = (3)·(8)/10^6.

Таблица 6

Сводная таблица результатов расчетов выбросов
углекислого газа, метана и закиси азота от легкового автотранспорта за 2016 г.

The summary table for the emissions
of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from passenger cars for 2016

	Выбросы CO_2 (Гг CO_2)	Выбросы CH_4 (Гг CH_4)	Выбросы CH_4 (Гг CO_2 экв.)	Выбросы N_2O (Гг N_2O)	Выбросы N_2O (Гг CO_2 экв.)
	(1)	(2)	(3) = 25 · (2)	(4)	(5) = 298 · (4)
Легковые АТС	2031,865	0,839	20,968	0,163	48,663
Всего	2031,865		20,968		48,663
Итого выбросов CO_2, CH_4 и N_2O (Гг CO_2 экв.): (1) + (3) + (5)					2101,496

Поглощение лесами

Общий объем поглощения на территории области углекислого газа в 2016 г. составил 800,8 Гг, или 11,9 % (табл. 7). Сравнение с соответствующим для данного года показателем выброса позволяет утверждать, что годовой объем выбросов углекислого газа от использования сжигаемого топлива в современных условиях превышает объем поглощения его лесным фондом почти в 7,4 раза (2016 г.).

Таблица 7

Объем поглощаемого лесом углекислого газа с 2013 по 2016 г.
для Калининградской области

The amount of carbon dioxide absorbed by forests in the Kaliningrad Oblast (2013—2016)

Год	Прирост леса, тыс. га	Коэффициент прироста, сухое вещество, тыс. т/тыс. га	Сухое вещество, тыс. т	Коэффициент, количество углерода, сухое вещество, тыс. т С/тыс. т	Поглощение CO_2, тыс. т	Поглощение CO_2, Гг
	(1)	(2)	(3) = (1) · (2)	(4)	(5) = (3) · (4)	(6) = 44/12 · (5)
2013	281,5	1,5	422,25	0,5	211,125	774,125
2014	281,5	1,5	422,25	0,5	211,125	774,125
2015	291,5	1,5	437,25	0,5	218,625	801,625
2016	291,2	1,5	436,8	0,5	218,4	800,8

Обсуждение и комментарии

Наибольшая доля выбросов парниковых газов на территории Калининградской области за рассматриваемый период приходится на углекислый газ (98,7%). Именно он и задает динамику суммарных выбросов, так как вклад других газов (CH_4 и N_2O) менее значителен и составляет 0,4 и 0,9 % соответственно.

Динамика объема котельно-печного топлива, сжигаемого для обеспечения энергетической составляющей Калининградской области (категория «деятельность по производству и распределению электроэнергии, газа и воды» в статистических справочниках), повторяет динамику выбросов от их использования (рис. 2,

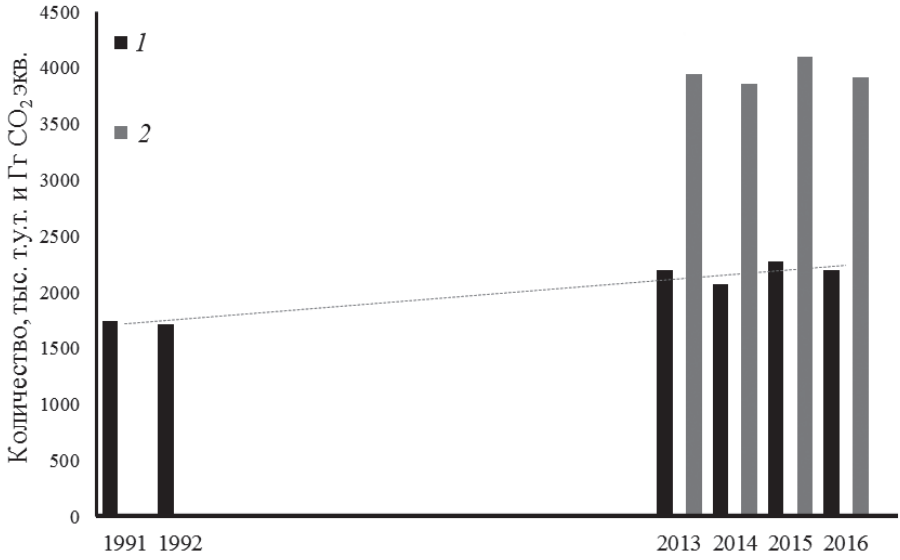

Рис. 2. Количество котельно-печного топлива (тыс. т.у.т.), сожженного на территории Калининградской области (показатели за 1991—1992 гг. [19, 22]) (*1*), и количество выбросов (Гг CO_2 экв.) парниковых газов (*2*).

Fig. 2. The amount of burned boiler and furnace fuel in the Kaliningrad region (data for 1991–1992 are according to the [19, 22]) (*1*) and green-house gases emission (*2*).

2013—2016 гг.). Эта связь характерна именно для технологии сегодняшнего уровня. Устойчивого тренда не прослеживается, так как длительность рассматриваемого периода невелика.

Поскольку, с одной стороны, объем используемых топливных ресурсов увеличивается (например, в 2016 г. увеличение по сравнению с 1991 г. составило 451,5 тыс. т.у.т. — рост примерно на 25 %), а с другой стороны, России удалось сократить выбросы (http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487), то это иллюстрирует вклад технологического перевооружения отрасли.

Учитывая единство Балтийского региона, имеет смысл сравнивать данные о выбросах парниковых газов с территории Калининградской и Ленинградской областей. Поскольку нет возможности оценить соотношение выбросов от легкового автотранспорта в Калининградской и Ленинградской областях за один и тот же год (в Ленинградской области за 2013 г. показатель составил 2755,6 Гг CO_2 экв. [12], а в Калининградской области в 2016 г. — 2101,5 Гг CO_2 экв.), было рассчитано соотношение суммарных выбросов рассматриваемых парниковых газов за 2013 г.

Согласно отчету о выполнении инвентаризации объемов выбросов парниковых газов в Ленинградской области [12], выбросы CO_2, CH_4, N_2O от сжигания топлива в энергетическом секторе Ленинградской области в 2013 г. составили 14581,5 Гг CO_2 экв. [12], а в Калининградской области за тот же год — 3937,44 Гг

CO_2 экв. Таким образом, суммарная эмиссия углекислого газа, метана и закиси азота от энергетической деятельности на территории Калининградской области в 3,7 раз меньше, чем на территории Ленинградской области. По данным за 2013 г. площадь Калининградской области (1512,5 тыс. га) в 5,55 раз меньше площади Ленинградской области (8390,8 тыс. га). Численность населения Калининградской области составляет примерно 963,1 тыс. человек (приблизительно 64 чел./км^2), т. е. в 1,83 раза меньше, чем в Ленинградской области (1763,9 тыс. человек, или 21 чел./км^2, без учета населения Санкт-Петербурга) [25]. Таким образом, на Ленинградскую область приходится 5,75 Гг CO_2 экв. выбросов на 1 км^2, а на Калининградскую — в 1,5 раза меньше — 3,84 Гг CO_2 экв. на 1 км^2.

Полученные оценки эмиссии на территории Калининградской области имеют некоторые погрешности, так как присутствуют пробелы в исходных данных. Например, отсутствовала информация относительно сожженного керосина за 2013 г. по категории «Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования» (GG). Тем не менее, поскольку (по другим годам) отсутствующая величина составляет менее 0,007 % общего годового выброса, пробел был закрыт осредненным за последующие годы значением. Критической является информация относительно категории «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» (EE), на долю которой приходится большая доля выбросов. Так, на долю природного газа в 2016 г. пришлось 93 % выбросов углекислого газа, что, в свою очередь, составило около 81 % общего объема выбросов за год эквивалента CO_2.

Выводы

В ходе выполнения расчетов эмиссии с территории Калининградской области были получены количественные оценки, которые позволили констатировать, что в современной структуре выбросов парниковых газов на территории Калининградской области главную роль играет сжигание топливно-энергетических ресурсов.

Изменение технологии в энергетической отрасли является ключевым фактором, ограничивающим эмиссию углекислого газа, метана и закиси азота при росте количества используемого в Калининградской области котельно-печного топлива.

Углекислый газ составляет основную массу (более 99 % без учета вклада легкового автотранспорта) выбросов парниковых газов на территории Калининградской области. За период с 2013 по 2016 г. объем его выбросов изменялся в пределах от 3757,4 Гг CO_2 экв. (2014 г.) до 4091,7 Гг CO_2 экв. (2015 г.), достигнув максимального значения в 2015 г.

Представленная в работе оценка эмиссии парниковых газов является оптимистичной (оценкой «снизу»), так как в ней не учтены выбросы от промышленных процессов, утечек, землепользования, отходов и др. Несмотря на это, оценка является полезной для разработки регионального плана действий по уменьшению вредного воздействия от роста антропогенной эмиссии парниковых газов, что, в свою очередь, является частью международных обязательств России [17, 18].

Для уточнения оценки были проведены расчеты выбросов углекислого газа, метана и закиси азота от использования топлива легковым автотранспортом в 2016 г., общий объем которых составил 2101,5 Гг CO_2 экв. Соотношение рассматриваемых газов в общем объеме следующее: CO_2 — 96,7 %, CH_4 — 1 %, N_2O — 2,3 %. Проведенные расчеты для 2016 г. также показали, что эмиссия от автотранспорта (2032,87 Гг CO_2 экв.) составила 34,5 % общего объема эмиссии. Это в 1,86 раз меньше, чем от сжигания ископаемого топлива за этот же год (3914,79 Гг CO_2 экв.).

Кроме того, в соответствии с методикой для расчета эмиссии [23] был учтен фактор поглощения углекислого газа лесами Калининградской области. Выполненные расчеты показали, что количество поглощаемого лесами углекислого газа составляет лишь 11,9 % выбросов данного газа при сжигании котельно-печного топлива.

Благодарности

Настоящая работа выполнена при частичной поддержке темы 0149-2019-0013 государственного задания Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук и в рамках деятельности Рабочей группы по разработке региональной концепции адаптации к изменению климата Совета по природопользованию и экологии при Министерстве природных ресурсов и экологии Калининградской области (http://clim-adapt39.ru/).

Список литературы

1. Калининградская область. Природные условия и ресурсы: рациональное использование и охрана: монография / Под ред. Г.М. Федорова. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. 224 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.
3. *Алексеев Г.В., Ананичева М.Д., Анисимов О.А.* и др. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: изд-во Росгидромета, 2014. 1009 с.
4. «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2016 году»: государственный доклад. Калининград: Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области, 2017. 200 с.
5. *Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О., Ершова А.А.* Анализ индикаторов изменения климата. Часть 2. Северо-Западный регион России // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 23—35.
6. *Ахмеджанов А.Х., Караданов Т.К.* Динамика содержания оксида углерода в атмосфере над Казахстаном по данным спутникового зондирования // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 95—99.
7. *Xiaosong Zheng X., Streimikiene D., Balezentis T., Mardani A., Liao H.* A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players // J. Cleaner Production. 2019. V. 23410. P. 1113—1133.
8. Указ Президента РФ «О сокращении выбросов парниковых газов» от 30 сентября 2013 г. № 752. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/ukaz_prezidenta_rossiyskoy_federacii_ot_30_sentyabrya_2013_g_752_o_sokrashchenii_vybrosov_parnikovyh_gazov_.html — Министерство экономического развития Российской Федерации, 2019. Дата обращения: 29.02.2020.
9. *Kuramochi T., Wakiyama T., Kuriyama A.* Assessment of national greenhouse gas mitigation targets for 2030 through meta-analysis of bottom-up energy and emission scenarios: A case of Japan // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V. 77. P. 924—944.

10. *Arioli M.S., D'Agosto,M.A., Amaral F.G., Cybis H.B.B.* The evolution of city-scale GHG emissions inventory methods: A systematic review // Environmental Impact Assessment Review. 2020. V. 80. Article 106316.
11. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. МГЭИК. 2006 г. Подготовлены Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / Под ред. С. Игглестона, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе. Т. 1—5. МГЭИК. 2006 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html Дата обращения: 05.02.2020.
12. *Голованов О.Ф.* Инвентаризация объемов выбросов парниковых газов в Ленинградской области. Промежуточный технический отчет. СПб, 2015. 89 с.
13. *Самойлов И.А., Нахутин А.И.* Оценка и среднесуточный прогноз антропогенной эмиссии диоксида углерода и метана в России статистическими методами // Метеорология и гидрология. 2009. № 6. С. 25—32.
14. *М.В. Макарова, Д.К. Арабаджян, С.Ч. Фока* и др. Оценка ночных эмиссий углеродосодержащих газов в пригородах Санкт-Петербурга // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 36—44.
15. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИА Природа, 2017. 760 с.
16. State and Territory Greenhouse Gas Inventories 2017: Australia's National Greenhouse Accounts// Australian Government (Department of Environment and Energy). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.environment.gov.au/system/files/resources/917a98ab-85cd-45e4-ae7a-bcd1b-914cfb2/files/state-territory-inventories-2017.pdf — Department of Agriculture, Water and the Environment, 2019. P. 107. Дата обращения 29.02.2020.
17. Парижское соглашение об изменении климата — итоговой документ 21-й Конференции сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКООНИК). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conv_climate.shtml). Организация объединенных наций, 2015. 19 с. Дата обращения: 21.01.2020.
18. Рамочная Конвенция по изменению климата. UNEP/IUC, 1992. 30 с.
19. Калининградская область в цифрах. Т. 1: Статистический сборник. Калининград: Калининградстат, 2017. 141 с.
20. *Ивахов В.М., Парамонова Н.Н., Привалов В.И.* Атмосферная концентрация диоксида углерода на станциях Тикси и Мыс Баранова в 2010—2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 4. С. 110—121.
21. *Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н.* Комплексный подход в оценке эмиссии углеродосодержащих газов от лесных пожаров в Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 30—38.
22. Калининградстат. [Электронный ресурс]. Режим доступа: kaliningrad.gks.ru — Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Калининградской области, 2018. Дата обращения 05.06.2018.
23. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. М.: Минприроды России, 2015. 30 с.
24. *Израэль Ю.А., Романовская А.А.* Основы мониторинга эмиссий и стоков парниковых газов антропогенного происхождения // Метеорология и гидрология. 2008. № 5. С. 5—15.
25. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году». М.: Минприроды России, 2014. 463 с.

References

1. *Kaliningradskaya oblast'. Prirodnye usloviya i resursy: racional'noe ispol'zovanie i ohrana.* Kaliningrad region. Natural conditions and resources: rational use and protection. Ed. G. M. Fedorov. Kaliningrad: Publishing House of the I. Kant BFU, 2016: 224 p. [In Russian].
2. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2018 godu».* State report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2016". Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; NPP Kadastr, 2019: 844 p. [In Russian].
3. *Alekseev G.V., Ananyicheva M.D., Anisimov O.A. Vtoroy otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. Second estimation report of

Roshydromet on climate changes and their consequences on the territory of Russian Federation. Moscow: Roshydromet, 2014: 1009 p. [In Russian].
4. *"Ob ekologicheskoj obstanovke v Kaliningradskoj oblasti v 2016 godu": gosudarstvennyj doklad*. About the environmental situation in the Kaliningrad region in 2016. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region. Kaliningrad, 2017: 200 p. [In Russian].
5. *Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L., Shapovalova K.O., Ershova A.A.* Analysis of Climate Change Indicators. Part 2. Northwestern Russia. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2020, 1 (12): 23 — 35. [In Russian].
6. *Akhmedzhanov A.Kh., Karadanov T.K.* Atmospheric Carbon Dioxide Dynamics over Kazakhstan Derived from Satellite Data. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2020, 1 (12): 95 — 99. [In Russian].
7. *Xiaosong Zheng X., Streimikiene D., Balezentis T., Mardani A., Liao H.* A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 23410. Pp. 1113-1133.
8. *Ukaz Prezidenta RF «O sokrashchenii vybrosov parnikovyh gazov» ot 30 sentyabrya 2013 g.* Decree of the President of the Russian Federation "On reducing greenhouse gas emissions" dated September 30, 2013 No. 752. [Electronic resource]. Access mode: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/ukaz_prezidenta_rossiyskoy_federacii_ot_30_sentyabrya_2013_g_752_o_sokrashchenii_vybrosov_parnikovyh_gazov_.html — *Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii*. The Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Date of treatment: 29.02.2020 [In Russian].
9. *Kuramochi T., Wakiyama T., Kuriyama A.* Assessment of national greenhouse gas mitigation targets for 2030 through meta-analysis of bottom-up energy and emission scenarios: A case of Japan. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017, 77: 924–944.
10. *Arioli M.S., D'Agosto,M.A., Amaral F.G., Cybis H.B.B.* The evolution of city-scale GHG emissions inventory methods: A systematic review. Environmental Impact Assessment Review. 2020, 80. Article 106316.
11. *S. Yggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe* (Eds.). *Rukovodyashchie principy nacional'nyh inventarizacij parnikovyh gazov.* 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. V. 1 - 5. Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006: [Electronic resource]. Access mode: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html — The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Date of treatment: 05.02.2020. [In Russian]
12. *Golovanov O.F. Inventarizaciya ob"emov vybrosov parnikovyh gazov v Leningradskoj oblasti. Promezhutochnyj tekhnicheskij otchet.* Inventory of greenhouse gas emissions in the Leningrad region. Interim technical report. St. Petersburg, 2015. 89 p. [In Russian].
13. *Samoilov I.A., Nakhutin A.I.* Estimation and medium-term forecasting of anthropogenic carbon dioxide and methane emission in Russia with statistical methods. *Meteorologiya i gidrologiya.* Meteorology and hydrology. 2009, 6 (5):348 — 353. [In Russian].
14. *Makarova M.V., Arabadzhyan D.K., Foka S. Ch.* et al. Estimation of Nocturnal Area Fluxes of Carbon Gases in Saint Petersburg Suburbs. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2018, 7 (8):36 — 44. [In Russian].
15. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2016 godu»*. State report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2016". Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; NIA Priroda. 2017: 760 p. [In Russian].
16. State and Territory Greenhouse Gas Inventories 2017: Australia's National Greenhouse Accounts. Australian Government (Department of Environment and Energy). [Electronic resource]. Access mode: https://www.environment.gov.au/system/files/resources/917a98ab-85cd-45e4-ae7a-bcd1b914cfb2/files/state-territory-inventories-2017.pdf — Department of Agriculture, Water and the Environment, 2019. 107. Date of treatment: 29.02.2020.
17. *Parizhskoe soglashenie ob izmenenii klimata — itogovoj dokument 21-j Konferencii storon Ramochnoj konvencii Organizacii Ob"edinennyh Nacij ob izmenenii klimata (RKOONIK).* Paris Climate Agreement. [Electronic resource]. Access mode: https://www.un.org/en/documents/decl_conv/conv_climate.shtml. United Nations Organization. 2015: 19 p. Date of appeal: 21.01.2020. [In Russian].
18. *Ramochnaya Konvenciya po izmeneniyu klimata.* Framework Convention on Climate Change, UNEP / IUC, 1992. 30 p. [In Russian]

19. *Kaliningradskaya oblast' v cifrah*. Kaliningrad Region in Figures. Statistical Digest. V. 1. Kaliningrad: Kaliningradstat, 2017: 141 p. [In Russian].
20. *Ivakhov V.M., Paramonova N.N., Privalov V.I., Zinchenko A.V., Loskutova M.A., Makshtas A.P., Kustov V.Y., Laurila T., Aurela M., Asmi E.* Atmospheric Concentration of Carbon Dioxide at Tiksi and Cape Baranov Stations in 2010—2017. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2019, 4 (11):110 — 121. [In Russian].
21. *Panov A.V., Prokushkin A.S, Bryukhanov A.V.* et al. A Complex Approach to the Estimation of Carbon Gases Emission from Wildfires in Siberia. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2018, 5 (8): 30 — 38. [In Russian].
22. Kaliningradstat. [Electronic resource]. Access mode: kaliningrad.gks.ru - Territorial authority of the Federal State Statistics Service for the Kaliningrad Region. Date of treatment 05.06.2018. [In Russian].
23. *Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu dobrovol'noj inventarizacii ob"ema vybrosov parnikovyh gazov v sub"ektah Rossijskoj Federacii.* Guidelines for a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the constituent entities of the Russian Federation. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia. 2015. 30 p. [In Russian]
24. *Israel Yu.A., Romanovskaya A.A.* Basics of monitoring emissions and sinks of greenhouse gases of anthropogenic origin. *Meteorologiya i gidrologiya.* Meteorology and hydrology. 2008, 5: 5-15. [In Russian].
25. *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2013 godu».* State report "On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2013". Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia. NIA Nature. 2014: 463 p. [In Russian].

Приложение

Пример таблицы расчетов эмиссии углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) для одной из категорий источников (Обрабатывающие производства) для Калининградской области за 2013 г.

Example of a calculation table for emissions of carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) for one of the source categories (Manufacturing) for the Kaliningrad region in 2013

Вид топлива	Потребление энергии			CO_2		CH_4		N_2O	
	(1)	(2)	(3) = = (1) · (2)	(4)	(5) = = (3) · (4)/10^3	(6)	(7) = = (3) · (6)/10^6	(8)	(9) = = (3) · (8)/10^6
Твердое топливо									
Уголь	0,45	29,31	13,04	94,2	1,23	10	0,0001	1,5	0,00002
Кокс металлургический	0,55	29,31	16,1	107	1,72	10	0,0002	1,5	0,00002
Жидкое топливо									
Мазут топочный	12,95	29,31	379,39	77,4	29,36	3	0,001	0,6	0,0002
Дизельное топливо	6,35	29,31	186,18	73,3	13,65	3	0,001	0,6	0,0001
Пропан и бутан сжиженные, газы углеводородные и их смеси сжиженные пр.	3,97	29,31	116,43	64,2	7,47	3	0,0003	0,6	0,0001
Топливо печное бытовое	1,35	29,31	39,61	112	4,44	30	0,001	4	0,0002
Газовое топливо									
Газ природный и попутный	121,74	29,31	3567,8	54,4	194,09	1	0,004	0,1	0,0004

Вид топлива	Потребление энергии			CO_2		CH_4		N_2O	
	(1)	(2)	(3) = = (1) · (2)	(4)	(5) = = (3) · (4)/10^3	(6)	(7) = = (3) · (6)/10^6	(8)	(9) = = (3) · (8)/10^6
Биотопливо									
Древесина топливная	0,04	29,31	1,08	112	0,12	30	0,00003	4	0,000004
Всего					252,08		0,01		0,001

Примечание. (1) — потребление (тыс. т. у. т.), (2) — коэффициент перерасчета (ТДж/тыс. т. у. т.), (3) — потребление (ТДж), (4) — коэффициент выброса CO_2 (т CO_2/ТДж), (5) — выбросы CO_2 (Гг CO_2), (6) — коэффициент выброса CH_4 (кг CH4/ТДж), (7) — выбросы CH_4 (Гг CH_4), (8) — коэффициент выброса N_2O (кг N_2O/ТДж), (9) — выбросы N_2O (Гг N_2O).

Статья поступила 11.01.2020
Принята в печать 05.03.2020

Сведения об авторах

Двоеглазова Надежда Вадимовна, магистрант кафедры географии океана Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград); лаборант, Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Калининград), e-mail: nadya2eyes@mail.ru

Чубаренко Борис Валентинович, канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией прибрежных систем Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Калининград); e-mail: chuboris@mail.ru

Козлова Янина Анатольевна, заместитель начальника отдела охраны и использования особо охраняемых территорий Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области; e-mail: ya.kozlova@gov39.ru

Information about authors

Dvodeglazova Nadezhda Vadimovna, Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad), Bachelor of Oceanic Geography; Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology RAS (Kaliningrad), assistant

Chubarenko Boris Valentinovich, PhD (Phys. and Math. Sci.), Head of the Laboratory of Coastal Systems, Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology RAS (Kaliningrad)

Kozlova Yanina Anatolyevna, Deputy Head of the Department of Protection and Use of Protected Areas, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kaliningrad Region

УДК [551.583:330.34](470.23-25) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-111-126

О РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ МЕР ПО АДАПТАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ

А.А. Павловский

Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга, pa1@yandex.ru

Рассматриваются возможные последствия изменения климата Санкт-Петербурга и меры по адаптации к ним. Особое внимание уделено направлениям, указанным в Стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на долгосрочную перспективу: формированию кадастра выбросов парниковых газов, защите побережья от затопления и размыва. Показано, что последствия глобального потепления для Санкт-Петербурга могут затронуть практически все антропогенные и природные компоненты мегаполиса, а также быть существенно усилены локальным возмущением естественного климата, обусловленным урбанизацией в условиях мегаполиса.

Ключевые слова: изменения климата, мегаполис, последствия, городское планирование, меры по адаптации.

ON DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PRIORITY MEASURES FOR ADAPTATION OF ST. PETERSBURG TO CLIMATE CHANGES

A.A. Pavlovskii

Saint-Petersburg Master Plan State Research and Design Center, Saint-Petersburg, Russia

The adverse effects of climate change are a critical threat to sustainable urban development in the twenty-first century. The article discusses the possible impacts of climate change on St. Petersburg and adaptation measures for them. Special attention is paid to the directions specified in the Strategy of Social and Economic Development of St. Petersburg for the long term: formation of an inventory of greenhouse gas emissions, protection of the coast from flooding and erosion.

Available estimates of greenhouse gas emissions in St. Petersburg are analyzed. Comparative estimates of changes in emissions of harmful substances from the main thermal power plants of St. Petersburg in the 1980s and in the 2020 are presented in the article, total emission from main energy plants having decreased more than 4 times. Achievements of St. Petersburg energy complex in transition to gas fuel are shown.

Global warming can affect almost all anthropogenic and natural components of the metropolis St. Petersburg. In addition, they can be significantly strengthened by the urban heat island, which has become a characteristic of St. Petersburg in the late 19th century. Trends of St. Petersburg population growth and density of urban development make it possible to say that the development of the island of heat will continue in the next decades.

The author proposes boundary delimitation of the maritime zone of St. Petersburg, determined on the basis of a comprehensive analysis of the various zones related to the protection of the eastern Gulf of Finland.

Practically all climatic normals of St. Petersburg presented in normative documents have changed at present. This circumstance requires updating of these documents. Extreme estimates of sea level rise pose a major threat to the security for the coast and population of St. Petersburg in the 21st century under global warming. Estimates of global warming impacts should be taken when planning urban development for the long-term.

Keywords: climate changes, megalopolis, consequences, urban planning, adaptation measures.

For citation: *Pavlovskii A.A.* On Development and Implementation of Priority Measures for Adaptation of St. Petersburg to Climate Changes. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 111—126. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-111-126

Введение

Экономическое развитие человеческой цивилизации в индустриальную эпоху, сопровождавшееся массовым сжиганием ископаемых видов топлива и вследствие этого беспрецедентным по скорости увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота и др.), способствовало развитию глобального потепления, наблюдающегося в настоящее время [1].

Согласно Стратегии пространственного развития РФ, климатические изменения и их отрицательные последствия, проявляющиеся в том числе в увеличении повторяемости опасных гидрометеорологических явлений, относятся к основным экологическим проблемам пространственного развития России в XXI веке. Санкт-Петербург, крупнейшая агломерация и центр Северо-Западного макрорегиона России, уже в настоящее время испытывает на себе негативные последствия глобального потепления.

Поскольку современный мегаполис, каким является Санкт-Петербург, представляет собой сложную природно-антропогенную систему, компоненты которой в той или иной степени подвержены влиянию климатических изменений, получение обоснованных оценок последствий глобального потепления для его населения, экономики, инфраструктуры и окружающей среды следует производить в рамках междисциплинарного геоэкологического исследования с применением системного подхода.

Разработка и реализация мер по адаптации к климатическим изменениям относятся к числу важнейших задач для достижения цели по обеспечению экологического благополучия на территории Санкт-Петербурга, предусмотренной Стратегией социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 г. (Стратегия-2035).

В настоящей статье рассматриваются основные последствия глобального потепления, с которыми может столкнуться Санкт-Петербург в XXI веке, а также возможные меры по адаптации к ним.

Исходные данные и методы

Климатическая информация, использованная в исследовании, была получена в специализированных архивах Мировых центров данных гидрометеорологической информации (http://meteo.ru/; https://www.ncdc.noaa.gov/). Сведения об изменении уровня моря получены из базы данных PSMSL и электронного атласа «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана» (https://www.psmsl.org/; http://esimo.aari.ru/portal/).

Прогностические гидрометеорологические параметры и динамика уровня моря, рассчитанные с использованием климатических моделей, получены на

сайте центра распространения данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата (https://www.ipcc.ch/; https://www.ipcc-data.org/).

Для получения информации об утвержденной природоохранной и санитарно-гигиенической документации использовался реестр санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию Роспотребнадзора (http://fp.crc.ru/).

Сведения документов стратегического планирования города Санкт-Петербурга: Стратегия социально-экономического развития, Прогноз социально-экономического развития на среднесрочный и долгосрочный периоды, Генеральный план Санкт-Петербурга — получены на официальных сайтах Администрации города (http://cedipt.spb.ru/; http://kgainfo.spb.ru/).

Сведения об объектах недвижимости, объектах землеустройства, картографическая, информация и иные необходимые пространственные данные были получены в Региональной информационной системе «Геоинформационная система Санкт-Петербурга» и Публичной кадастровой карте Росреестра (http://rgis.spb.ru/map/main.aspx; https://pkk5.rosreestr.ru/).

Общие сведения о состоянии окружающей среды города приняты по данным Экологического портала Санкт-Петербурга (http://www.infoeco.ru/). Анализ динамики климатических параметров производился с помощью методов статистической обработки гидрометеорологической информации. Оценка степени развития «городского острова тепла» в Санкт-Петербурге была произведена на основе оригинальной методики, базирующейся на статистической обработке климатической информации и на приемах интерполяции метеопараметров по набору окружающих город станций [2].

Последствия изменений среднего уровня моря в восточной части Финского залива и зоны затопления от него анализировались с применением ландшафтного подхода, информационно-картографического метода и ГИС-технологий. Комплексная оценка влияния современных изменений климата и их последствий на устойчивое развитие Санкт-Петербурга в XXI веке осуществлялась с использованием системного подхода.

Результаты исследований

Стратегией-2035 признается, что изменения климата являются одной из важнейших проблем XXI века, угрожающих устойчивому развитию Санкт-Петербурга. В связи с этим одной из основных задач по обеспечению экологической безопасности города является обеспечение адаптации к климатическим изменениям, в том числе минимизация выбросов парниковых газов и создание системы берегозащиты Санкт-Петербурга.

В соответствии с общемировыми планами не позволить средней глобальной многолетней температуре приземного воздуха повыситься более чем на 2 °С, а по возможности на 1,5 °С по сравнению с показателями доиндустриальной эпохи, в Санкт-Петербурге предусмотрено формирование кадастра выбросов парниковых газов. В 2016 г. по заказу Комитета по природопользованию, охране окружающей

среды и обеспечению экологической безопасности силами НИИ «Атмосфера» была выполнена специализированная работа по инвентаризации выбросов в Санкт-Петербурге парниковых газов: двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) (http://www.infoeco.ru/index.php?id=3134). В настоящем исследовании показано, что в период 2011—2015 гг. средний вклад Санкт-Петербурга в суммарный российский выброс парниковых газов составлял немногим более одного процента. В городском балансе доминировал сектор «Энергетика» (93 %), к которому относятся выбросы парниковых газов в результате сжигания углеродосодержащего топлива в энергетических целях; также существенная доля принадлежала категории «Отходы» (6,4 %). Выбросы парниковых газов от секторов «Промышленные процессы и использование продукции» и «Сельское хозяйство» составили по 0,3 % (http://www.infoeco.ru/index.php?id=3134).

К сожалению, в настоящее время отсутствуют продолжительные ряды данных наблюдений за выбросами парниковых газов в Санкт-Петербурге. Непрерывный ряд в целом для России представлен на сайте Росстата для периода с 2010 по 2017 г. (https://gks.ru/). Данные свидетельствуют о незначительной положительной тенденции, но ввиду короткого ряда не могут быть использованы для того, чтобы сделать какие-нибудь обоснованные выводы.

Создание реестра выбросов парниковых газов представляется важным в настоящее время, когда Россия приняла Парижское соглашение от 12 декабря 2015 г. и в продолжение своих существующих обязательств по Рамочной конвенции ООН об изменении климата от 9 мая 1992 г. планирует сокращение эмиссий к 2030 г. на 25—30 % от уровня 1990 г.

Согласно имеющейся информации, России удалось достичь показателей по сокращению выбросов парниковых газов по отношению к 1990 г. на уровне более 40 %. При этом такое сокращение выбросов является результатом не только политического и экономического кризиса, с которым столкнулась наша страна в конце 1980-х — в 1990-е годы, но и деятельности по модернизации топливно-энергетического и других секторов народного хозяйства (http://ipem.ru/).

В связи с тем что для Санкт-Петербурга отсутствует надежная статистическая информация о динамике выбросов парниковых газов за несколько десятков лет, продемонстрируем это на примере сравнения эмиссий вредных веществ от основных теплоэлектроцентралей города по данным Комплексной схемы охраны окружающей среды Ленинграда на период до 2005 г. (КСООС-2005) и в соответствии с действующей природоохранной и санитарно-эпидемиологической документацией по этим объектам (проекты нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, проекты санитарно-защитных зон) (http://fp.crc.ru/).

На рис. 1 представлены столбчатые диаграммы выбросов вредных веществ девятью теплоэлектроцентралями (ТЭЦ) города в конце 1980-х годов и в настоящее время. Отметим, что масса выбросов загрязняющих веществ данными ТЭЦ сократилась примерно в четыре раза, что наглядно свидетельствует о достижении показателей по охране окружающей атмосферного воздуха, предусмотренных КСООС-2005, в части совершенствования технологических процессов производства, оснащения газоочистными и пылеулавливающими установками,

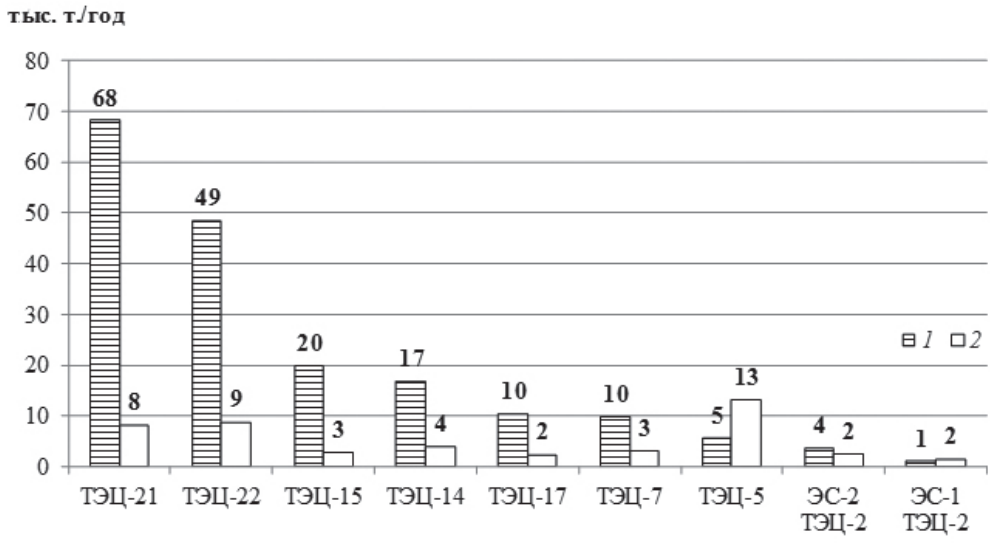

Рис. 1. Диаграмма суммарных выбросов вредных веществ ТЭЦ Санкт-Петербурга в конце 1980-х годов (по данным КСООС-2005) и в 2020 г. (по данным утвержденной природоохранной документации объектов).

1 — выбросы вредных веществ в конце 1980-х годов, *2* — выбросы вредных веществ в 2020 г.

Fig. 1. Diagram of total emissions of harmful substances from St. Petersburg combined heat and power plants in the late 1980s (according to the Integrated environmental protection scheme – 2005) and 2020 (according to the approved environmental documentation of the facilities).

1 – emissions of harmful substances in the late 1980s; *2* – emissions of harmful substances in 2020.

совершенствования топливного баланса с увеличением доли природного газа (в настоящее время этот показатель достиг 98 %). За прошедшие тридцать с небольшим лет из городской энергетики практически полностью исключены твердые виды топлива (каменный уголь, торф), которые использовались ранее.

В последние годы в отношении выбросов парниковых газов, связанных с сектором «Отходы», также наметились положительные тенденции, особенно после закрытия на рекультивацию городского полигона твердых коммунальных отходов «Новоселки», выброс метана от которого составлял около 18 тыс. т/год. Дальнейшее накопление данных о выбросах парковых газов, связанных с различными секторами экономики и конкретными объектами Санкт-Петербурга, представляется важным для определения мероприятий по их сокращению.

Как известно, в текущем столетии вне зависимости от сценариев развития мировой экономики и выбросов парниковых газов средняя глобальная температура приземного воздуха и уровень Мирового океана сохранят тенденцию к повышению [1]. В связи с этим рассмотрим наиболее значимые последствия возможных изменений климата для Санкт-Петербурга и меры по адаптации к ним.

Согласно имеющимся оценкам, в зависимости от климатического сценария к концу XXI столетия по сравнению с аналогичным периодом в XX веке средняя температура приземного воздуха повысится на 3—4 °С, количество осадков увеличится более чем на 200 мм, а уровень моря в восточной части Финского залива возрастет до 90 см (http://cliplive.infoeco.ru/) [3, 4].

Отметим, что проблема глобального потепления в Санкт-Петербурге усугубляется локальным возмущением естественного климатического режима, обусловленным условиями урбанизированной территории города. Этот эффект является особенно актуальным в настоящее время, когда происходят увеличение численности населения и повышение плотности городской застройки как собственно города, так и его агломерации. Характерно, что по действующему Генеральному плану Санкт-Петербурга предполагалось, что к 2021 г. численность населения города стабилизируется на уровне 4,8—5,0 млн человек. Однако уже в настоящее время численность населения приблизилась к 5,4 млн человек и продолжает расти.

Согласно имеющимся прогнозам, представленным в Нормативах градостроительного проектирования Санкт-Петербурга, население Санкт-Петербурга к 2025 г. может составить 5,9 млн человек, а к 2030 г. — около 6,2 млн человек. Численность населения Санкт-Петербургской агломерации может увеличиться к 2030 году до более чем 7,2 млн человек, а к 2050 г. — до 8,7 млн человек (http://arch.lenobl.ru).

Антропогенные преобразования территории, энергетические, промышленные и транспортные тепловые выбросы, сопровождающие рост населения агломерации, приведут к дальнейшему развитию так называемого городского острова тепла, который, как было показано в работе [2], стал отличительной чертой Санкт-Петербурга в конце XIX века, когда число его жителей составило примерно миллион человек. За счет данного эффекта как повышение температуры приземного воздуха, так и увеличение количества атмосферных осадков на территории Санкт-Петербурга значительно превосходят соответствующие изменения в других репрезентативных пунктах Балтийского региона. Например, к настоящему времени по температурному режиму Санкт-Петербург практически приблизился к Стокгольму, а по количеству атмосферных осадков — к Хельсинки, значительно превзойдя финскую столицу по первому показателю, а шведский город по второму [2].

В связи с этим отметим, что существенная деформация естественного климата в мегаполисах должна рассматриваться совместно с изменениями климатических условий в каждом географическом регионе планеты, вызываемыми современным глобальным потеплением в целом.

В Стратегии-2035 особое внимание уделено вопросам защиты прибрежных территорий Санкт-Петербурга от размыва и затопления при изменении климата. При этом в настоящее время в действующих нормативно-правовых актах отсутствует однозначное определение границы приморской зоны Санкт-Петербурга, несмотря на довольно частое использование данного термина в специализированной научной и публицистической литературе. Очевидно, для ее определения

следует ориентироваться на действующие зоны с особыми условиями использования территории, организующиеся в целях охраны моря, его биологических и рекреационных ресурсов, исторических форм берегового рельефа, для защиты селитебной территории от затопления.

В приморском городе, каким является Санкт-Петербург, важнейшими зонами с особыми условиями использования территории, определяющими градостроительное развитие побережья, являются водоохранные зоны и выделяемые в их составе прибрежные защитные полосы, на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях защиты водных объектов и их экосистем от деградации. Согласно Водному кодексу РФ, ширина водоохранной зоны моря составляет 500 метров. Кроме того, в соответствии с требованиями Федерального закона от 20.12.2004 №166-ФЗ «*О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов*», в целях сохранения условий для воспроизводства водных биоресурсов, для акватории восточной части Финского залива установлена рыбоохранная зона размером 500 метров.

При рассмотрении вопроса сохранения водных биологических ресурсов Невской губы и Финского залива напомним, что на протяжении длительного времени обсуждался вопрос о создании на двух участках рассматриваемой акватории специализированного ихтиологического заказника «Питерская корюшка». К сожалению, на фоне существующих и прогнозируемых трендов температуры морской воды и приземного слоя воздуха, а также проведения гидромеханизированных работ по образованию новых территорий маловероятно, что в ближайшее время можно будет вернуться к идее организации ихтиологического заказника в акватории Невской губы.

Отдельно следует остановиться на активно прорабатываемом в настоящее время вопросе создания курорта регионального значения в границах территории северного побережья Финского залива — г. Сестрорецка, который имеет длительную историю.

Согласно распоряжению мэра Санкт-Петербурга от 31.10.1995 №1151-р «*О разработке концепции социально-экономического развития Курортного района*» и подготовке проекта федеральной программы «*Развитие эколого-курортного региона северного побережья Финского залива*», природными ресурсами Курортного района в целом является его приморский северобережный рельеф, покрытый зелеными насаждениями, имеющими лечебно-оздоровительные свойства и выполняющими санитарно-гигиенические функции, а также атмосферный воздух, насыщенный бромом и йодом.

Отдельно на его территории выделяются месторождения холодных слабоминерализованных хлоридно-натриевых вод из гдовского водоносного горизонта верхнего протерозоя, применяющихся для оздоровительного питья и бальнеотерапии, а также лечебные грязи сестрорецкого месторождения гиттиевых глин.

Наиболее уязвимые к антропогенному воздействию компоненты курорта — акватория у северного побережья Финского залива, предназначенная для отдыха и лечебно-оздоровительных целей, пляжи прибрежной полосы от г. Сестрорецка до пос. Смолячково.

Участки территории курортного региона, занимаемые зданиями и сооружениями санаторно-курортных предприятий, а также предназначенные для санаторно-курортного строительства, тоже относятся к охраняемым объектам.

К сожалению, в настоящее время в результате все возрастающей социально-экономической нагрузки происходит истощение природных ресурсов, представляющих наибольший интерес, — пляжей и прибрежной акватории, которые уже на протяжении нескольких лет не признаются пригодными для купания по санитарно-гигиеническим показателям.

Результаты государственного мониторинга геологических процессов показывают негативную динамику изменения состояния береговой зоны восточной части Финского залива. В Курортном районе к зонам размыва (абразии) может быть отнесено около 50 % береговой зоны. Песчаные пляжи поселков Комарово и Репино подвержены интенсивному размыву, скорость которого в среднем составляет 0,5 м/год. Согласно имеющимся прогнозам, при развитии глобального потепления разрушение берега продолжится и ускорится [5] (http://cliplive.infoeco.ru/).

Устойчивое развитие планируемого к созданию курорта регионального значения в границах территории северного побережья Финского залива представляется затруднительным без учета прогностических оценок последствий глобального потепления для его приморской зоны, особенно в условиях наблюдающейся несистемной хозяйственной деятельности и деградации берега.

При определении границ приморской зоны нами будет использована ориентировочная первая зона округа горно-санитарной охраны курорта, устанавливаемая для оборудованных лечебных пляжей и прилегающих к ним акваторий. По суше граница данной зоны проходит на расстоянии не менее 100 метров от контура пляжа, по акватории — на расстоянии не менее 300 метров от уреза воды.

В продолжение темы рекреационных ресурсов побережья Финского залива обратимся к исторически ценным ландшафтным объектам, сформированным древними фазами Балтийского моря, к которым относятся литориновый уступ, перепады рельефа, дюны. Данные объекты были гармонично учтены в градостроительных и архитектурных решениях дворцово-парковых ансамблей, усадебной и дачной застройки, расположенных вдоль южного и северного побережья Невской губы, которые являются признанным историческим наследием мировой культуры. Следует также вспомнить, что в целом большая часть Невской губы является элементом исторической ландшафтно-композиционной структуры.

Прибрежные морские воды активно используются населением в различных целях. При этом они испытывают существенную антропогенную нагрузку, часто приводящую к их загрязнению и снижению оздоравливающего эффекта. Санкт-Петербург является крупнейшим морским водопользователем. Его прибрежные воды практически полностью относятся к акватории Большого порта Санкт-Петербург, используются в качестве источника частичного водоснабжения Кронштадского района, а также являются основным водоприемником канализационной системы города.

Действующими санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПиН 2.1.5.2582-10 «*Санитарно-эпидемиологические требования к охране*

прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения» для обеспечения безопасности морского водопользования для населения в охраняемых районах выделяются акватории рекреационного, лечебно-оздоровительного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового морского водопользования, также называемые районом водопользования, зона санитарной охраны района водопользования и прибрежная полоса суши.

В соответствии с целью исследования наибольший интерес представляет двухкилометровая полоса суши, прилегающая к урезу воды, на территории которой вводится специальный режим землепользования: запрет на размещение различных источников возможного загрязнения поверхностных и подземных вод (полигонов твердых коммунальных отходов, складов ядохимикатов и удобрений, животноводческих и птицеводческих комплексов и других объектов). Именно об этой границе будет идти речь при выделении приморской зоны Санкт-Петербурга.

Глобальное потепление, приводящее к повышению среднего и максимального уровня моря, повторяемости нагонных наводнений, способно повлиять на санитарно-эпидемиологическую обстановку на данной территории. Определенная в настоящее время зона затопления от восточной части Финского залива и Невской губы с учетом Лахтинского разлива составляет около 40 км^2. Уже в настоящее время в ее границах запрещено развитие городских территорий и размещение объектов капитального строительства без выполнения специальных мероприятий по инженерной подготовке в целях их защиты от затопления и подтопления. О прогнозируемых изменениях этой зоны будет сказано ниже.

В результате проведенного специализированного анализа зон с особыми условиями использования территории, связанных с защитой акватории и побережья восточной части Финского залива, определена ориентировочная граница приморской зоны Санкт-Петербурга (рис. 2).

К сожалению, в настоящее время фактор происходящих изменений климата и их возможных последствий не учитывается ни при развитии приморских территорий города, ни при разработке планов по освоению акватории Невской губы. Санкт-Петербург в силу своего низинного рельефа и подверженности наводнениям чувствителен к неблагоприятным последствиям климатических изменений.

При этом развитие глобального потепления сопровождается увеличением повторяемости опасных гидрометеорологических явлений (http://meteo.ru/). Для Санкт-Петербурга в текущий климатический период общее число нагонных наводнений было максимальным за весь период наблюдений. Например, с 1981 по 2011 г. произошло 60 наводнений, т.е. более чем на 30 % больше, чем в период 1950—1980 гг. С даты ввода в эксплуатацию Комплекса защитных сооружений в 2011 г. было остановлено 17 наводнений. В последний климатический период произошло смещение годового максимума повторяемости наводнений с осени на зиму [6, 7].

Статистика остановленных наводнений, ведущаяся дирекцией Комплекса защитных сооружений, свидетельствует, что с конца 2011 г. по настоящее время больше всего наводнений (одиннадцать) приходится также именно на зимний период — в 2011 г. (два), 2013 г. (одно), 2015 г. (семь) и 2018 г. (одно)

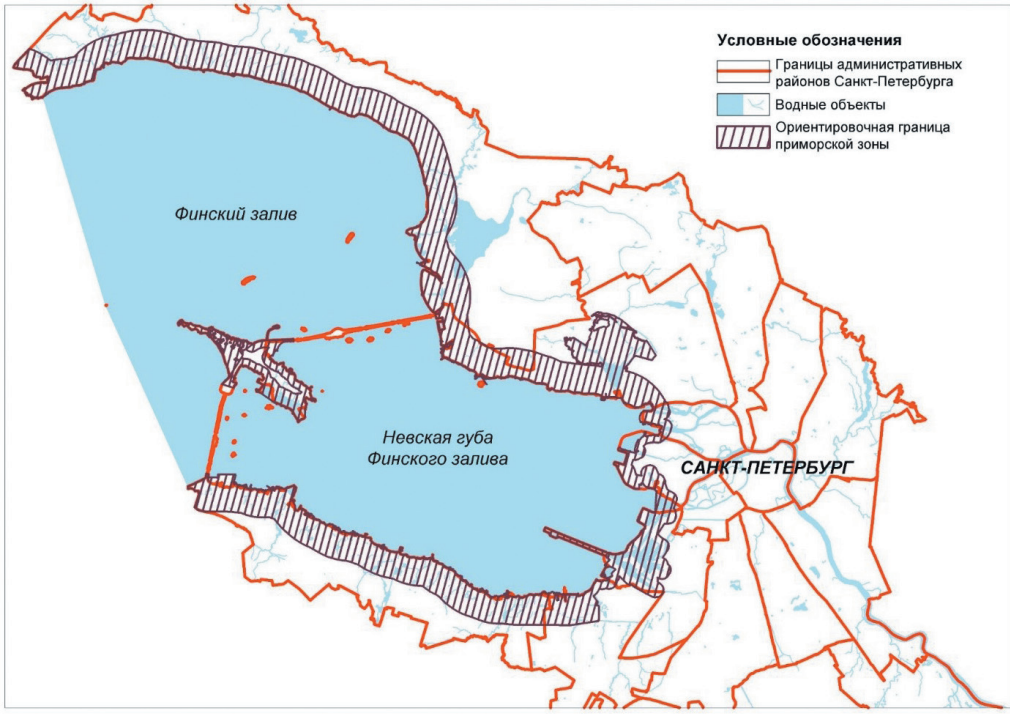

Рис. 2. Схема ориентировочных границ приморской зоны Санкт-Петербурга.

Fig. 2. Scheme of indicative boundaries of the maritime zone of St. Petersburg.

(https://dambaspb.ru/). Проблема возможного изменения повторяемости опасных гидрологических явлений и увеличения зоны затопления при глобальном потеплении является для Санкт-Петербурга особенно важной.

Основными факторами, способными повлиять на увеличение зоны затопления Санкт-Петербурга, являются: средний уровень моря, повторяемость и продолжительность нагонных наводнений, уровень Ладожского озера и расход Невы, игнорирование фактора климатических изменений при градостроительном планировании развития побережья и акватории.

Уже в настоящее время есть основания говорить о том, что при наблюдающихся расходах Невы, продолжительности закрытия Комплекса защитных сооружений максимальный уровень воды 1 %-ной обеспеченности в Невской губе при может достигнуть 240—260 см [8].

Согласно ранее полученным оценкам, при изменении климата площадь зоны затопления в XXI веке может существенно увеличиться — до 110 км^2. В этом случае соответственно возрастет численность населения, количество зданий и сооружений, подверженных наводнениям, особенно на участках, сформированных намывами [8, 9]. Данные результаты были получены при сценарии повышения уровня восточной части Финского залива на 90 см.

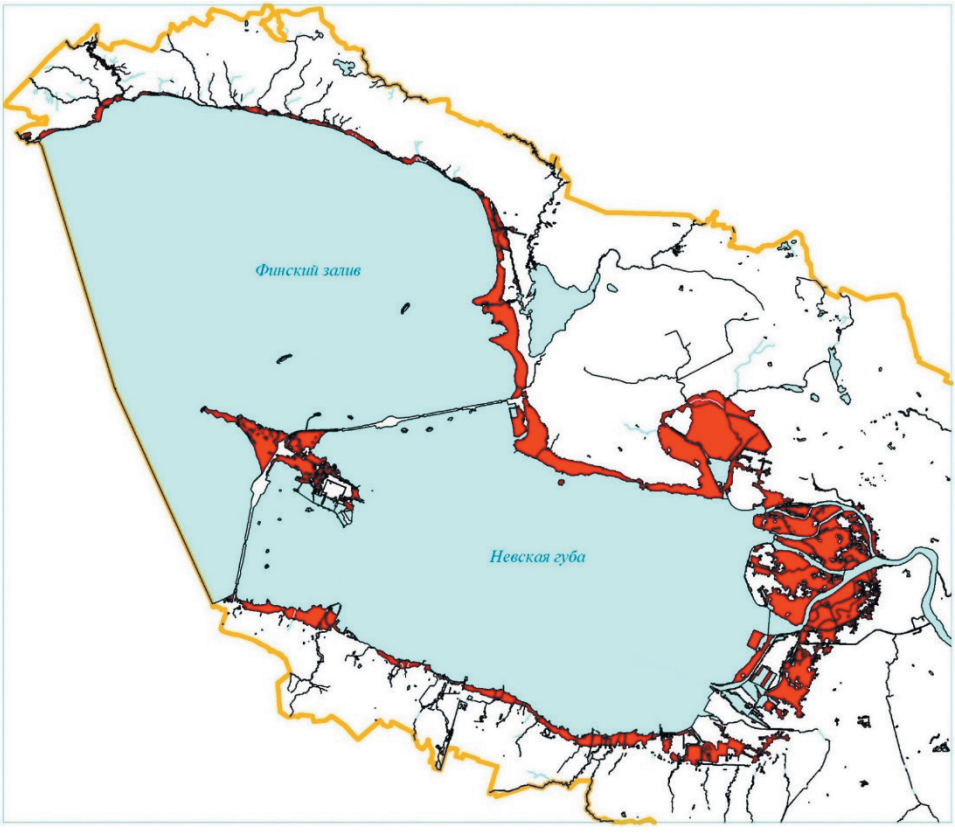

Рис. 3. Схема возможных границ зоны затопления (выделены красным цветом) при развитии глобального потепления к концу XXI века.

Fig. 3. Diagram of possible limits of the flooding zone (red fill) under global warming by the end of the XXI century.

Существующие границы зоны затопления Санкт-Петербурга и их изменения при различных прогнозируемых гидрометеорологических условиях схематически представлены на рис. 3.

Однако следует отметить, что в последние годы специалисты, занимающиеся прогнозами изменения параметров климатической системы при развитии глобального потепления, сходятся в оценках того, что к концу XXI столетия скорость роста уровня Мирового океана может существенно превысить даже экстремальные сценарные оценки (RCP8.5) и достигнуть 44 мм/год. В этом случае уровень Мирового океана может повыситься на 2,5 м по сравнению с концом XX века [10].

Несмотря на то что в настоящее время данные сценарии являются маловероятными, возрастающая интенсивность таяния ледникового щита Гренландии, частичное разрушение Западно-Антарктического щита Антарктиды при развитии глобального потепления могут привести в последние десятилетия текущего

столетия к смене типа существующего положительного тренда среднего уровня Мирового океана с линейного на экспоненциальный [10].

В этом случае значительная часть побережья как Невской губы, так и восточной части Финского залива окажется затопленной даже при среднем уровне моря, а малоопасные в настоящее время штормы и нагонные наводнения будут приводить к катастрофическим затоплениям территории города.

Наиболее действенным способом по защите исторической части города от затопления при повышении как среднего, так и максимального уровня моря является отказ от дальнейших планов по намыву искусственных земельных участков в Невской губе и освоения ее побережья под жилую и нормируемую общественно-деловую застройку.

Это относится и к побережью Финского залива. Кроме того, для защиты его берега даже в случае реализации оптимистических сценариев повышения уровня Мирового океана уже в настоящее время следует предпринять надлежащие меры.

Увеличение числа нагонных наводнений и смещение максимума их повторяемости на зимние месяцы способствуют размыву берега Санкт-Петербурга. Игнорирование данного процесса приведет к деградации и потере большей части пляжей в течение XXI века, и для того чтобы предотвратить это, требуется оперативная реализация мероприятий по берегозащите.

В целом имеющиеся в настоящее время оценки показывают, что развитие глобального потепления способно привести к смене природно-климатических условий на территории Санкт-Петербурга с бореальных на морские. Прогнозируемый тип климата характеризуется менее выраженным годовым и суточным ходом температуры приземного воздуха, повышенной влажностью и облачностью — это климат с прохладным летом и мягкой зимой. Наиболее принципиальным изменением, которое может ожидать Санкт-Петербург в условиях морского климата, является отсутствие условий для формирования устойчивого снежного покрова.

Проявление глобального потепления в Санкт-Петербурге уже в настоящее время нашло отражение в действующих строительных правилах СП 131.13330.2012 «*Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99**» в части нормативных климатических параметров. Например, в действующей редакции документа значение средней годовой температуры приземного воздуха возросло по сравнению с предыдущей редакцией на 1 °С — от 4,4 до 5,4 °С. Количество осадков, так же как сезонные и специфические климатические показатели, тоже сильно изменилось.

Внесения оперативных корректировок требует свод правил СП 32.13330.2012 «*Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85*» в части карты значений интенсивности дождя, рисунка «Классификация районов РФ в зависимости от климатических условий» и значения среднего числа дождей за год.

То же касается и различных ведомственных документов, определяющих специфику эксплуатации городской инфраструктуры, в части представленных в них неактуальных значений климатических параметров.

Выводы

В настоящее время в рядах гидрометеорологических параметров в Санкт-Петербурге наблюдаются значимые положительные тренды, вызванные как глобальным потеплением, так и влиянием локальных эффектов урбанизированной территории.

Показатели трендов температуры атмосферного воздуха и количества атмосферных осадков в Санкт-Петербурге значительно превосходят аналогичные тенденции в других репрезентативных пунктах Балтики — Стокгольме и Хельсинки, что свидетельствует о развитии на его территории масштабного городского острова тепла.

Локальное возмущение климатических условий на территории Санкт-Петербурга стало его характерной особенностью в конце XIX века, когда население города достигло одного миллиона человек. Согласно имеющимся прогнозам, численность населения Санкт-Петербургской агломерации к середине текущего столетия может возрасти до девяти миллионов человек. В связи с этим имеющиеся сценарии глобального потепления для территории Санкт-Петербурга в XXI веке могут быть усилены за счет дальнейшего развития городского острова тепла.

Глобальное потепление будет оказывать все возрастающее влияние на город и его население вне зависимости от сценария социально-экономического развития Санкт-Петербурга.

Показано, что наиболее значимые негативные последствия климатических изменений для Санкт-Петербурга будут связаны с повышением среднего и максимального уровня моря, а также разрушением его побережья.

Площадь существующей зоны затопления города даже при реализации относительно оптимистических климатических сценариев может к концу XXI века возрасти до 110 км^2.

При этом все чаще появляются экстремальные прогнозы, согласно которым ускорение таяния покровных ледников Гренландии и западной Антарктиды может привести к значительному увеличению скорости повышения уровня Мирового океана, который к концу XXI столетия может возрасти на 2—2,5 м.

Подобное повышение уровня моря способно катастрофическим образом повлиять на приморскую зону Санкт-Петербурга. При реализации таких экстремальных климатических сценариев будет затоплено несколько тысяч гектаров побережья, а катастрофические наводнения будут происходить практически ежегодно.

Полученные в последнее время прогностические оценки изменения уровня моря в восточной части Финского залива при развитии глобального потепления вызывают дополнительную обеспокоенность за безопасность густонаселенного побережья Санкт-Петербурга в XXI столетии.

Полученные оценки последствий современных изменений климата для градостроительного развития Санкт-Петербурга в XXI веке позволяют принять обоснованные проектные решения при подготовке стратегического документа города, его нового Генерального плана, реализация которого будет происходить в условиях глобального потепления.

В связи с тем что негативные последствия глобального потепления приводят к ухудшению ситуации с экологической безопасностью в Санкт-Петербурге и в целом влияют на его развитие, фактор современных изменений климата должен комплексно учитываться при подготовке проектов различных строительных правил, отраслевых схем, документов стратегического планирования, прогнозов социально-экономического развития, схем инженерной инфраструктуры.

Список литературы

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
2. *Менжулин Г.В., Павловский А.А.* Комплексная методика расчета и оценки нарушений естественного климатического режима в мегаполисе Санкт-Петербург // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 43. С. 154—173.
3. *Павловский А.А., Малинина Ю.В.* Повышение уровня Финского залива в XXI веке: сценарии и последствия. К вопросу о затоплении береговой зоны в пределах Курортного района Санкт-Петербурга // TerraHumana, 2010, Вып. 4. С. 219—226.
4. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А.* Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе // Вода и экология: проблемы и решения. Выпуск № 1(73), 2018. С. 48—58. DOI: 10.23968/2305—3488.2018.23.1.48-58.
5. *Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Ковалева О.А., Леонтьев И.О., Жамойда В.А., Колесов А.М.* Проблемы абразии берегов восточной части Финского залива: состояние, прогноз, рекомендации по берегозащите // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 44. С. 187—203.
6. *Павловский А.А., Менжулин Г.В.* О динамике Санкт-Петербургских наводнений в различные климатические периоды и оценки изменений уровня Финского залива при ожидаемом глобальном потеплении// Вестник СПбГУ, Серия 7, Геология, география, № 2. 2010. С. 71—83.
7. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В.* Изменчивость невских наводнений и уровня Финского залива в современных климатических условиях // Водные ресурсы. 2015. № 5. С. 544—557.
8. *Павловский А.А., Менжулин Г.В.* Изменения климата и оценка перспективы использования в петербургском градостроительстве искусственных намывных территорий// Труды ГГО. 2019. Вып. 593. С. 70—84.
9. *Павловский А.А.* Об определения зон затопления на территории Санкт-Петербурга // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 43. С. 39—50.
10. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И.* Изменения уровня Мирового океана в текущем столетии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 9—22. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-9-22.

Электронные ресурсы

11. National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ncdc.noaa.gov/.
12. Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.psmsl.org/.
13. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://meteo.ru/.
14. Дирекция комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dambaspb.ru/.
15. Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ) [Электронный ресурс]. Режим доступа http://ipem.ru/.
16. Комитет градостроительной политики Ленинградской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://arch.lenobl.ru/.

17. Комитет по градостроительству и архитектуре Правительства Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://kgainfo.spb.ru/.
18. Комитет по экономической политике и стратегическому планированию Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cedipt.spb.ru/.
19. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ipcc.ch/; https://www.ipcc-data.org/.
20. Проект CliPLivE выполненный в рамках европейской Программы приграничного сотрудничества юго-восточной Финляндии и России 2007—2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cliplive.infoeco.ru/.
21. Публичная кадастровая карта Росреестра [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pkk5.rosreestr.ru/.
22. Региональной информационной системе «Геоинформационная система Санкт-Петербурга» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://rgis.spb.ru/map/main.aspx/.
23. Реестр санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию Роспотребнадзора [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fp.crc.ru/.
24. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.infoeco.ru/.
25. Электронный атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://esimo.aari.ru/portal/.

References

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014:151.
2. *Menzhulin G.V., Pavlovskij A.A.* A comprehensive methodology for calculating and estimating violations of the natural climate regime in the metropolis St.Petersburg. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2016. 43:154—173. [in Russian].
3. *Pavlovskij A.A., Malinina YU.V.* Rising Gulf of Finland levels in the 21st century: scenarios and consequences. To the issue of flooding of the coastal zone within the Resort District of St. Petersburg. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. TerraHumana, 2010. 4:219—226 [in Russian].
4. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina YU.V., Pavlovskij A.A.* The negative consequences of storm surges and the "age-old" level rise in the Neva bay. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya.* Water and Ecology: problems and decisions, 2018, 1: 48—58. DOI: 10.23968/2305—3488.2018.23.1.48-58.
5. *Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Kovaleva O.A., Leont'ev I.O., Zhamoida V.A., Kolesov A.M.* Problems of coastal erosion in the eastern Gulf of Finland: state, prognosis of development, recommendations of coast protection. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* 2016. 44:187—203. [in Russian].
6. *Pavlovskij A.A., Menzhulin G.V.* On the dynamics of St. Petersburg floods during different climatic periods and estimates of changes in the level of the Gulf of Finland under the expected global warming. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya 7, Geologiya, geografiya.* Vestnik of St. Petersburg State University. Series 7, Geology, Geography. 2010. 2: Pp.71-83 [in Russian].
7. *Malinin V.N., Gordeeva S.M., Mitina Yu.V.* Variability of Neva floods and the level of the Gulf of Finland in modern climatic conditions. *Vodnyye resursy.* Water Resources. 2015. 5: 544—557. [In Russian].
8. *Pavlovskij A.A., Menzhulin G.V.* Climate Changes and Estimates of Perspective Using the Artificial Wash Territories in St.Petersburg City-Planning. *Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii im. A.I. Voejkova*. Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory. 2019. 593:70-84 [in Russian].
9. *Pavlovskij A.A.* On the definition of flooding zones on the territory of St.Petersburg. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2016. 43: 39—50 [in Russian].

10. *Malinin V.N., Gordeeva S.*M.*, Shevchuk O.I.* Changes in the global sea level in the current century. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2019. 16(5): 9—22. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-9-22 [in Russian].

Статья поступила 22.01.2020
Принята в печать 16.02.2020

Сведения об авторах

Павловский Артем Александрович, канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», начальник отдела градоэкологического обоснования развития территорий Санкт-Петербурга, Pa1@yandex.ru

Information about authors

Pavlovskii Artem Aleksandrovich, Ph. D. in Physical and Mathematical Sciences; Scientific, Research and Project Center of Saint-Petersburg's Master Plan; Head of Department

УДК 502.171:631.45 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-127-141

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ПОЧВ: СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕРЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Д.М. Хомяков[1], В.М. Тарбаева[2]

[1] ФГБУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, khom@soil.msu.ru
[2] Межрегиональная общественная организация «Природоохранный союз», Санкт-Петербург

Проведен анализ правовых основ реализации целей устойчивого развития с учетом состояния почв в России. Установлено, что для реализации положений концепции устойчивого развития необходимо, прежде всего, ввести в федеральное законодательство полноценное, научно обоснованное и легальное (юридически значимое), общеправовое, точное, однозначное, дефинированное, устоявшееся, неконтекстное определение почвы и ее плодородия как фундаментального уникального свойства. Почвы, их состояние и плодородие должны быть в числе обязательных критериев эффективности осуществления земельной политики и всех мероприятий по землеустройству, которое, в свою очередь, должно быть определено как комплекс мероприятий по изучению состояния почв, планированию и организации рационального их использования и охраны.

Ключевые слова: почва, плодородие, покров, земля, мелиорация, законодательство.

LEGAL BASIS FOR THE RATIONAL USE AND PROTECTION OF SOILS: CURRENT SITUATION AND PROPOSED REGULATORY MEASURES

D.M. Khomyakov[1], V.M. Tarbaeva[2]

[1] Moscow State University, Moscow, Russia
[2] Interregional public organization “Union for Conservation of Nature”, Saint-Petersburg, Russia

The UN General Assembly declared 2021–2030 the “Decade of Ecosystem Restoration to Achieve the SDGs,” which means the need to unleash, strengthen and maintain the potential of soils not only for food production, but also for the conservation of water resources, biodiversity and the biosphere as a whole, reducing carbon emissions, increasing resilience in the face of climate change.

Soil enters into the composition of all terrestrial ecosystems of a certain hierarchical level as a mandatory and irreplaceable subsystem or component. Russia has the largest soil cover area of approximately 14.5 million km^2 – one sixth of the planet. The global importance of the country’s unique soil resources is increasing due to global processes of soil degradation and loss, as well as the impossibility of the soil cover of the world to carry out biospheric functions in the same volume.

The authors have analyzed the legal framework for the implementation of sustainable development goals, taking into account the state of soils in Russia. There have been found no documents determining how much soil resources the country requires to conduct modern agricultural production and fulfill the SDGs. The lack of understandable, clear and long-term land policy leads to a lack of complete and objective information about the condition and fertility of soils used in agriculture.

The monitoring being carried out at present does not provide monitoring of land plots and crop rotation fields as a production resource. It does not include a number of parameters characterizing soil fertility, which are essential for agricultural production.

To implement the provisions of the concept of sustainable development, it is necessary, first of all, to introduce a full-fledged, scientifically based and legal (legally significant), general legal, accurate, unambiguous, definite, well-established, non-contextual definition of soil and its fertility as a fundamental unique property into the federal legislation.

Soils, their condition and fertility should be among the mandatory criteria for the effectiveness of land policy and land management, which, in turn, should be defined as a set of measures for studying the state of soils, planning and organizing their rational use and protection.

Ensuring national, environmental, economic and food security has interconnected goals. Sustainable development implies "climate neutral" agriculture, where reproduction of soil fertility is necessarily ensured, their degradation being completely excluded.

Keywords: soil, fertility, cover, land, reclamation, legislation.

For citation: *Khomyakov D.M., Tarbaeva V.M.* Legal Basis for the Rational Use and Protection of Soils: Current Situation and Proposed Regulatore Measures. Gidrometeorologiya i Ekologiya. Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 127—141. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-127-141

Введение

В основе стратегического направления «устойчивого развития» лежит базовый принцип — улучшение качества жизни человека без разрушения природной среды (биосферы). ООН сформулировала 17 основных целей устойчивого развития (ЦУР) в период до 2030 г. Международная группа по ресурсам (IRP) была организована Программой ООН по окружающей среде (UNEP, ЮНЕП) для проведения исследований в области рационального и безопасного использования природных ресурсов. В недавно опубликованном документе «Восстановление земель и почв для достижения целей устойчивого развития. Международная ресурсная панель» (2019) показано, что восстановление земель, сохранение ландшафтов, поддержание плодородия почв, их рекультивация и реабилитация являются основой и входят во все без исключения ЦУР. Лицам, принимающим решения (ЛПР), необходимо понимать, что в сложной эколого-экономической и социальной системе все компоненты (подсистемы) взаимосвязаны [1]. Генеральная Ассамблея ООН 1 марта 2019 г объявила 2021—2030 годы как «Десятилетие восстановления экосистем для достижения ЦУР». Следует отметить, что *почва входит в состав всех наземных экосистем определенного иерархического уровня в качестве неотъемлемой, обязательной и незаменимой подсистемы или компонента.*

Почвы с их плодородием правомочно отнести к критически важным невозобновляемым ресурсам. Для реализации устойчивого управления ими в 2012 г. совет ФАО (FAO) ООН учредил Глобальное почвенное партнерство (GSP), которое с помощью научно-консультативного органа Межправительственной технической группы по почвам осуществило пересмотр Всемирной хартии почв (SWC) — политического документа, принятого Конференцией ФАО еще в ноябре 1981 г.

Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных наций (ФАО) подготовлен доклад «Состояние мировых почвенных ресурсов: основной отчет» (SWSR). Он содержит описание и рейтинг десяти основных угроз для почв, которые отражаются на функциях экосистем в глобальном масштабе и

в каждом отдельном регионе. В докладе описаны прямые и косвенные нагрузки на почвы, а также пути и средства борьбы с их деградацией [2]. В развитие этого направления провозглашены «Добровольные руководящие принципы рационального использования почвенных ресурсов» (утверждены 155-й сессией Совета ФАО, Рим, 5 декабря 2016 г.). Ставится глобальная задача — раскрыть, укрепить и поддерживать потенциал почв не только для производства продуктов питания, но и для сохранения водных ресурсов, биоразнообразия, сокращения выбросов углерода, повышения устойчивости в условиях изменения климата [3].

ЮНЕП выдвинула концепцию «безопасного рабочего пространства» (БРП) — использование для нужд потребления не более 0,20 га пахотных почв на человека к 2030 г. Установлен мировой предел площади пахотных почв — 1640 млн га. Превышение норматива причинит необратимый ущерб в виде сокращения биоразнообразия, высвобождения двуокиси углерода, нарушения круговорота воды и питательных веществ. Среди предлагаемых мер: мониторинг стран в части землепользования; интенсификация сельскохозяйственного производства экологически и социально приемлемыми способами; инвестиции в восстановление деградированных почв и ландшафтов; планирование землепользования и совершенствование землеустройства; минимизация расширения селитебных территорий за счет плодородных почв и др. [4].

Россия — самое большое в мире государство, расположенное на двух континентах. Площадь ее территории составляет 17,1 млн км^2 (почти вдвое больше территории США, Китая или Канады), и площадь почвенного покрова максимальна по сравнению с другими странами — примерно 14,5 млн км^2, что составляет одну шестую всего почвенного покрова планеты. Общемировое значение почвенных ресурсов страны возрастает в связи с глобальными процессами их деградации и утраты, а также невозможности осуществления почвенным покровом биосферных функций в прежнем объеме.

Исключение из правового рассмотрения «почвы» и «почвенного покрова» (почвенной оболочки Земли) как составной и неотъемлемой части биосферы — «геодермы» или «педосферы» — не позволит обеспечить устойчивое развитие страны, национальную, экологическую и продовольственную безопасность. Фундаментальные результаты отечественных почвоведов по определению экологических функций почвы и выделение ее как незаменимого компонента окружающей среды ([5—11] и др.) пока не нашли должного отражения в нормативных правовых документах, регламентах и хозяйственной деятельности на практике.

В научных исследованиях специалистов в области экологического права и земельных отношений корректный согласованный подход по вопросам экологически обусловленного землеустройства как мероприятия в области обеспечения экологической безопасности, рационального использования и охраны почв в контексте развития природно-территориальных комплексов (ПТК) различного уровня до сих пор не выработан ([12—20] и др.).

В связи с этим целью настоящей работы является выявление роли и места почвы в существующей нормативной правовой базе в области земельных отношений, землепользования, оценки плодородия почв и охраны окружающей среды.

Методология проведения работы заключается в сборе, обобщении, анализе и оценке аналитических и теоретических исследований, а также нормативных правовых актов и документов.

Результаты исследований

Правовые основы реализации ЦУР с учетом состояния почв. Были проанализированы более 300 нормативных правовых актов и документов.

Гражданский кодекс РФ (часть 1) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 03.07.2019) в статье 261 определил земельный участок как «объект права собственности. Если иное не установлено законом, право собственности на земельный участок распространяется на находящиеся в границах этого участка поверхностный ***(почвенный)*** слой и водные объекты, находящиеся на нем растения» (п. 2). Собственник земельного участка вправе использовать по своему усмотрению все, что находится над и под поверхностью этого участка, если иное не предусмотрено законами о недрах, об использовании воздушного пространства, иными законами и не нарушает прав других лиц (п. 3).

Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 02.08.2019) «О недрах» гласит: «недра являются частью земной коры, расположенной ниже ***почвенного*** слоя, а при его отсутствии — ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения».

В федеральном законе от 13.07.2015 № 218-ФЗ (ред. от 02.08.2019) «О государственной регистрации недвижимости» (с изм. и доп., вступ. в силу с 23.01.2020), предусматривающем ведение единого государственного реестра недвижимости, слово «почва» отсутствует вовсе, а земельный участок — это вид объекта недвижимости.

В кадастр недвижимости (ст. 8, п. 5) дополнительно вносится ряд сведений. Список включает сведения о лесах, водных объектах и об иных природных объектах, расположенных в пределах земельного участка, если объектом недвижимости является земельный участок; категория земель, к которой отнесен земельный участок, если объектом недвижимости является земельный участок; вид или виды разрешенного использования земельного участка, здания, сооружения, помещения; сведения о том, что земельный участок полностью или частично расположен в границах зоны с особыми условиями использования территории или территории объекта культурного наследия, в границах публичного сервитута, включая ограничения по использованию земельного участка, установленные для такой зоны, территории или в связи с установлением публичного сервитута; сведения о том, что земельный участок расположен в границах особо охраняемой природной территории, охотничьих угодий, лесничеств; сведения о результатах проведения государственного земельного надзора.

В «Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 27.12.2019) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2020) с момента вступления в силу его первой редакции за 19 лет более 130 федеральными законами внесено свыше 270 существенных изменений и дополнений; добавлены или удалены главы, статьи, пункты; осуществлены новые редакции (112).

В действующей редакции (ст. 6, п. 3) объектами земельных отношений являются: 1) земля как природный объект и природный ресурс; 2) земельные участки; 3) части земельных участков.

Земельный участок как объект права собственности и иных предусмотренных настоящим кодексом прав на землю является недвижимой вещью, которая представляет собой «часть земной поверхности и имеет характеристики, позволяющие определить ее в качестве индивидуально определенной вещи. В случаях и в порядке, которые установлены федеральным законом, могут создаваться искусственные земельные участки».

Таким образом, прослеживается четкая тенденция исключения вопросов, связанных с сущностью почвы как природного объекта, компонента окружающей среды (биосферы) и незаменимого ресурса.

Целями охраны земель (ст. 12) являются предотвращение и ликвидация загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения земель и ***почв*** и иного негативного воздействия на земли и ***почвы***, а также обеспечение рационального использования земель, в том числе для восстановления плодородия ***почв*** на землях сельскохозяйственного назначения и улучшения земель.

В этой статье впервые появляется термин «почва», который, как видно из контекста, не адекватен термину «земля». Что стоит за данными понятиями?

«Модельный закон об охране почв» (принят в Санкт-Петербурге 31.10.2007 Постановлением 29-16 на 29-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств — участников СНГ) призван регулировать отношения, возникающие при реализации государственной политики по охране почв, при осуществлении государственного контроля за состоянием почв, соблюдением субъектами хозяйственной и иной деятельности требований по предупреждению загрязнения, деградации почв, сохранению и восстановлению почв и их плодородного слоя.

В этом законе (ст. 2) используются следующие понятия:

— почвы — естественный или измененный в результате хозяйственной и иной деятельности поверхностный слой земли, состоящий из минеральных и органических веществ, воды, воздуха, почвенных организмов и продуктов их жизнедеятельности, обладающий плодородием, структурой и свойствами, необходимыми для существования растений и животных, жизнеобеспечения и деятельности человека;

— состояние почв — совокупность показателей, характеризующих состав, строение и свойства почв;

— качество почв — совокупность свойств почв, определяющая характер и эффективность участия почв в обеспечении благоприятной среды для обитания человека, растений и животных.

Данный документ в национальной правовой системе не является обязательным к использованию.

Федеральный закон от 21.07.2014 № 206-ФЗ (ред. от 23.04.2018) «О карантине растений» определил: «***почва*** — компонент природной среды, состоящий из минеральных и органических частей, которые обеспечивают жизнедеятельность растений». К понятию «почва» не относятся торф, песок, грунт глубокого

залегания, компост, а также искусственно созданная среда обитания растений (ст. 2, п. 32). В данной статье приводится определение почвы, являющейся, согласно п. 29 ст. 2, элементом подкарантинной продукции.

Приказ Минприроды России от 11.07.2018 № 316 «О внесении изменений в Методику исчисления вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденную приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238». Настоящей Методикой исчисляется в стоимостной форме размер вреда, причиненный ***почвам*** как компоненту природной среды, сформировавшемуся на поверхности земли, состоящему из минеральных веществ горной породы, подстилающей почву, органических веществ, образовавшихся при разложении отмерших остатков животных и растений, воды, воздуха, живых организмов и продуктов их жизнедеятельности, обладающему плодородием, в результате их загрязнения, порчи, уничтожения плодородного слоя ***почвы***.

Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020) (далее ФЗ «Об ООС») в статье 1 ввел следующие понятия:

— «природная среда (далее также природа) — совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов;

— компоненты природной среды — земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле.

Там же указано, что природный ландшафт — территория, которая не подверглась изменению в результате хозяйственной и иной деятельности и характеризуется сочетанием определенных типов рельефа местности, ***почв,*** растительности, сформированных в единых климатических условиях».

В тексте упоминаются «земля» и «почвы», но при этом содержание их не раскрыто. Присутствуют термины «почвенный покров» (ст. 16.3, п. 6 и ст. 62.1, п. 3.1), «плодородный слой почв» (ст. 40, п. 3).

«Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения ***почвы*** подлежат охране государством, и в целях их учета и охраны учреждаются Красная книга почв Российской Федерации и красные книги почв субъектов РФ, порядок ведения которых определяется законодательством об охране почв» (ст. 62, п. 1).

Порядок отнесения ***почв*** к редким и находящимся под угрозой исчезновения, а также порядок установления режимов использования земельных участков, ***почвы*** которых отнесены к редким и находящимся под угрозой исчезновения, определяется законодательством (ст. 62, п. 2).

Однако, не определив, что есть почва, исполнить данные положения невозможно.

Задачами единой системы государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) являются: регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами,

явлениями, изменениями состояния окружающей среды; хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды; анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений (ст. 63.1, п. 2).

В Распоряжении Правительства РФ от 30.07.2010 № 1292-р (ред. от 30.05.2014) «Об утверждении Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года» (далее — Концепция) говорится, что в настоящее время в большинстве субъектов РФ «продолжается снижение ***плодородия почв***. Ухудшается состояние земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства. ***Почвенный покров,*** особенно сельскохозяйственных угодий, подвержен деградации и загрязнению, теряет устойчивость к разрушению, способность к восстановлению свойств и воспроизводству плодородия».

В Концепции отмечается, что проводимый в настоящее время мониторинг пока не обеспечивает наблюдения за земельными участками и полями севооборота как производственным ресурсом. Он не осуществляется по ряду параметров, характеризующих плодородие почв, имеющих существенное значение для сельскохозяйственного производства.

Согласно приказу Минсельхоза России от 24.12.2015 № 664 «Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения», он представляет собой систему оперативных, периодических и базовых (исходных) наблюдений за изменением качественного и количественного состояния таких земель, в том числе мониторинг их плодородия. Он подразделяется на мониторинг использования земель и мониторинг состояния земель.

В рамках такого мониторинга осуществляются (*вернее, должны осуществляться*): выявление изменений состояния земель; оценка качественного их состояния с учетом воздействия природных и антропогенных факторов; оценка и прогнозирование развития негативных процессов, обусловленных природными и антропогенными воздействиями; разработка предложений о предотвращении негативного воздействия на земли, об устранении последствий такого воздействия; обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и граждан информацией о состоянии окружающей среды в части состояния земель.

Почва в агропроизводстве. При эксплуатации объектов сельскохозяйственного назначения должны соблюдаться требования в области охраны окружающей среды, проводиться мероприятия по охране земель, *почв*, водных объектов, растений, животных и других организмов от негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду (№7-ФЗ «Об ООС», ст. 42, п. 1).

Существует позитивный опыт решения перечисленных выше задач. Считаем целесообразным процитировать Постановление Правительства РФ от 20.02.2006

№ 99 (ред. от 27.12.2012) «О федеральной целевой программе «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006—2010 годы и на период до 2013 года».

«Повышение ***плодородия почв*** земель сельскохозяйственного назначения является естественным условием интенсификации земледелия, способствует росту урожайности, увеличивает ценность земли и имеет важное природоохранное значение.

Программа должна создать благоприятные условия для функционирования агропромышленного комплекса Российской Федерации, наиболее полного и рационального использования природно-климатического и экономического потенциала, направленного на повышение продуктивности отечественного сельскохозяйственного производства, его экологизацию в целях обеспечения населения страны качественным продовольствием и улучшения социальной обстановки и жизни на селе, включая сохранение существующих и создание новых рабочих мест. В настоящее время назрела необходимость:

— освоения современных систем земледелия и землеустройства с учетом перспективы развития земель сельскохозяйственного назначения;

— проведения комплекса агрохимических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования удобрений и мелиорантов в сельском хозяйстве;

— выполнения гидромелиоративных, культуртехнических, противоэрозионных мероприятий и работ по реабилитации нарушенных земель;

— осуществления агролесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий.

Программа предусматривает проведение комплекса взаимосвязанных технических, организационных, экологических, технологических и хозяйственных мероприятий с соответствующим финансовым, материально-техническим, научным и информационным обеспечением при условии соблюдения законодательства Российской Федерации.

Без проведения комплекса мероприятий, предусмотренных Программой, произойдет снижение ***плодородия почв*** земель сельскохозяйственного назначения и урожайности до естественного (природного) уровня» (конец цитаты).

К сожалению, поставленные задачи не были выполнены в полном объеме, а программа не стала продлеваться.

Анализируя основные положения Концепции в отношении почв и их плодородия, можно заключить, что данный документ мог бы вполне быть взят за основу для подготовки новых нормативных правовых актов, поскольку содержит системное научно обоснованное рассмотрение проблем и потребностей для устойчивого развития «климатически нейтрального» сельского хозяйства.

Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ (ред. от 05.04.2016) «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», где даже в названии не присутствует термин «почва», в статье 1 легализовал абсолютно некорректный с научной и концептуальной точки зрения

тезис: «Плодородие земель сельскохозяйственного назначения — способность ***почвы*** удовлетворять потребность сельскохозяйственных культурных растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай сельскохозяйственных культурных растений».

В этом же законе указано, что «воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения — сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством систематического проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий».

Общеизвестно, что *плодородием могут обладать только почвы, а не земли. Воспроизводство плодородия подразумевает некую систему действий и мероприятий, но они не могут быть определены, по сути, без экспертизы специалистами для каждого конкретного случая, создания соответствующего проекта, и то, если уже имеются научно обоснованные по результатам проведенных агрономических экспериментов и утвержденные технологии. Открытый список в данном вопросе — «и иных» — абсолютно недопустим.*

Рассмотрим положения статьи 8 рассматриваемого закона. «Собственники, владельцы, пользователи, в том числе арендаторы, земельных участков обязаны:

— осуществлять производство сельскохозяйственной продукции способами, обеспечивающими воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также исключающими или ограничивающими неблагоприятное воздействие такой деятельности на окружающую среду (*сразу возникает вопрос: какими способами, кто и как их устанавливает? — Прим. авт.*);

— соблюдать нормы и правила в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения (*вопрос: какие, кто и как их устанавливает? — Прим. авт.*);

— представлять в установленном порядке в соответствующие органы исполнительной власти сведения об использовании агрохимикатов и пестицидов; содействовать проведению ***почвенного,*** агрохимического, фитосанитарного и эколого-токсикологического обследований земель сельскохозяйственного назначения».

Статья 43 №7-ФЗ «Об ООС» гласит, что «при осуществлении мелиорации земель, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений должны приниматься меры по охране водных объектов, земель, ***почв,*** лесов и иной растительности, животных и других организмов, а также предупреждению другого негативного воздействия на окружающую среду при осуществлении мелиоративных мероприятий».

Федеральный закон от 10.01.1996 № 4-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «О мелиорации земель», в статье 1 установил, что она осуществляется в целях повышения продуктивности и устойчивости земледелия, обеспечения гарантированного производства сельскохозяйственной продукции на основе сохранения и повышения плодородия земель, а также создания необходимых условий для вовлечения

в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых и малопродуктивных земель и формирования рациональной структуры земельных угодий.

В статье 2 даются следующие определения: «мелиорируемые земли: земли, недостаточное плодородие которых улучшается с помощью осуществления мелиоративных мероприятий; земли, на которых проведены мелиоративные мероприятия.

Мелиорация земель — коренное улучшение земель путем проведения гидротехнических, культуртехнических, химических, противоэрозионных, агролесомелиоративных, агротехнических и других мелиоративных мероприятий. Сами мелиоративные мероприятия включают проведение работ по улучшению химических и физических свойств ***почв***».

В данном законе снова присутствует некорректный термин «плодородие земель», сама же мелиорация реально относится к почвам, поскольку предусматривает улучшение их состояния и повышение плодородия. Следуя формальной логике, любые пахотные почвы, где используются современные ландшафтно-адаптивные (или почвозащитные рациональные) системы земледелия и кормопроизводства — мелиорированные (улучшенные), т. е. обладают в результате применения агротехнологий и организации территории более высокими показателями плодородия и обеспечивают прибавку урожаев выращиваемых сельскохозяйственных культур. Для этого достаточно обратиться к введенному в действие с 01.07.2019 ГОСТ Р 58330.2-2018 «Национальный стандарт РФ. Мелиорация. Виды мелиоративных мероприятий и работ. Классификация» (утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта от 25.12.2018 № 1143-ст).

Далее по тексту рассматриваемого закона № 4-ФЗ термин «почва» упоминается в ряде статей: защита ***почв*** от водной эрозии, предотвращение деградации и эрозии ***почв*** (ст. 2, ст. 7), ***почвозащитные*** функции (ст. 2), питательный режим почв (ст. 6, ст. 30), мелиоративная обработка ***солонцов***; рыхление, пескование, глинование, землевание, плантаж и первичная обработка ***почвы*** (ст. 8).

Статью 9 приведем полностью: «Химическая мелиорация земель состоит в проведении комплекса мелиоративных мероприятий по улучшению химических и физических свойств ***почв***. Химическая мелиорация земель включает в себя известкование ***почв***, фосфоритование ***почв*** и гипсование ***почв***». Понятно, что термин «земля» здесь излишен и не нужен.

К проведению мелиоративных мероприятий предъявляются экологические требования. Их осуществление не должно приводить к ухудшению состояния окружающей среды (ст. 32), они производятся с соблюдением требований земельного, водного, лесного законодательства, а также законодательства РФ об охране окружающей среды, недрах, растительном и животном мире.

Государственный мониторинг мелиорированных земель представляет собой систему наблюдений за их состоянием. На основе результатов дается оценка изменений. Объектами являются все мелиорированные земли в РФ (ст. 21).

Остается открытым вопрос о порядке отнесения земельных участков к мелиорируемым землям, их предоставления для проведения мелиоративных мероприятий.

«Мелиорация земель проводится на основе проектов, разработанных в соответствии с технико-экономическими обоснованиями и учитывающих строительные, экологические, санитарные и иные нормы и правила» (ст. 25). Для осуществления этих действий, несомненно, нужны цифровые геопространственные данные, электронные карты с геодезической точностью, включающие информацию о почвенном покрове и особенностях его функционирования. В идеале должны быть в наличии 2-d, а где возможно и 3-d цифровые модели почв различного уровня и масштаба (локальные, региональные и т.д.).

В Приказе Минсельхоза России от 15.05.2019 № 255 «Об утверждении Порядка разработки, согласования и утверждения проектов мелиорации земель» упоминаются некие «***почвенно-мелиоративные*** условия», использующиеся для обоснования необходимости проведения выбранного вида мелиорации и при подготовке проекта. В иных нормативных документах этот термин не найден.

Землеустройство — основа территориального планирования и рационального использования почв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 03.03.2012 № 297-р (ред. от 28.08.2014) утверждены «Основы государственной политики использования земельного фонда РФ на 2012—2020 годы». Целями государственной политики по управлению земельным фондом являются повышение эффективности использования земель, охрана земель как основного компонента окружающей среды и главного средства производства в сельском хозяйстве при обеспечении продовольственной безопасности страны. *Итоги реализации данного документа пока не подведены, «почва» и «почвенные ресурсы» в нем не упоминаются.*

Федеральный закон от 18.06.2001 № 78-ФЗ «О землеустройстве» (ред. от 03.08.2018) (далее ФЗ «О землеустройстве») начал действовать с 23.06.2001. С момента вступления в силу первой редакции (сейчас уже восьмая) десятью федеральными законами были внесены изменения и дополнения, добавлены или удалены главы, статьи, пункты. *В настоящее время закон фактически не работает.*

В Распоряжении Правительства РФ от 08.11.2018 г. № 2413-р «Об утверждении плана мероприятий по совершенствованию правового регулирования земельных отношений» содержится список и график разработки и принятия нормативных правовых актов, предусматривающих: создание единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения; проведение инвентаризации и паспортизации участков; разработка новой редакции Закона о землеустройстве; увеличение доли мелиорируемых земель в составе сельхозугодий; переход от деления земель на категории к территориальному зонированию; утверждение критериев ненадлежащего использования сельскохозяйственных земель для каждого вида угодий; обеспечение защиты от произвольного и (или) необоснованного изменения видов разрешенного использования земельных участков.

В плане мероприятием № 19 предусмотрено в срок до августа 2019 г. «введение института паспортизации земельных участков из состава земель сельскохозяйственного назначения, обеспечивающего учет сведений о состоянии и свойствах их ***почвы***». *Это положение на сегодняшний день не реализовано и в свете изложенного выше не может быть осуществлено корректно.*

Выводы

Сложившееся правовое регулирование не дает четкого и понятного представления о месте почв, почвенного покрова и почвенных ресурсов в организации землепользования и реализации земельной политики с учетом требований ЦУР.

В результате проведенного анализа сформулированы следующие научно обоснованные предложения.

• Необходимо корректно определить виды разрешенного использования почв сельскохозяйственных угодий, являющихся самой важной частью земель сельскохозяйственного назначения, а также смысловое содержание терминов: «целевое» и «разрешенное», «ущерб» и «вред» окружающей среде, «рациональное использование почв», «существенное снижение плодородия».

• Для сельскохозяйственного производства должна производиться классификация и группировка именно почв, а не земель. Плодородие — свойство, присущее только почвам. Это требует принципиально новой методологии и наборов методик исследования, основанных на получении, накоплении, проверке и алгоритмах использования массивов цифровых геопространственных данных о состоянии почвенного покрова.

• Государственная агрохимическая служба страны могла бы стать почвенно-агрохимической и осуществлять, в частности, весь комплекс работ по проведению экологического мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения, в первую очередь пахотных почв и почв сельскохозяйственных угодий.

• Почвы, их характеристики и плодородие должны быть в числе обязательных критериев эффективности осуществления всех мероприятий по землеустройству. Для реализации рассмотренных выше правовых норм, а также их совершенствования с учетом ЦУР необходимо устранить имеющийся пробел, а именно ввести в российское право полноценное, научно обоснованное и легальное (юридически значимое), общеправовое, точное, однозначное, дефинированное, устоявшееся, неконтекстное определение почвы и ее плодородия как фундаментального уникального свойства.

• Землеустройство может быть определено, как комплекс мероприятий по изучению состояния почв, планированию и организации рационального их использования и охраны, описанию местоположения и (или) установлению на местности границ объектов землеустройства, организации рационального (по разработанному, согласованному и утвержденному проекту) использования гражданами и юридическими лицами земельных участков для осуществления сельскохозяйственного производства.

• Неоднородность почвенного покрова, климата, агрометеорологических характеристик обусловливают невозможность введения универсальных сельскохозяйственных регламентов. Между тем существует большой опыт в создании зональных и региональных адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) с контурно-мелиоративной организацией территории (внутрихозяйственным землеустройством), что позволяет эффективно и бережно использовать имеющиеся природные ресурсы (почву, влагу и др.).

Список литературы

1. IRP (2019). Land Restoration for Achieving the Sustainable Development Goals: An International Resource Panel Think Piece. Nairobi: United Nations Environment Programme, UNESCO, 2019. 139 p. Режим доступа: https://www.resourcepanel.org/file/1272/download?token=guufxUz3 Дата обращения: 31.01.2020.
2. Status of the World's Soil Resources: Main Report / Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, 2015. 650 p. Режим доступа: http://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf Дата обращения: 31.01.2020.
3. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2017. 26 p. Режим доступа: http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf Дата обращения: 31.01.2020.
4. Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel / S. Bringezu et al. Paris: UNEP, 2014. 132 p. Режим доступа: https://reliefweb.int/report/world/assessing-global-land-use-balancing-consumption-sustainable-supply. Дата обращения: 31.01.2020.
5. *Ковда В.А.* Патология почв и охрана биосферы планеты // Биосфера. 2011. Т. 3, № 4. С. 532—547.
6. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход. М: Наука, МАИК «Наука / Интерпериодика», 2000. 185 с.
7. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экология почв. Учение об экологических функциях почв. Учебник. М: изд-во МГУ, Наука, 2006. 364 с.
8. *Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А.* Геосферы и педосфера. М: ГЕОС, 2010. 190 с.
9. *Хазиев Ф.Х.* Почва и экология // Вестник Академии наук РБ. 2017. Т. 24, № 3 (87). С. 29—38.
10. *Харькина М.А.* Почвенное плодородие и его роль в поддержании жизни на Земле // Энергия, экономика, техника, экология. 2017. № 7. С. 68—74.
11. *Титова В.И.* Подходы к выбору показателей и опыт оценки способности почвенного покрова к выполнению общебиосферных функций (аналитический обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67, № 6. С. 4—16.
12. *Нестерова О.В., Семаль В.А., Трегубова В.Г.* Правовое и организационное совершенствование механизмов сохранения плодородия почв и земель Российской Федерации (на примере Дальнего Востока) // Почвоведение. 2016. № 6. С. 765—772.
13. *Рожик И.Ф.* Правовое регулирование восстановления плодородия почв // Аграрное и земельное право. 2016. № 10. С. 84—95.
14. *Ведышева Н.О.* Проблемы охраны земель сельскохозяйственного назначения на современном этапе // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МПОА). 2017. № 2. С. 61—64.
15. *Волков С.Н., Липски С.А.* О мерах по обеспечению рационального использования земель в сельскохозяйственном производстве и воспроизводства их плодородия // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 6. С. 10—13.
16. *Кодолова А.В.* Особенности возмещения вреда, причиненного почвам, в натуральной форме: обзор судебной практики // Хозяйство и право. 2017. № 3. С. 122—128.
17. *Самончик О.А.* Правовое обеспечение рационального использования земель как компонента устойчивого развития сельских территорий // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МПОА). 2019. № 1. С. 92—101.
18. *Фаткулина А.В.* Экологическая безопасность при землепользовании // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2019. № 10. С. 54—58.
19. *Хабаров Д.А., Валиев Д.С., Хабарова И.А.* Теоретические основы организации рационального использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 1. С. 5—7.
20. *Чуков С.Н., Яковлев А.С.* Категории почвы и земли в современном законодательстве России // Почвоведение. 2019. № 7. С. 891—898. doi: 10.1134/S0032180X19070025

Reference

1. IRP (2019). Land Restoration for Achieving the Sustainable Development Goals: An International Resource Panel Think Piece. Nairobi: United Nations Environment Programme. UNESCO. 2019: 139.
2. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome. 2015: 650.
3. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2017: 26.
4. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O´Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilling M., and Herrick J. Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Paris, UNEP. 2014: 132.
5. *Kovda V.A.* Soil pathology and planetary biosphere conservation. *Biosphera.* Interdisciplinary scientific and applied journal "Biosphere". 2011 (3), 4: 532-547. [In Russian].
6. *Dobrovolsky G.V., Nikitin E.D. Sokhraneniye pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery: funktsional'no-ekologicheskiy podkhod: funktsional'no-ekologicheskiy podkhod.* Soil conservation as an indispensable component of the biosphere: Functional-ecological approach. Moscow, Science; MAIK "Science / Interperiodics", 2000: 185 p. [In Russian].
7. *Dobrovolsky G.V., Nikitin E.D. Ekologiya pochv. Ucheniye ob ekologicheskikh funktsiyakh pochv.* Ecology of soils. The doctrine of the ecological functions of soils: a textbook. Moscow: Publishing house of Moscow State University; Nauka, 2006: 364 p. [In Russian].
8. *Dobrovolsky G.V., Karpachevsky L.O., Kriksunov E.A. Geosfery i pedosfera.* Geosphere and pedosphere. Moscow: GEOS, 2010: 190 p. [In Russian].
9. *Khaziev F.Kh.* Soil and Ecology. *Bulleten Akademii Nauk Respubliki Belerusi.* Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus. 2017 (24), 3 (87): 29-38. [In Russian].
10. *Kharkina M.A.* Soil fertility and its role in maintaining life on Earth. *Energia, Economika, Technologia, Ecologia.* Energy, Economics, Technology, Ecology. 2017. 7: 68-74. [In Russian].
11. *Titova V.I.* Approaches to the selection of indicators and the experience of assessing the ability of soil cover to perform common biosphere functions (analytical review). *Agrarnaya nauka Evropeiskogo Severo-Vostoka.* Agricultural Science of the Euro-North-East. 2018 (67). 6: 4-6. [In Russian].
12. *Nesterova O.V., Semal V.A., Tregubova V.G.* Legal and organizational improvement of conservation mechanisms of soil and land fertility of the Russian Federation (by the example of the Far East). *Pochvovedenie.* Soil science. 2016. 6: 765-772. [In Russian].
13. *Rozhik I.F.* Legal regulation of restoration of soil fertility. *Agrarnoe I Zemelnoye pravo.* Agricultural and land law. 2016. 10: 84-95. [In Russian].
14. *Vedysheva N.O.* Problems of agricultural land protection at the present stage. *Vestnik Universiteta im. O.E. Kutafina*. Bulletin of the University. O.E. Kutafina (MPOA). 2017. 2: 61-64. [In Russian].
15. *Volkov S.N., Lipsky S.A*. About measures to ensure the rational use of land in agricultural production and the reproduction of their fertility. *Mezhdunarodny selskokhozyaistvenny zhurnal.* International Agricultural Journal. 2017. 6: 10-13. [In Russian].
16. *Kodolova A.V*. Features of compensation for harm caused to soils in kind: a review of judicial practice. *Khozyaistvo i Pravo*. Economy and Law. 2017. 3: 122-128. [In Russian].
17. *Samonchik O.A.* Legal support of rational use of land as a component of sustainable development of rural territories. *Vestnik Universiteta im. O.E. Kutafina*. Bulletin of the University. O.E. Kutafina (MPOA). 2019. 1: 92-101. [In Russian].
18. *Fatkulina A.V.* Environmental safety in land use. *Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel.* Land management, cadastre and land monitoring. 2019. 10: 54-58. [In Russian].
19. *Khabarov D.A., Valiev D.S., Khabarova I.A*. Theoretical Foundations of the Organization of the Rational Use and Protection of Agricultural Land. *Mezhdunarodny selskokhozyaistvenny zhurnal*. International Agricultural Journal. 2019. 1: 5-7. [In Russian].
20. *Chukov S.N., Yakovlev A.S.* Categories of soil and land in the modern legislation of Russia. *Pochvovedenie.* Soil Science. 2019. 7: 891-898. [In Russian].

Статья поступила 10.02.2020
Принята после доработки в печать 05.03.2020

Сведения об авторах

Хомяков Дмитрий Михайлович, канд. биол. наук, д-р техн. наук, профессор, факультет почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», заведующий кафедрой агроинформатики, e-mail: khom@soil.msu.ru

Тарбаева Вероника Михайловна, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. (РАЕН), академик РЭА, председатель Центрального совета Межрегиональной общественной организации «Природоохранный союз», член Научно-технического совета и Экспертного совета по нацпроекту «Экология» при Минприроды РФ, e-mail: prirodasouz@yandex.ru

Information about authors

Khomiakov Dmitrii Mikhailovich, PhD (Tech. Sci.), Professor, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Head of the Agroinformatics Department

Tarbaeva Veronica, Dr. Biol. Sci., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of the Russian Ecological Academy, Chairman of the Central Council of the Interregional Public Organization “Union for Conservation of Nature”, member of the Scientific and Technical Council and the Expert Council on the National Project “Ecology” under the Ministry of Natural Resources of the Russia.

УДК 001.3(09)(470.23-25) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-142-155

ВКЛАД УЧЕНЫХ ВУЗОВ ЛЕНИНГРАДА В РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 1950—1970-е ГОДЫ: СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

И.А. Кольцов

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, kafedra_sgn@rshu.ru

Рассматривается вклад ученых вузов Ленинграда в развитие научно-технического потенциала Российский Федерации в 1950—1970-е годы. Подчеркивается роль созданных новых научных подразделений в вузах в решении актуальных научно-технических проблем. Приводятся сведения об основных направлениях научных исследований, укреплении связей вузовской науки с производством и экономической эффективности ее результатов. Анализируются недостатки в организации и проведении научно-исследовательских работ, замедленного внедрения достижений ученых в народное хозяйство.

Ключевые слова: научно-технический потенциал, вузы, ученый, Российская Федерация, лаборатория, творческое содружество, Ленинград.

THE CONTRIBUTION OF SCIENTISTS FROM LENINGRAD UNIVERSITIES TO THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL POTENTIAL OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE 1950—1970-s: PAGES OF HISTORY

I.A. Koltsov

Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

In the 1950s - 1970s, the most important organizational form of higher education science was research institutes attached to higher education institutions. Having appeared in the 1920s, it proved effective.

The first thematic laboratories were organized in Leningrad in 1956 at the Polytechnic Institute by Professor B.P. Konstantinov (who later became an academician) and the Electrotechnical Institute named after V.I. Ulyanov (Lenin) by Professor N.P. Bogoroditsky. The desire of scientists to increase efficiency of the research, to bring it closer to the practical needs of the national economy reflected in the organization of 13 research institutes at the Polytechnic Institute in 1963.

In the 1950s - 1960s, the Leningrad State University had the previously formed research institutes: the Institute of Mathematics and Mechanics, Physical, Chemical, Biological and Physiological institutes, the Institute of the Earth's Crust, the Geographical and Economic Institute. In 1959 – 1965, the University's scientists completed the research on 5,300 planned topics. They performed 3,017 separate experimental and theoretical research, prepared 785 textbooks and teaching aids, completed 543 dissertations, and conducted contractual work on 955 topics. Only in 1969, 3,500 research papers created by LSU scientists were published. Among them were 107 monographs and 74 textbooks.

Creative collaboration with industry workers was an integral part of the activities of the Leningrad State University's scientists. Many of the LSU collective's research were directly related to production needs.

In 1959, the collective of the Physical faculty concluded 32 contractual works and 19 agreements on creative cooperation with industrial enterprises. In 1963, they performed research on 60 contractual topics

for a total of 1,100,000 rubles, at the same time conducting 22 topics, provided by the agreements on the creative cooperation for a total amount of 1,300,000 rubles.

Keywords: scientific and technical potential, universities, scientist, Russian Federation, laboratory, creative community, Leningrad.

For citation: *I.A. Koltsov*. The Contribution of Scientists from Leningrad Universities to the Development of the Scientific and Technical Potential of the Russian Federation in the 1950–1970s: Pages of History *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 142—155. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-142-155

Введение

История отечественной науки неразрывно связана с деятельностью ученых высшей школы Санкт-Петербурга — Ленинграда. В вузах города на Неве трудились крупные ученые, которые добились выдающихся достижений в ведущих областях научно-технического прогресса. Профессора и преподаватели стремились сочетать обучение и воспитание специалистов с проведением научных исследований. Они рассматривали научную работу в вузах как одно из необходимых условий улучшения качества подготовки студентов. Большое внимание уделялось проблемам, касающихся организации науки в вузах, поиску новых, более совершенных ее форм, повышению эффективности исследований.

Целью настоящей статьи является показать на примере ведущих технических вузов Ленинграда процесс становления и развития главных форм организации науки, наиболее значительные достижения ученых по ведущим проблемам естественных и технических наук. Рассмотреть вопросы, связанные с развитием и укреплением творческого содружества деятелей науки с производством, экономической эффективности ее результатов. Выявить недостатки в организации и проведении научно-исследовательских работ, причины замедленного внедрения достижений ученых в народное хозяйство.

В процессе подготовки статьи автором были изучены документы, хранящиеся фондах Центрального государственного архива Санкт-Петербурга и Центрального государственного архива историко-политических документов Санкт-Петербурга (фонды ведущих технических вузов), а также опубликованные труды и материалы периодической печати по теме исследования. Изучение архивных и печатных источников позволяют сделать вывод: вклад ученых вузов Ленинграда в 1950—1970-е годы в значительной мере оказал влияние на развитие научно-технического потенциала Российской Федерации.

Создание в вузах Ленинграда новых научно-исследовательских институтов, проблемных, отраслевых и учебных лабораторий. Их роль в развитии научно-исследовательской деятельности и улучшении качества подготовки специалистов

Важнейшей организационной формой вузовской науки являлись научно-исследовательские институты при вузах. Эта форма возникла еще в 1920-е годы и оказалась эффективной.

В конце 1950-х — начале 1960-х годов в Университете работали сформировавшиеся ранее НИИ: Институт математики и механики, Физический, Химический, Биологический Физиологический институты, Институт земной коры, Географо-экономический. В рассматриваемый период укреплялась материально-техническая база научно-исследовательских институтов Университета: при них создавались новые лаборатории. В частности, в 1964 г. Биологический институт пополнился двумя новыми лабораториями — гидропоники и корневого питания, а в 1965 г. была организована лаборатория генетической минералогии [1].

В 1965 г. в Университете организуется первый в стране Научно-исследовательский институт комплексных социальных исследований, перед которым была поставлена задача всестороннего изучения проблемы «Человек и общество». С самого начала своей деятельности институт стал выполнять ответственные задачи, связанные с развитием Ленинграда, установил связи с рядом промышленных предприятий города [2].

Стремление ученых Политехнического института повысить эффективность исследований, приблизить их к практическим потребностям народного хозяйства выразилось в организации при этом вузе в 1963 г. 13 НИИ: машиностроения, физико-технических проблем электроэнергетики, процессов управления, автоматики и приборостроения, физико-технических проблем электроники, радиофизики и кибернетики, физики и ее применения, механики и математики, общей и технической химии, физико-химии и технологии неорганических материалов, физико-технических проблем гидротехники и гидроэнергетики, физико-технических проблем энергетического машиностроения, экономики, общественных наук. 12 научно-исследовательских институтов состояли при факультетах, один — при ректорате ЛПИ. Базой для создания институтов были кафедры и лаборатории вуза.

В 1965 г., через два года после их создания, ректор ЛПИ В.С. Смирнов отмечал: «Новые НИИ содействовали улучшению учебно-воспитательной работы вуза, вовлечению студентов и аспирантов в исследовательскую деятельность, укреплению связей ЛПИ с Академией наук, отраслевыми институтами и промышленными предприятиями. Так, план хоздоговорных научно-исследовательских работ в 1964 г. был выполнен на 103 %. Следует признать, что НИИ являются прогрессивной формой организации научно-исследовательских работ в крупных высших учебных заведениях» [3]. Через пять лет, в 1969 г., в работе НИИ принимало участие 750 преподавателей, в том числе 90 профессоров, 1200 научных сотрудников, более 200 аспирантов, 2000 студентов [4].

В первой половине 1960-х годов в созданном на общественных началах Институте авиационной метеорологии при Ленинградском гидрометеорологическом институте преподаватели кафедры климатологии разрабатывали вопросы изучения особенностей климатологии тропопаузы и стратосферы, имеющие актуальное значение в связи с выходом в ближайшие годы на линии гражданской авиации сверхзвуковых самолетов [5, с. 186]. В работе Института принимали участие заведующий кафедрой климатологии профессор В.М. Шапаев, доценты В.Ю. Милевский, А.В. Курбатова, З.А. Ульянова и другие преподаватели.

Среди вузов города, в состав которых входили научно-исследовательские институты, следует назвать Институт инженеров железнодорожного транспорта им. академика В.Н. Образцова. В 1963 г. в его ведение был передан Научно-исследовательский институт мостов [6]. В следующем, 1964 г. при ЛИИЖТе создается Общественный научно-исследовательский институт мостов, объединивший ученых вуза, инженерно-технических работников Октябрьской железной дороги, ВНИИЖТа и ряда других транспортных организаций [7, с. 36]. «Главная его цель — разрабатывать проблемы повышения скорости движения поездов», — писал в феврале 1965 г. проректор ЛИИЖТа М. М. Филиппов. Уже в 1969 г. его ученые проводили исследования по 50 направлениям, имевшим народнохозяйственное значение [8, с. 250].

Интенсивно развивались проблемные и отраслевые лаборатории вузов, создававшиеся во исполнение Постановления Совета Министров СССР «О мерах улучшения научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях», принятого в апреле 1956 г. В Постановлении отмечалось, что проблемные и отраслевые лаборатории должны стать «важным фактором активизации научной работы и совершенствования учебного процесса» [9].

Первые проблемные лаборатории были организованы в Ленинграде в 1956 г. в Политехническом институте профессором Б.П. Константиновым (впоследствии академик) и Электротехническом институте им. В.И. Ульянова (Ленина) профессором Н.П. Богородицким [10, с. 40].

В 1957—1959 гг. в Университете были созданы проблемные лаборатории: фотосинтеза, радиобиологии, химии белков, полупроводников, ядерной спектроскопии, химии природных соединений, вычислительный центр. В 1962 г. Университет пополнился проблемной лабораторией, предназначенной для разработки вопросов, касающихся применения математических методов и электронно-вычислительных машин в экономических исследованиях и планировании промышленности. Первыми научными руководителями лабораторий были академики А.Н. Теренин и А.А. Лебедев, члены-корреспонденты АН СССР Е.Ф. Гросс, Б.С. Джелепов, В.И. Старик, Г.Е. Владимиров. К началу 1970-х годов общая численность проблемных лабораторий Университета достигла десяти [11, с. 30].

Вопрос о развитии проблемных и отраслевых лабораторий обсуждался в марте 1962 г. в Политехническом институте. Проректор вуза Н.Х. Дьяченко говорил: «Создание этих лабораторий резко усилило всю научно-исследовательскую работу института» [12]. В 1960-е годы в ЛПИ продолжался интенсивный рост этих научных подразделений. В 1965—1970-х годах были организованы три отраслевые лаборатории: высоковольтного оборудования, электротехнических установок и бытовой техники. Всего к началу 1970-х годов ЛПИ имел шесть проблемных и 15 отраслевых лабораторий [13].

Одним из выражений процесса становления и развития Технологического института как учебно-научного центра явилось образование на его базе проблемных и отраслевых лабораторий. В 1958 г. начала работу проблемная лаборатория микроэлементов и веществ высокой степени частоты, которую возглавил профессор В.Б. Алесковский. В 1960 г. была организована проблемная лаборатория,

развернувшая с 1962 г. исследования в области радиационной химии. В 1961 г. в вузе функционировало 13 проблемных и отраслевых лабораторий. К 1965 г. в ЛТИ имелись девять проблемных и три отраслевые лаборатории.

Рост численности проблемных и отраслевых лабораторий был характерен и для других ведущих технических вузов Ленинграда. Так, в Институте инженеров железнодорожного транспорта число отраслевых лабораторий к началу 1970-х годов достигло 11, в Электротехническом институте (ЛЭТИ) — пяти; в Горном институте работали шесть проблемных и пять отраслевых лабораторий [14, с. 259].

В 1958 г. в Гидрометеорологическом институте были организованы курсы подготовки водолазов и сформирована группа подводных исследований, которая в 1963 г. была преобразована в Учебную лабораторию подводных исследований (УЛПИ) института. Ее создание, по мнению ученых вуза, стало «убедительным примером естественного и органического решения проблемы единства науки, учебы и воспитания на основе увлекательного и важного дела, необходимость которого очевидна каждому студенту» [15, с. 159].

Среди важнейших прикладных работ, выполненных УЛПИ в 1960-е годы, было обследование мостовых опор на Неве, исследование водоводов и агрегатов Нарвской ГЭС. Особое значение в деятельности лаборатории в 1966, 1967 и 1969 гг. имело создание и эксплуатация серии обитаемых подводных лабораторий «Садко». Значительный вклад в организацию лаборатории и проводимых в ней исследований внесли заведующий кафедрой океанологии лауреат Государственной премии СССР профессор В.В. Тимонов и старший инженер А.В. Майер [16].

Выше были приведены сведения, касающиеся организации новых НИИ, проблемных, отраслевых и учебных лабораторий лишь в некоторых ведущих вузах Ленинграда. Разумеется, перечень вузов, в которых они были созданы в рассматриваемый в настоящей статье период, значительно шире. Достаточно сказать, что общее число проблемных и отраслевых лабораторий в вузах Ленинграда за десятилетие с 1960 по 1970 г. увеличилось с 45 до 90 [17].

Бесспорно, создание новых научных подразделений отражало дальнейшее расширение научной деятельности в вузах, способствовало повышению проводившихся исследований. Вместе с тем тематика этих исследований не всегда находилась на магистральных направлениях научно-технического прогресса. Порой отдавалось предпочтение разработке мелких тем, не имевших теоретического и практического значения. Далеко не все ведущие ученые привлекались к научной деятельности. Нередко вновь создаваемые исследовательские ячейки работали разобщенно, без должной координации. Многие вузы испытывали острый недостаток в оборудовании, служебных помещениях, что не могло не тормозить рост научных исследований.

Увеличение масштабов научной деятельности вузов в 1950—1970-е годы, проявившееся, в частности, в создании новых НИИ, кафедр, проблемных, отраслевых, учебных лабораторий, обусловило благоприятные организационные условия для их дальнейшего роста.

Основные направления научных исследований. Достижения ученых в ведущих областях научно-технического прогресса

В рассматриваемый период усилия ленинградских ученых были направлены на то, чтобы обеспечить целенаправленное, планомерное развитие широкого фронта фундаментальных и прикладных исследований.

В вузах Ленинграда велись исследования по многим направлениям науки и техники. Сказанное особенно относится к научной деятельности ученых Университета. В развитии математики, механики, физики, наук о Земле ученые Университета занимали передовые позиции. Труды многих его профессоров получили всемирную известность.

Как видно из отчета о научно-исследовательской деятельности Института математики и механики в 1962 г., здесь продолжались исследования по проблемам теории метрических многообразий (руководитель А.Д. Александров), теории вероятностей и математической статистики (руководитель Ю.В. Линник) и теории дифференциальных уравнений (руководитель академик В.И. Смирнов).

В решение ряда проблем физики звезд, в первую очередь в разработку теории переноса излучения в звездных атмосферах, в физику нестационарных звезд, большой вклад внес профессор ЛГУ академик В.В. Соболев. Профессор К.Я. Кондратьев проводил исследования в области метеорологии, имеющие большое значение для изучения космического пространства. Признание получили труды К.Я. Кондратьева «Метеорологические исследования с помощью ракет и спутников» (Л., 1962), «Метеорологические спутники» (Л., 1963) и др.

В 1959—1965 гг. ученые Университета завершили работу по 5300 плановым темам. Ими было выполнено 3017 отдельных экспериментальных и теоретических исследований, подготовлено 785 учебников и учебно-методических пособий, завершено 543 диссертации, проведены хоздоговорные работы по 955 темам. Только в 1969 г. увидели свет результаты 3500 исследований ученых ЛГУ. Среди них было 107 монографий и 74 учебника [18].

Достижения ученых Университета отмечались Ленинскими и Государственными премиями СССР. В 1960 г. Ленинской премии был удостоен физик профессор ЛГУ академик В.А. Фок за фундаментальные исследования по квантовой теории поля, изложенные в монографии «Работы по квантовой теории поля», изданной в 1957 г. В 1971 г. Государственной премией СССР были отмечены труды математика профессора Л.Д. Фаддеева, в которых ученый развил новый метод в нерелятивистской квантовой теории рассеяния частиц.

Ученые электромеханического факультета Политехнического института разрабатывали проблемы, связанные с созданием научных основ единой энергетической системы, передачей электрической энергии постоянного тока на дальние расстояния при высоком и сверхвысоком напряжении. В проведении этих работ участвовали академик Л.Р. Нейман, член-корреспондент АН СССР М.В. Костенко.

В середине 1960-х годов ученые Технологического института обратились к решению таких важнейших проблем, как охрана окружающей среды и химизация сельского хозяйства. С научной деятельностью института связано создание и развитие новой области технологии — экологической технологии.

Под руководством профессора В.Б. Алесковского сотрудники кафедры химии твердых веществ разработали новые методы очистки сточных вод предприятий цветной металлургии от ионов, тяжелых и редких металлов.

В 1965—1967 гг. В.Б. Алесковский создал метод «химической сборки» материалов и изделий, имевший большое практическое значение.

Решением научно-технических проблем, связанных с развитием железнодорожного транспорта занимались ученые Института инженеров железнодорожного транспорта. В числе основных направлений исследований были работы в области строительства и эксплуатации железнодорожного пути, электрификация железнодорожного транспорта, управление процессами перевозок, автоматики, телемеханики, связи. Сотрудники организованной в 1958 г. проблемной лаборатории электрической тяги на переменном токе под руководством члена-корреспондента АН СССР А.Е. Алексеева приступили к разработке электровозов переменного тока с асинхронным и тяговыми двигателями.

Ученые Горного института внесли значительный вклад в различные области геолого-минералогических наук, горного дела и цветной металлургии. Благодаря их исследованиям совершенствовались техника и технология горных разработок, что обусловило повышение производительности труда, безопасности работ и снижение себестоимости. В 1957 г. заведующему кафедрой исторической геологии Горного института академику Д.В. Наливкину за научное редактирование Геологической карты СССР присудили Ленинскую премию. Только в 1966—1970 гг. ученые ЛГИ опубликовали свыше 2600 научных статей, получили 12 патентов и около 70 авторских свидетельств [19].

Научно-техническому прогрессу в области авиации, морского и речного флота содействовала деятельность ученых Института авиационного приборостроения, Кораблестроительного института и Института водного транспорта. В Электротехническом институте связи им. профессора М.А. Бонч-Бруевича исследовались все виды электрической связи. Непреходящее практическое значение имели работы в области телевидения, которыми руководил профессор П.В. Шмаков. Развернулись исследования, имевшие своей целью создание цветного телевидения.

Приведенные выше сведения демонстрируют, насколько обширным был фронт исследований, разрабатывавшихся в вузах города. В поле зрения ученых находились все главнейшие направления естественных и технических наук. Результаты фундаментальных и прикладных исследований находили практическое воплощение. Благодаря этому были созданы и внедрены в производство образцы принципиально новой техники и технологии, решены многие задачи научно-технического прогресса.

Укрепление связей вузовской науки Ленинграда с производством

Важнейшим направлением деятельности вузовских ученых являлась работа по укреплению связей науки с производством. Характеризуя значение расширения связей науки с производством, академик А.Ф. Иоффе писал в декабре 1959 г.: «Неразрывная связь теории и практики взаимно обогащает науку и производство и непрерывно ускоряет их развитие, превращая технический прогресс в лавину новых открытий и нового познания» [20].

1 августа 1959 г. в «Ленинградской правде» было опубликовано «Обращение ко всем ученым высших учебных заведений, научно-исследовательских и проектных институтов Ленинграда». В Обращении говорилось о государственном значении развития связей ученых вузов с работниками производства. В ноябре 1959 г. состоялось собрание актива ученых с работниками промышленности, строительства и транспорта. Было принято «Обращение участников актива ученых Ленинграда к деятелям науки и техники Москвы и Свердловска». В Обращении особо отмечалось: «Творческое содружество работников научных учреждений и промышленности стало в Ленинграде замечательной традицией» — и далее содержался призыв к ученым Москвы и Свердловска «совместными усилиями, в содружестве с работниками производства всемерно способствовать успешному выполнению семилетнего плана, своими открытиями, исследованиями, рекомендациями ускорять технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства» [21].

Вскоре после опубликования упомянутых выше обращений число промышленных предприятий, с которыми вузы Ленинграда заключили договоры о творческом содружестве не только на год, а и на несколько лет, достигло 120. Всего по хозяйственным договорам для промышленности вузы в 1959 г. разрабатывали 1200 научных тем.

Приведем наиболее характерные примеры союза деятелей вузовской науки и производственников.

Творческое содружество с работниками промышленности органически входило в деятельность ученых Университета. Многие исследования коллектива ЛГУ были непосредственно связаны с нуждами производства.

В 1959 г. коллектив физического факультета заключил 32 хоздоговора и 19 договоров о творческом содружестве с промышленными предприятиями. В 1963 г. физики выполняли исследования по 60 хоздоговорным темам на общую сумму 1100 000 рублей. Одновременно проводились работы по 22 темам, которые предусматривались договорами о творческом содружестве на общую сумму в 1300 000 рублей [22]. Многие приборы, созданные университетскими учеными-физиками, экспонировались на Выставке достижений народного хозяйства в Москве. Упомянем сконструированный профессором В.Н. Цветковым универсальный фотоэлектрический и поляризационный диффузометр. За создание этого прибора В.Н. Цветкову была присуждена золотая медаль ВДНХ, а сотрудникам лаборатории физики полимеров и рабочим экспериментальных мастерских — серебряные и бронзовые медали. Этот и многие другие приборы, сконструированные учеными-физиками, находили практическое применение в народном хозяйстве.

О масштабах творческого содружества ученых Университета с производством говорят следующие данные. Если в 1956 г. ученые ЛГУ выполнили 74 хоздоговорные работы, то через десять лет, в 1966 г., их число увеличилось до 330. Только в 1969 г. исследования по заданиям промышленности были выполнены на сумму 5 966 000 рублей [23].

То, что укрепление творческого содружества ученых и производственников являлось важнейшим фактором производства и повышения эффективности исследований, можно проследить на примере деятельности Политехнического

института. Коллектив вуза в 1949 г. выступил одним из инициаторов идеи содружества ученых с практиками. В рассматриваемый период ученые вели ряд исследований, вызванных к жизни нуждами промышленности. Под руководством академика М.П. Костенко, члена-корреспондента АН СССР Л.Н. Неймана, профессоров А.М. Залесского, Б.И. Доманского, М.В. Костенко разрабатывались вопросы, связанные с передачей электрической энергии на дальние расстояния и созданием сверхмощных электрических машин и аппаратов. Усилия члена-корреспондента АН СССР В.А. Флорина, профессоров М.Д. Черноусова, А.А. Морозова были направлены на решение задач, касающихся проектирования и возведения крупных гидротехнических сооружений.

В 1960-е годы 800 профессоров и преподавателей, свыше 2000 студентов ЛПИ участвовали в работах, связанных с выполнением заданий предприятий, в числе которых были заводы «Светлана», «Красный Выборжец», «Металлический завод». В контакте с заводами Кировский и «Русский дизель» институт выполнил только в 1969 г. 17 хоздоговорных работ на сумму 212 500 рублей. Всего в 1966—1970 гг. коллектив вуза выполнил 2104 хоздоговорные работы, 339 исследований прикладного характера были внедрены в народное хозяйство, в том числе в 1965 г. — 47, в 1970 г. — 92 [24]. Эти цифры — наглядное свидетельство укрепления творческого содружества ученых-политехников с производством.

7 августа 1965 г. ректор Политехнического института В.С. Смирнов на страницах газеты «Вечерний Ленинград» писал: «творческое содружество очень многое дало для его ученых, помогая производственникам совершенствовать технологию; ученые одновременно обогащаются сами, совершенствуют свои исследования».

В рассматриваемый период ученые Института инженеров железнодорожного транспорта сотрудничали с работниками Октябрьской железной дороги, Ленметростроем, Мостостроем-8 и другими организациями. Выполнялись исследования, направленные на повышение скорости движения поездов, рационализацию железнодорожных перевозок, совершенствование системы автоматизации управления станций Октябрьской железной дороги и др. В 1967 г. по плану содружества только с Октябрьской железной дорогой было выполнено более 50 исследований. В 1971 г. число исследований, осуществленных в порядке творческого содружества, составило 191 [25].

Ученые ЛИИЖТа сотрудничали с рабочими коллективами. Кафедра «Железнодорожный путь» помогала бригадам 2-й Ленинград-Балтийской дистанции пути в освоении новых технологий, организовала техническую учебу рабочих-железнодорожников. Связь с производственниками установили кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», «Эксплуатация железных дорог» и другие. Ученые читали лекции и доклады производственникам, помогали им овладеть техническими знаниями. В исследованиях ученых обобщались передовые методы труда новаторов Октябрьской железной дороги. В 1960 г. институт совместно с Октябрьской железной дорогой организовал университет науки и техники.

Приведем только один пример, характеризующий результаты совместной работы ученых вуза и производственников. Профессора С.В. Амелин, В.Ф. Яковлев,

М.Т. Смирнов создали и внедрили новый стрелочный перевод, который выдержал длительные динамические испытания на линии Москва — Ленинград. И зимой, и летом переводы действовали безотказно, давали возможность идти поездам со скоростью 180 и даже 200 километров в час. Составы двигались плавно, без толчков и ударов. Примечательно, что замена существующих стрелок не потребовала реконструкции путевого хозяйства и дала большую экономию средств. Продолжая разрабатывать эту проблему, коллектив кафедры «Железнодорожный путь» во главе с С.В. Амелиным сосредоточил свои усилия на создании стрелок, выдерживающих скорость движения поездов до 220 километров в час. 5 февраля 1971 г. опытный поезд на участке Торфяное — Любань достиг этой скорости.

О связях Горного института с производством красноречиво говорит следующий факт. Если в 1958 г. коллектив вуза оказывал научно-техническую помощь 17 совнархозам, в 1963 г. — 68 предприятиям различных экономических районов, то в 1965 г. он выполнил уже 100 договоров о творческом содружестве с 24 совнархозами страны. В 1965 г. общая сумма хоздоговорных работ достигла 1466 900 рублей [26].

«Многие наши исследования органически связаны с производством, — писал ректор Электротехнического института им. В.И. Ульянова (Ленина) Н.П. Богородицкий. — Примером могут служить разработанные в институте ультразвуковые установки для автоматического контроля листового проката. Они используются сейчас Ижорским и Нижне-Тагильскими заводами. Только за один год экономия превысила 1 000 000 рублей» [27]. Расширению контактов с производством способствовали семилетние договоры о содружестве, заключенные ЛЭТИ с заводами «Красногвардеец», «Светлана», «Электроаппарат», «Электросила» и «Вибратор». В денежном выражении общий объем исследований, выполненных учеными ЛЭТИ в 1966—1970 гг., достиг 19 760 000 рублей [28].

Ученые кафедры водных исследований Гидрометеорологического института под руководством заслуженного деятеля науки и техники профессора В.Б. Проскурякова проводили важные научно-исследовательские работы в содружестве с Всесоюзным НИИ гидротехники им. Веденеева по теме «Гидрофизические исследования мероприятий по улучшению охлаждения оборотных вод в теплоэнергетике». Преподаватели кафедры гидрогеологии Г.Л. Акулов, И.Н. Лобанов, Т.А. Франк-Каменецкая, С.Х. Калиянц проводили совместные исследования с ленинградскими производственными организациями, изучая вопросы улучшения и оздоровления водоснабжения города и сельских населенных пунктов Ленинградской области за счет подземных вод. Ряд рекомендаций ученых был внедрен в практику [29, с. 29—30, 33].

Заметим, что можно привести еще множество подобных примеров плодотворной совместной работы по оказанию помощи производственникам учеными Гидрометеорологического института.

Об укреплении творческого содружества ученых и производственников в рассматриваемый период свидетельствуют следующие данные. Если в 1956 г. ученые 22 технических вузов заключили с предприятиями 961 договор, то в 1958 г. — 1 201. В 1964 г. число тем, разработанных вузами для нужд производства, составило

около 5000. В 1966—1970 гг. экономический эффект от внедренных разработок достиг 470 000 000 рублей [30, с. 103, 108].

В рассматриваемый период совершенствовались формы творческого содружества. Преобладали такие формы, как договоры, хоздоговоры, договоры о содружестве, комплексные творческие бригады, шефство ученых над тружениками промышленных предприятий, участие ученых в работе научно-технических советов заводов и фабрик.

Заключение

Сложным и противоречивым был процесс развития науки в 1950—1970-е годы. Именно в этот период ученые добились выдающихся достижений в освоении космического пространства, в мирном использовании атомной энергии и других магистральных направлениях научно-технического прогресса.

Социально-экономическая обстановка в стране определила основные направления научной деятельности вузов Ленинграда. Характерной особенностью являлось дальнейшее углубление их специализации и обслуживания тех отраслей народного хозяйства, которые составляли основу Ленинградского региона.

К началу 1970-х годов в городе на Неве обучалось около 6 % студентов вузов СССР. Удельный вес докторов наук в вузах города составил почти 14 % и кандидатов наук — 8 % от общесоюзного. В 1970 г. в технических вузах города работало 17 000 преподавателей и научных сотрудников, и среди них около 700 докторов наук и 5500 кандидатов наук. Эти данные свидетельствуют о большой роли ленинградских вузов в научно-техническом потенциале страны.

Отмечая огромные достижения вузовских ученых Ленинграда в развитии народного хозяйства, нельзя обойти молчанием и существенные недостатки. Изучение печатных и архивных источников по теме, многочисленные беседы с учеными — участниками, живыми свидетелями описываемых в настоящей статье событий позволяют в полной мере судить об этих недостатках. Прежде всего, к участию в научно-исследовательской деятельности, к работе по содружеству с производством привлекались далеко не все ученые высшей школы. Отрицательно влияли на работу недостатки в планировании исследований. Не были преодолены многотемность и мелкотемность. Это распыляло силы вузовских коллективов, существенно ограничивая их возможности в решении наиболее важных научно-технических проблем, следствием чего являлись параллелизм и дублирование в проведении исследований. В некоторых случаях разрабатывались темы, не представлявшие большой ценности. По многим работам не проводились научно-техническое обоснование и расчет эффективности.

Не удалось избежать ошибок и упущений при выборе форм творческого содружества. В частности, в ряде вузов почти полностью отсутствовала такая форма содружества, как комплексные долгосрочные договоры. Что касается хозяйственных договоров, то они часто не рассматривались как важнейшие плановые документы. Деятельность ученых по укреплению творческого содружества в целом тормозилась постоянным недостатком средств, выделявшихся на эти нужды науки.

Научный потенциал вузов — драгоценное общественное достояние. Между тем при организации и проведении научно-исследовательских работ это богатство недооценивалось. Сколько сил и энергии вынуждены были тратить многие крупные, порой с мировым именем ученые — профессора и преподаватели — на то, чтобы «пробить», внедрить в практику свои изобретения и открытия! Хозяйственные же руководители нередко не были заинтересованы во внедрении новой техники и технологий. На пути научных открытий часто стояла непробиваемая стена инструкций, циркуляров, постановлений.

В условиях господства командно-административной системы была стеснена свобода творческого поиска, ученые нередко испытывали мелочную опеку, административное давление, что отрицательно сказывалось на результатах исследований. Слабыми были информационное обеспечение, полиграфическая база вузов. Порой подготовленные к печати ценные исследования не издавались в течение длительного времени. Не были выработаны экономические механизмы, рычаги, которые бы открывали широкую дорогу для внедрения новейших научно-технических достижений в практику. Все это отрицательно сказывались на развитии как науки, так и производства.

В результате этого в 1970—1980-е годы отечественная наука по ряду ведущих направлений стала отставать от уровня мировой науки. Рекомендации ученых не всегда учитывались при разработке и реализации социально-экономической политики государства. Это привело СССР к отставанию от развитых стран в области научно-технического прогресса.

Несмотря на трудности, обусловленные господством командно-административной системы, и одновременно преодолевая негативные явления, ученые вузов Ленинграда продолжали напряженно бороться за расширение фронта исследований, повышение их эффективности, укрепление связей фундаментальных исследований с практикой, опираясь при этом на опыт, накопленный в 1950—1970-е годы. Благодаря этому еще более значимым стал вклад, который внесла высшая школа Ленинграда в развитие научно-технического потенциала России.

Список литературы

1. Ленинградский университет. 1965. 19 февраля.
2. Ленинградский университет. 1965. 13 октября.
3. ЦГА СПб. Ф. 3232. Оп. 29. Д. 4. Л. 2 7; Политехник. 1965. 14 октября. Статистический материал
4. Политехник. 1969. 24 марта.
5. *Шапаев В.М.* Преподавание и научно-исследовательская работа в области климатологии // Труды Ленинградского гидрометеорологического института. 1967. Вып. 29. С.181—187.
6. Наш путь. 1963. 28 декабря; 1964. 4 апреля. Статистический материал
7. *Красковский Е.Я.* ЛИИЖт в пути. М.: Транспорт, 1990. 176 с.
8. Очерки истории Ленинграда. Т. VII. Л.: Лениздат, 1989. 475 с.
9. Высшая школа: основные постановления, приказы и инструкции. М.: Высшая школа, 1957. С. 215—218.
10. Вестник высшей школы. 1970. № 8. С. 39 – 43. Статистический материал
11. Научные кадры Ленинграда. Л.: Наука, 1973. 336 с.
12. Политехник. 1962. 5 апреля. Статистический материал.
13. Политехник. 1971. 20 сентября. Статистический материал.

14. 150 лет Ленинградского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. Ленсовета. Л.: Лениздат, 1978. 340 с.
15. *Богуш А.И., Некрасов А.В.* Подводные исследования в ЛГИМИ // Человек и стихия. 1988. С. 159—160.
16. *Дерюгин К.К.* Экспедиционные океанографические исследования Ленинградского гидрометеорологического института // Труды. Ленинградского гидрометеорологического института. 1967. Вып. 29. С. 119—143.
17. ЦГАИПД СПб. Ф. 25. Оп. 100. Д. 1. Л. 22.
18. ЦГА СПб. Ф. 7240. Оп. 19. Д. 999. Л. 3.
19. Горняцкая правда. 1966. 19 мая; 1970. 26 декабря.
20. *Иоффе А.* Грядущие успехи физики // Правда. 1959. 30 декабря.
21. Ленинградская правда.1959. 28 ноября. Статистический материал.
22. ЦГА СПб. Ф. 7 240. Оп. 19. Д. 999. Л. 30.
23. Ленинградский университет. 1970. 23 апреля. Статистический материал.
24. ЦГАИПД СПб. Ф. 2. Оп. 24. Д. 35. Л. 216.
25. ЦГАИПД СПб. Ф. 1085. Оп. 7. Д. 113. Л. 183—184.
26. ЦГА СПб. Ф. 8811. Оп. 9. Д. 738. Л. 184.
27. *Богородицкий Н.* Крепить союз науки и труда // Вечерний Ленинград. 1966. 11 апреля.
28. ЦГАИПД СПб. Ф. 119. Оп. 5. Д. 166. Л. 8.
29. *Полтавцев В.И., Морозов П.Н., Русанов Б.Д.* Ленинградский гидрометеорологический институт к пятидесятилетию Великой Октябрьской социалистической революции // Труды Ленинградского гидрометеорологического института. 1967. Вып. 29. С. 5—39.
30. Содружество науки и производства. Л.: Лениздат, 1985. 286 с.

References

1. *Leningradskiy Universitet.* Leningrad University. 1965, February 19. [In Russian].
2. *Leningradskiy Universitet.* Leningrad University. 1965, Octobre 13. [In Russian].
3. *Centralny gosudarstvenniy arhiv Sankt-Peterburga.* Central state archive of St. Petersburg. F.3232. Op.29. D.4. L.27. *Politehnik.* Polytechnic. 1965, Octobre 14. [In Russian].
4. *Politehnik.* Polytechnic. 1969, May 24. [In Russian].
5. *Shapaev V.M.* Teaching and research work in the field of climatology. *Trudi. Leningradskii gidrometeorologicheskii institut.* Proceedings of the Leningrad State Hydrometeorological University. 1967, 29: 181–187. [In Russian].
6. *Nash put'.* Our path. 1963, December 28; 1964, April 4. *Statisticheskiy material*. The stastistics material. [In Russian].
7. *Kraskovskii E.Ya.* LIIZHt v puti. Transport, 1990: 176 p. [In Russian].
8. Essays on the history of Leningrad. T.VII. Leningrad: Lenizdat, 1989: 475 p. [In Russian].
9. High school: basic regulations, orders and instructions. Moscow: Vysshaya shkola, 1957: 215–218. [In Russian].
10. Bulletin of the higher school. 1970, 8: 39–43. [In Russian].
11. The scientific staff of the Leningrad. Leningrad: Nauka. 1973: 30 p. [In Russian].
12. *Politehnik.* Polytechnic. 1962, April 5. [In Russian].
13. *Politehnik.* Polytechnic. 1971, September 20. [In Russian].
14. 150 years of Order of The red banner of labor of the Leningrad Institute of Technology by the name of Lensoveta. Leningrad: Lenizdat, 1978. 340 p. [In Russian].
15. *Bogush A.I., Nekrasov A.V.* Underwater exploration in Leningrad State Hydrometeorological Institute. *Chelovek i stihiya.* Man and the Elements. 1978: 159 p. [In Russian].
16. *Deryugin K.K.* Expeditionary Oceanographic research of the Leningrad hydrometeorological Institute. *Trudi. Leningradskii gidrometeorologicheskii institut.* Proceedings of the Leningrad State Hydrometeorological Institute. 1967, 29: 119–143. [In Russian]. *Nash put'.* Our Path. 1963, June 8 [In Russian].
17. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.25. OP.100. D.1. L.22. [In Russian].

18. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.7240. OP.19. D.999. L.3. [In Russian].
19. *Gornyatskaya Pravda.* The Mountain Thruth. 1966, May 19; 1970, December 26. [In Russian].
20. *Ioffe A.* The future advances in physics. *Pravda.* The Truth. 1959, December 30. [In Russian].
21. *Leningradskaya Pravda.* The Leningrad Truth. 1959, November 28. [In Russian].
22. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.7240. OP.19. D.999.L.30. [In Russian].
23. *Leningradsky Universitet.* Leningrad University. 1970, April 23. [In Russian].
24. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.2. OP.24. D.35. L.216. [In Russian].
25. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.1085.OP.7.D.113. L.183–184. [In Russian].
26. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.8811. OP.9. D.738. L. 184. [In Russian].
27. *Bogorodickii N.* Strengthen the Union of science and labor. *Vechernii Leningrad*. The Evening Leningrad. 1966, April 11. [In Russian].
28. *Centralny gosudarstvenniy arhiv istorii I politicheskih dokumentov Sankt-Peterburga.* Central state archive of historical and political documents of St. Petersburg. F.119. OP.5. D.166. L.8. [In Russian].
29. *Poltavcev V.I., Morozov P.N., Rusanov B.D.* Leningrad hydrometeorological Institute dedicated to the fiftieth anniversary of the great October socialist revolution. *Trudi. Leningradskii gidrometeorologicheskii institut.* Proceedings of the Leningrad State Hydrometeorological Institute. 1967, 29: 29–30, 33. [In Russian].
30. *Sodruzhestvo nauki I proizvodstva*. Commonwealth of science and industry. Leningrad: Lenizdat, 1985. 286 p. [In Russian].

Статья поступила 20.12.2019
Принята после доработки в печать 27.02.2020

Сведения об авторе

Кольцов Игорь Анатольевич, д-р истор. наук, профессор кафедры социально-гуманитарных наук Российского государственного гидрометеорологического университета, профессор; e-mail: kafedra_sgn@rshu.ru

Information about author

Koltsov Igor Anatolyevich, Grand PhD (Historical Sci.), Professor, Department of Social and Humanitarian Sciences, Russian State Hydrometeorological University

УДК 330.34:004 doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-156-167

ВЫЗОВЫ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

М.О. Колбанёв[1], И.И. Палкин[2], Т.М. Татарникова[2]

[1] Санкт-Петербургский экономический университет, Санкт-Петербург
[2] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, tm-tatarn@yandex.ru

Обсуждается проблема трансформации экономики в цифровую экономику. Перечисляются основные вызовы, которые цифровая экономика бросает обществу, государству и бизнесу в технологической сфере. Приводятся характеристики цифровизации экономики. Рассматриваются примеры проектов реализации программ цифровой экономики развитых стран. Приводятся этапы промышленных/индустриальных революций, демонстрирующих смену технологических укладов. Перечисляются сквозные технологии, определенные в национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации». Характеризуются группы новых научно-технических направлений, на которых планируется трансформация экономики в цифровую экономику.

Ключевые слова: цифровая экономика, информационное общество, промышленная революция, глобальная информационная инфраструктура, цифровая платформа, экосистема.

THE CHALLENGES OF THE DIGITAL ECONOMY

M.O. Kolbanev[1], I.I. Palkin[2], T.M. Tatarnikova[2]

[1] Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia
[2] Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

The problem of transforming the economy into a digital one is discussed. The main challenges the digital economy poses to society, the state and business in the technological field are given. The characteristics of the digitalization of the economy are presented, including the rapid accumulation of digital data, the creation of a global information infrastructure, the formation of a new information sphere of people's lives, the exponential increase in the rate of introduction of digital technologies and the emergence of new scientific and technical directions, the radical change in social relations, the transformation of old models of activity, wide geoinformatization. Examples of digital economy projects of developed countries - Germany, USA, Great Britain, Japan - are given. The conclusion is drawn about the main emphasis of the digital economy programs adopted by the developed countries. The stages of industrial revolutions, showing a change in technological waves from the advent of a steam engine in Industry 1, the automotive industry and electrification in Industry 2, the development of cybernetics in Industry 3, to the advent of digital production and the merging of the virtual and real worlds in Industry 4.0, are presented. The end-to-end technologies defined in the "Digital Economy of the Russian Federation" national program are listed. Four groups of new scientific and technical areas serving as the basis for the planned transformation of the economy into the digital one (digitalization, geoinformatization, datification and materialization) are identified. Digitalization helps create a digital environment to support all activities. Geoinformatization allows building more effective models of activity due to the addition of spatial positioning technologies to the functional areas of information systems. Datification allows the introduction of new adoption models based on big data analysis. Materialization implements digital production of objects without direct human participation and traditional material technologies.

Keywords: digital economy, information society, industrial revolution, global information infrastructure, big data, digital platform, ecosystem.

For citation: *Kolbanev M.O., Palkin I.I., Tatarnikova T.M.* The Challenges of the Digital Economy. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 156—167. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-156-167

Введение

Настоящая статья посвящена обзору вызовов, которые цифровая экономика бросает обществу, государству и бизнесу в технологической сфере. Ответом на вызовы должно стать построение информационного общества. На этом пути человечество ждет не только трансформация общественных отношений и принципов государственного управления, но и кардинальное изменение многих устоев жизнедеятельности.

Авторы понимают, что обозначенные ниже проблемы создания цифровой экономики требуют дальнейшего глубокого и всестороннего исследования. Цель статьи — дать обобщенное представление об актуальной цифровой повестке нашего времени, которую характеризуют [1]:

1) стремительное накопление цифровых данных, что в силу объемов и разнородности контента получило название больших данных;

2) создание глобальной информационной инфраструктуры;

3) формирование новой, наряду с экологической и социальной, информационной сферы жизни людей;

4) экспоненциальный рост темпов внедрения цифровых технологий, в том числе интеллектуальных, их конвергенция в сквозные технологии — новые научно-технических направления;

5) кардинальное изменение общественных отношений;

6) трансформация старых моделей деятельности, в том числе и в экономике;

7) широкая геоинформатизация — расширение горизонтов использования информационных систем.

Цифровая экономика, несмотря на скептицизм многих специалистов, неудачи и даже провалы ряда программ, становится одним из важнейших факторов социально-экономического роста всех развитых стран. Причина этого кроется в реальном распространении цифровых технологий нового типа, в скорости и глубине их проникновения в большинство отраслей народного хозяйства, во влиянии на повседневную жизнь все более широких слоев населения [2].

В глобальном информационном пространстве реализуются тысячи международных, государственных, региональных и местных проектов развития цифровой экономики, учитывающие национальные интересы стран. Как указывается в [3], по состоянию на 2015 г. государственные программы по развитию цифровой экономики были утверждены в 15 странах, в том числе в Германии, США, Великобритании, Японии, Китае, Бразилии, Эстонии, Нидерландах, Ирландии, Швеции, Сингапуре, Филиппинах, Малайзии, Евросоюзе.

В Германии доктрина «Индустрия 4.0» одной из главных целей ставит прорыв в области цифровых технологий благодаря подключению к глобальной сети целых производств. В основе этого плана лежат интернет вещей и киберфизические системы. Умные машины должны «видеть» свое окружение и по сети взаимодействовать друг с другом, системами логистики, поставщиками сырья, комплектующих и потребителями продукции [4].

В США программа Digital Economy Agenda [3] предполагает поддержку развития Интернета в качестве глобальной платформы для общения, торговли и инноваций в интересах американского бизнеса.

Цифровая стратегия Великобритании выделяет построение цифровой инфраструктуры, формирование цифровых навыков и доверия к данным, создание цифрового бизнеса, обеспечение цифровой безопасности, развитие государственных цифровых услуг и др.

Япония строит суперумное общество в рамках программы «Общество 5.0». Цель — обеспечить более широкое взаимодействие людей с машинами и принятие всем обществом моральных, этических и экономических аспектов цифровизации [5].

Китайская программа «Интернет плюс» предполагает интеграцию государственных и корпоративных информационных систем и открытый доступ к данным для бизнеса. В результате в реальном времени будут обновляемы все ключевые данные о состоянии экономики страны и прибыль будет доступна только за счет инноваций.

В целом главные акценты программ развития цифровой экономики, принятые перечисленными странами, сводятся к развитию эффективных механизмов использования цифровых данных и пропаганде новой философии жизни, основанной на цифровых данных.

Вызовы цифровой экономики

К числу самых заметных феноменов цифровой экономики относится стремительное накопление данных — не в виде зарегистрированных фактов или сведений, необходимых для принятия решений, а цифровых данных, являющихся продуктом функционирования цифровой экономики. В отличие от «традиционных данных» «цифровые данные» не несут очевидный смысл и не могут «в сыром виде» использоваться человеком. Смысл, скрывающийся в цифровых данных, может быть интерпретирован человеком только с помощью специальных цифровых систем и технологий. И способность выявить этот смысл — превратить цифровые данные в сведения — является важнейшим условием перехода к новым инновационным методам хозяйствования. Именно поэтому цифровую экономику следует рассматривать как технологический проект невиданного ранее масштаба [6].

Создание технологий цифровой экономики было бы невозможным без достижений кибернетики. При помощи электронных вычислительных машин были формализованы многие операции работы с данными для управления производством, распределением, обменом и потреблением экономического блага.

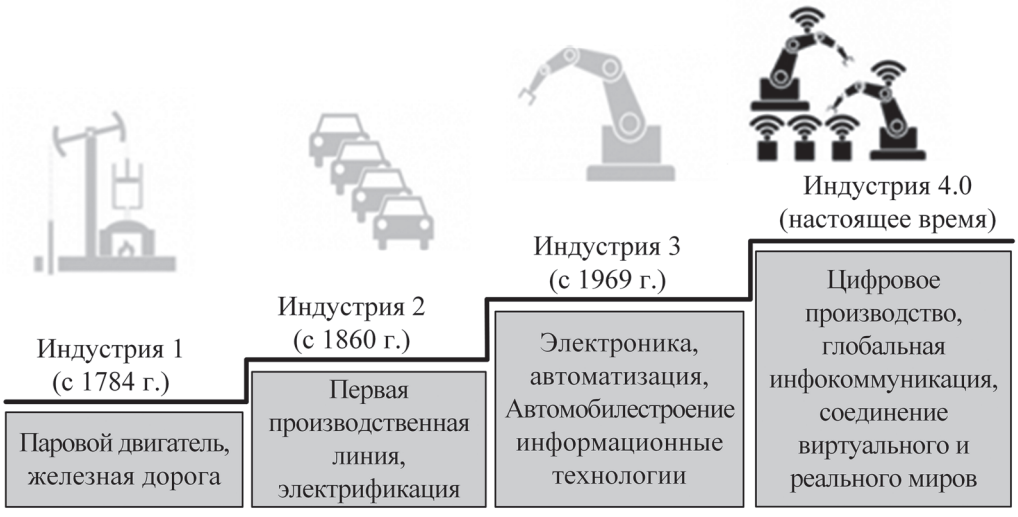

Рис. 1. Смена технологических укладов (промышленных/индустриальных революций).

Fig. 1. Change of technological modes (industrial revolutions).

Информационная технология помогла автоматизировать не только физический труд, как при второй промышленной революции, но и элементы рутинного умственного труда. Кибернетика привела к третьей промышленной революции и коренным образом изменила организацию труда, повысила его производительность и эффективность [1].

В основе цифровой экономики и вызванной ею четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) лежат электронные технологии нового типа. Они позволяют создать информационную инфраструктуру, поддерживающую все виды коммуникации типа «человек — человек», «человек — устройство», «устройство — устройство». Инфраструктура объединяет возможности беспроводных сетей связи, глобальных инфокоммуникаций, центров хранения и обработки данных и цифровых платформ работы с данными [7].

На рис. 1 приведены этапы промышленных/индустриальных революций. Каждый новый этап характеризуется сменой технологических укладов с последующим резким скачком производительности и ростом экономики.

В национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» определен перечень перспективных научно-технических направлений (сквозных технологий), которые призваны поменять ситуацию на существующих рынках или способствовать формированию новых рынков [8]:

— нейротехнологии и технологии искусственного интеллекта;
— технологии распределенного реестра;
— технологии виртуальной и дополненной реальности;
— новые производственные технологии;
— квантовые технологии;

— технологии беспроводной связи;
— компоненты робототехники и сенсорика;
— технологии больших данных и др.

Понимание того, что человек XXI века будет жить в технологическом мире, в котором цифровые данные станут опорой мировой экономики, окончательно сформировалось в конце XX века. Одним из первых в ряду специалистов с таким пониманием был информатик Н. Негропонте. В 1995 г. в работе «Цифровой мир» [9] он заметил, что киберпространство, образованное информационной инфраструктурой, становится пятой средой деятельности людей наряду с сушей, морем, воздухом и космосом. Благодаря свойствам киберпространства человек получает возможность действовать независимо от часовых поясов или географического расположения.

Научно-технические направления для трансформации экономики в цифровую экономику

Можно выделить четыре группы новых научно-технических направлений, на которых планируется трансформация экономики в цифровую экономику. Это цифровизация, геоинформатизация, датафикация и материализация.

Цифровизация представляет собой процесс создания цифровой среды для поддержки всех видов деятельности подобно тому, как природа создавала экологические системы, где все сбалансировано и устойчиво. Цифровая среда строится на базе информационной инфраструктуры цифровых платформ и экономических систем (экосистем) [10, 11]. Примерами цифровых платформ, работающих сегодня в различных сферах деятельности, являются Uber, You Tube, Avito, Facebook, Яндекс.Такси, Сбербанк Онлайн, ICloud и много других. Цифровые платформы позволяют алгоритмизировать взаимовыгодные взаимоотношения значимого количества независимых участников в единой цифровой среде благодаря применению пакета цифровых технологий работы с данными и изменению системы разделения труда. Производство продуктов, услуг и технологий в рамках экосистемы реализуется информационными потоками, циркулирующими между платформами и пользователями (рис. 2) [12].

Геоинформатизация — это дополнение технологиями пространственного позиционирования функциональных областей информационных систем. На этой основе происходит объединение двух типов данных, получаемых из реального мира в режиме онлайн: предметно ориентированных (функциональных) данных о текущих характеристиках и свойствах объектов реального мира и пространственных данных, которые включают сведения о местоположении и/или форме объектов и описывают любые передвижения/трансформации объекта в пространстве.

Объединение функциональных и пространственных данных означает конвергенцию информационных и геоинформационных систем, которая реализуется взаимодействием соответствующих цифровых платформ в рамках некоторой экосистемы цифровой экономики (рис. 3).

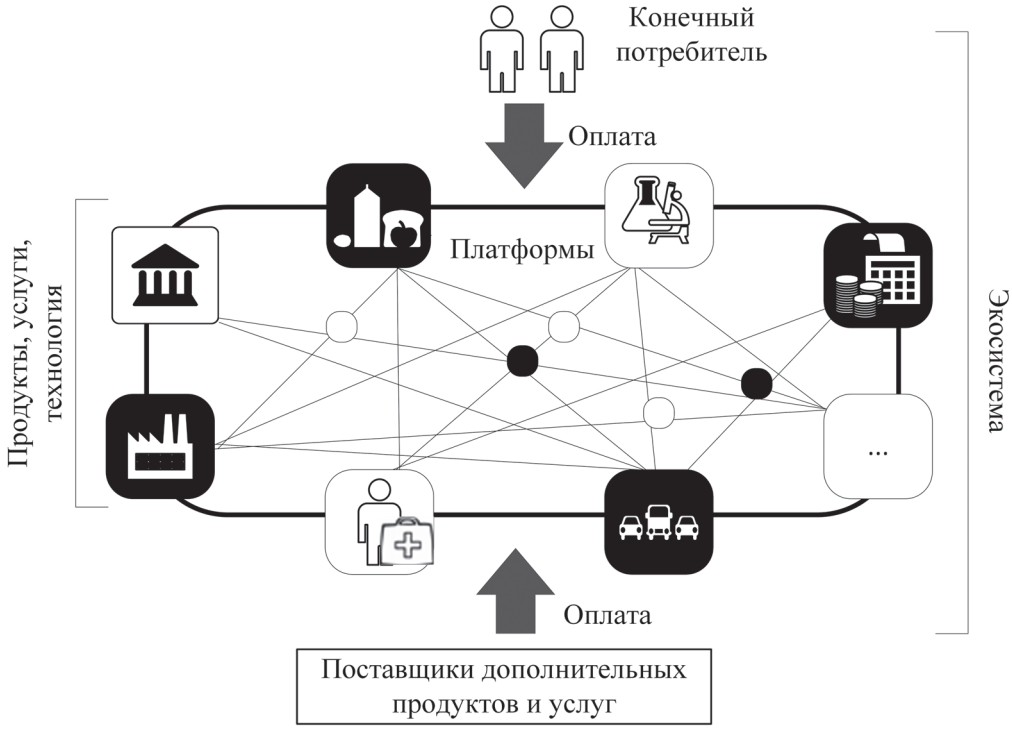

Рис. 2. Элементы цифровой среды [12].

Fig. 2. Elements of the digital environment.

Можно сказать, что практически любая информационная система уже становится или станет в недалеком будущем геоинформационной системой. Использование геоинформации расширяет горизонты анализа при принятии решений и позволяет строить более эффективные модели деятельности.

Большим подспорьем на пути построения цифровой экономики может стать опыт деятельности в предметных областях, суть которых всегда предполагала работу с функциональными и пространственными данными. К их числу принадлежит в первую очередь гидрометеорология, призванная осуществлять мониторинг, изучение и прогноз развития физических процессов в постоянно изменяющейся природной среде.

Гидрометеорологические службы всегда были связаны с необходимостью сохранения, распространения и обработки больших объемов данных и в этом смысле всегда являлись геоинформационными системами. Сегодня объемы данных, собираемых с многих тысяч метеорологических, аэрологических, гидрологических станций и постов достигают петабайтов и при этом должны не только анализироваться в реальном масштабе времени, но и сохраняться в течение десятков лет в интересах гидрометеорологической науки будущего.

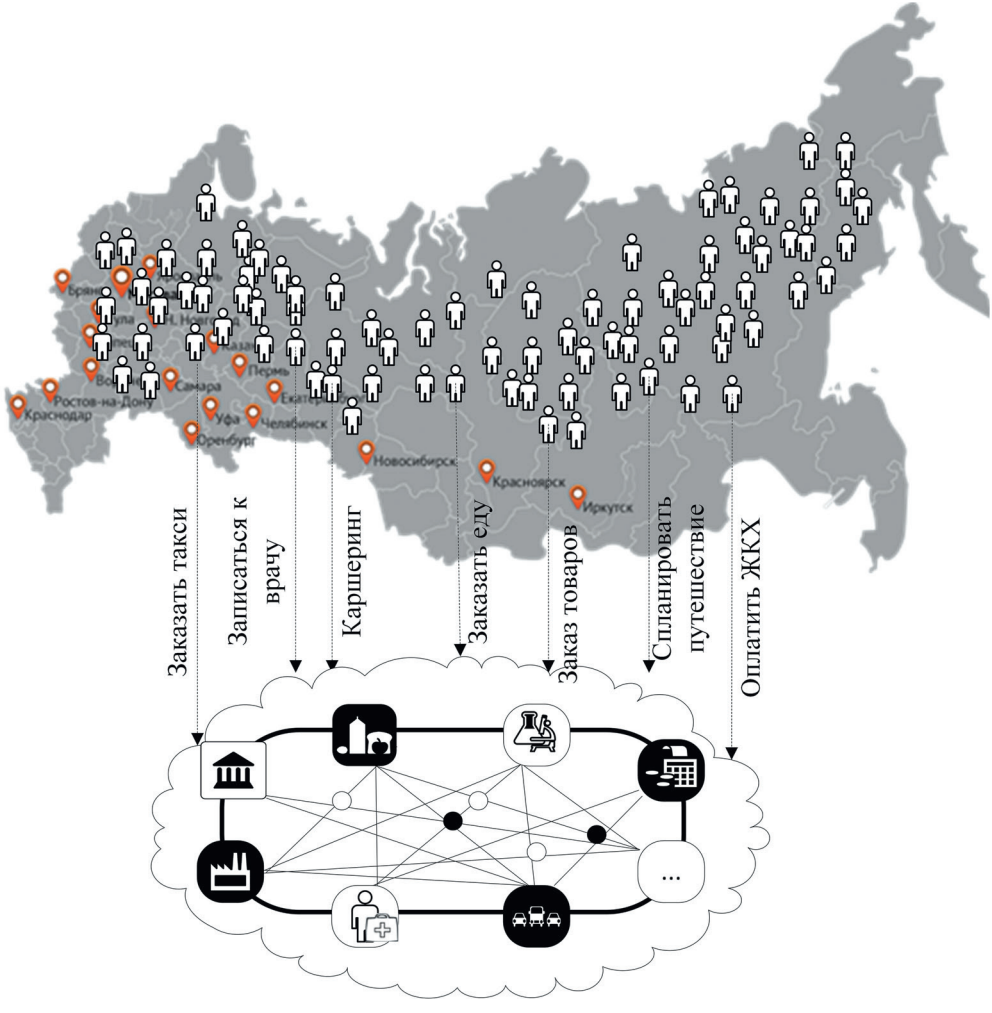

Рис. 3. Цифровизация и геоинформатизация — предоставление услуг населению.

Fig. 3. Digitalization and geoinformatization – providing services to the public.

Можно сказать, что информационная гидрометеорология являет собой пример модели цифровой экономики, а многие результаты, достигнутые в этой области, могут использоваться в других областях цифровизации.

Датафикация — это процесс широкого внедрения в различные виды предметных областей моделей принятия решений на основе анализа цифровых данных (больших данных). Речь идет о тех решениях, которые традиционно основывались на субъективном мнении лица, принимающего решение, или на таких сведениях, которые нельзя считать достоверными.

Практическая направленность датафикации — путь от скрытых данных к конкретному знанию или то же самое, что путь от постановки задачи к готовому инструментарию, при поддержке которого можно принимать решения в проблемной области. Таким образом, имеем, с одной стороны, информационный поток: данные ↔ информация ↔ знания, а с другой стороны, инструментальный поток: задачи ↔ методы решения ↔ инструменты (цифровые платформы). Эти потоки являются отображением одного процесса датафикации, результатом которого должно стать знание и принятие решения [13].

По мере продвижения вверх объемы данных переходят в ценность решений, то есть ценность для бизнеса, а поставленная задача — в принятие управленческого решения (рис. 4).

Особое значение принятие решений на основе данных имеет для государственного управления. По словам специального представителя Президента РФ по вопросам цифрового и технологического развития Д.Н. Пескова, для внедрения такого подхода в РФ «предстоит переучить как минимум 270 тыс. управленцев в ближайшие шесть лет, и это будет сопряжено с изменением структуры госорганизаций. То же самое придется делать с депутатами всех уровней, с судьями. Это огромный национальный масштаб» [14].

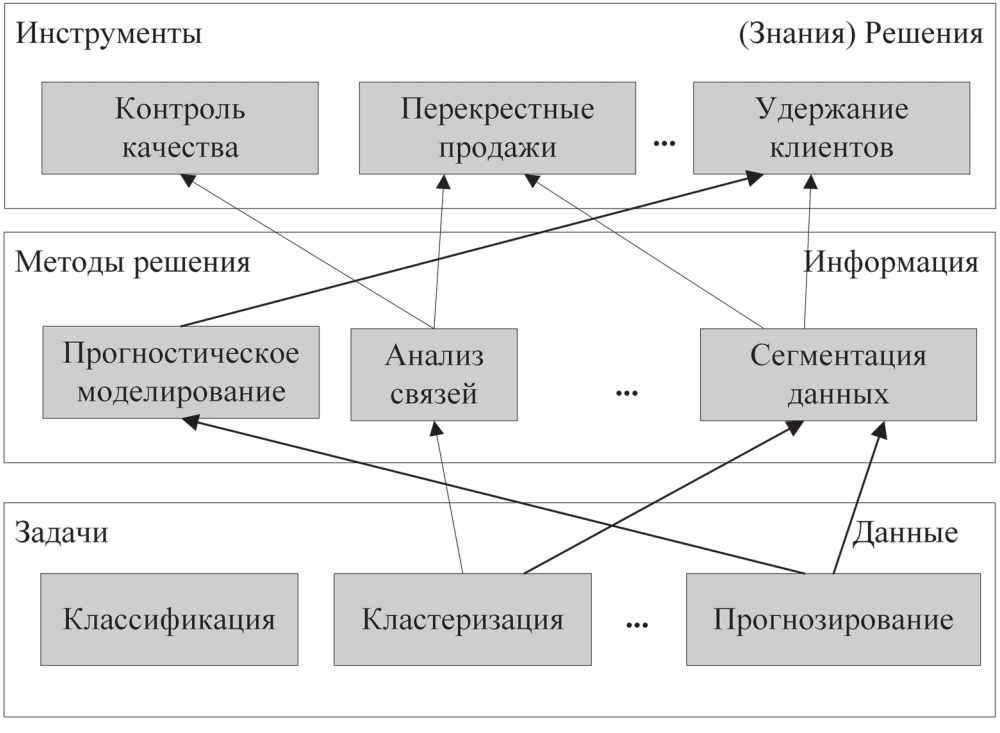

Рис. 4. Элементы датафикации.

Fig. 4. Elements of datification.

Материализация — это процесс воплощения данных, представленных в цифровом виде, в материальные или вещественные формы без прямого участия человека и традиционных материальных технологий.

Материализация данных изменяет процессы материального производства — в доцифровую эпоху они были отделены от информационных технологий. Это отражается, например, в сочетании терминов «информационная технология (или система) в» + «название предметной области». Примером таких терминов могут служить названия учебных дисциплин многих направлений подготовки бакалавров и магистров: информационные технологии (системы) в экономике, медицине, образовании, дизайне и т. п. Подобная языковая конструкция в явном виде отделяет, как и положено в кибернетике, информационную систему и информацию от материального объекта управления.

Современные же материальные технологии позволяют использовать цифровые системы не только в управлении и процессах принятия решений, но и непосредственно в материальной производственной деятельности [15]. Например, имея цифрового двойника — набор математических моделей, которые полностью описывают реальный объект, можно материализовать его, напечатав на 3D-принтере с применением материалов, которые будут оптимизированы под определенные нагрузки, окружающую среду и т. п. Так сегодня реализуется производство некоторых деталей в самолето- и автомобилестроении, имплантатов в медицине и др. В приведенных примерах граница между информационной и материальной технологиями размывается. Поэтому информационные технологии в экономике, медицине, дизайне или образовании превращаются в цифровую экономику, цифровую медицину, цифровой дизайн или цифровое образование, в которых процедуры управления и исполнения тесно интегрированы и связаны единой цифровой технологией.

Добавление термина «цифровая» к названию предметной области обозначает возможность использования технологий материализации цифровых данных благодаря цифровизации процессов материальной производственной деятельности в этой области.

Выводы

Цифровая экономика, использующая цифровые платформы и экосистемы, геоинформационные системы, процедуры принятия решений на основе данных, технологии материализации данных в реальные объекты, бросает вызовы традиционной методологии деятельности в социально-экономической сфере, сложившейся в рамках индустриального общества, ставит новые задачи перед специалистами в области управления, юриспруденции, педагогики, экономики, безопасности и практически во всех других областях, где взаимодействуют люди, государство и бизнес.

Поскольку представляется важным комплексное изучение актуальных проблем, возникающих на пути создания цифровой экономики Российской Федерации, высказываем пожелание редколлегии журнала «Ученые записки РГГМУ»

ввести на страницах журнала рубрику «Вызовы цифровой экономики». Мы приглашаем к сотрудничеству юристов, экономистов, инженеров, экологов, специалистов в области гидрометеорологии и океанологии, информационной безопасности, государственного и муниципального управления и любых других областей знания, заинтересованных в обсуждении проблем создания цифровой экономики Российской Федерации.

Особый интерес будут представлять исследования в области относительно молодой науки геоинформатики, которая изучает общие свойства геоинформации, закономерностей и методов ее получения, фиксации, накопления, обработки и использования, а также развитие теории, методологии и технологий создания геоинформационных систем с целью сбора, систематизации, хранения, анализа, преобразования, отображения и распространения пространственно-координированных данных, а также в области конвергенции геоинформатики с другими науками об информации, информационных процессах, технологиях и системах.

Список литературы

1. *Шваб К.* Глобализация 4.0. Новая архитектура для четвертой промышленной революции // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2019. № 1(27). С. 79—84.
2. *Устюжанин Е.В. Сигарев А.В., Шеин Р.А.* Цифровая экономика как новая парадигма экономического развития/ / Нац. интересы: приоритеты и безопасность. 2017. Т. 13. № 10. С. 1788—1804.
3. *Положихина М.А.* Национальные модели цифровой экономики // Экономические и социальные проблемы России. 2018. № 1 (37). С. 111—154.
4. Industrie 4.0. Smart Manufacturing for the Future. Berlin: Germany Trade and Invest Gesellschaft Standortmarketing mbH, 2013. 39 p.
5. *Гулин К.А., Усков В.С.* О роли интернета вещей в условиях перехода к четвертой промышленной революции // Проблемы развития территории. 2017. № 4 (90). С. 112—131.
6. *Попов Е.В. Семячков К.А., Файрузова Д.Ю.* Приоритеты экономической политики в развитии цифровой экономики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2019. Т. 13. Вып. 7. С.1198—1214.
7. *Шнепс-Шнеппе М.А. Намиот Д.Е.* Цифровая экономика: телекоммуникации — решающее звено. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 150 с.
8. *Бакаров А.А., Девяткин Д.А., Ершова Т.В., Тихомиров И.А., Хохлов Ю.Е.* Научные заделы России по сквозным технологиям цифровой экономики // Информационное общество. 2018. № 4—5. С. 54—64.
9. *Negroponte N.P.* Being Digital. New York: Alfred A Knopf Inc., 1995. 243 p.
10. *Тупчиенко В.А.* Цифровые платформы управления жизненным циклом комплексных систем. М.: Научный консультант. 2018. 439 с.
11. *Боков С.И.* О роли обеспечения системы управления цифровой экономикой России на основе организации единого информационного пространства // Нанондустрия. 2019. Т. 12. С. 135—139.
12. *Татарникова Т.М., Палкин И.И.* Применение парадигмы интернета вещей в концепции «умного города» // Ученые записки РГГМУ. 2019. № 57. С. 187—197.
13. *Татарникова Т.М.* Анализ данных. СПб: ГЭУ, 2918. 82 с.
14. Спецпредставитель президента РФ: «Цифровая экономика» должна стать национальным прорывом [электронный ресурс]. Режим доступа: https://tass.ru/vef-2018/articles/5593851/ — ТАСС, 2019. Дата обращения: 20.02.2020.
15. *Микадзе С.Ю., Колбанёв М.О., Татарникова Т.М.* Модель информационного взаимодействия для предприятий сервиса // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 9. С. 10—14.

References

1. *Schwab K.* Globalization 4.0. New architecture for the fourth industrial revolution. *Yevraziyskaya integratsiya: ekonomika, pravo, politika*. Eurasian integration: economics, law, politics. 2019. 1 (27):79–84. [In Russian].
2. *Ustyuzhanin E.V., Sigarev A.V., Shein R.A*. Digital economy as a new paradigm of economic development. *Natsional'nyye interesy: prioritety i bezopasnost'*. National interests: priorities and security. 2017. 13(10):1788–1804. [In Russian].
3. *Polozikhina M.A.* National models of the digital economy. *Ekonomicheskiye i sotsial'nyye problemy Rossii*. Economic and social problems of Russia. 2018. 1(37): 111–154. [In Russian].
4. Industrie 4.0. Smart Manufacturing for the Future. Berlin: Germany Trade and Invest Gesellschaft Standortmarketing mbH, 2013. 39 p.
5. *Gulin K.A., Uskov V.S.* On the role of the Internet of things in the transition to the fourth industrial revolution. *Problemy razvitiya territorii.* Problems of the development of the territory. 2017. 4(90): 112–131.
6. Popov E.V. Semyachkov K.A., Fayruzova D.Yu. Priorities of economic policy in the development of the digital economy. *Natsional'nyye interesy: prioritety i bezopasnost'*. National interests: priorities and security. 2019. 13(7):1198–1214. [In Russian].
7. *Shneps-Shneppe M.A. Namiot D.E. Tsifrovaya ekonomika: telekommunikatsii — reshayushcheye zveno.* Digital economy: telecommunications are a crucial link. M.: Hotline-Telecom, 2018:150 p. [In Russian].
8. *Bakarov A.A., Devyatkin D.A., Ershova T.V., Tikhomirov I.A., Khokhlov Yu.E.* Scientific groundwork of Russia on end-to-end technologies of the digital economy. *Informatsionnoye obshchestvo*. Information Society. 2018. 4-5:54–64. [In Russian].
9. *Negroponte N. P.* Being Digital. New York: Alfred A Knopf Inc., 1995:243 p.
10. *Tupchienko V.A. Tsifrovyye platformy upravleniya zhiznennym tsiklom kompleksnykh system*. Digital lifecycle management platforms for integrated systems. M.: Scientific consultant. 2018:443 p. [In Russian].
11. *Bokov S.I.* On the role of providing a system for managing the digital economy of Russia based on the organization of a single information space. *Nanondustriya*. Nanondustriya. 2019. 12:135–139. [In Russian].
12. *Tatarnikova T.M., Palkin I.I.* The use of the paradigm of the Internet of things in the concept of "smart city". *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2019.57:187–197. [In Russian].
13. *Tatarnikova T.M. Analiz dannykh*. Data analysis. St. Petersburg: State University, 2018:82 p. [In Russian].
14. *Spetspredstavitel' prezidenta RF: "Tsifrovaya ekonomika" dolzhna stat' natsional'nym proryvom.* Special Representative of the President of the Russian Federation: "Digital Economy" should be a national breakthrough [electronic resource]. Access mode: https://tass.ru/vef-2018/articles/5593851/. TASS, 2019. Date of access: 02.20.2020.
15. *Mikadze S.Yu., Kolbanev M.O., Tatarnikova T.M.* The model of information interaction for service enterprises. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye.* News of higher educational institutions. Instrument making. 2014. 57(9):10–14. [In Russian].

Статья поступила 29.01.2020
Принята в печать 05.03.2020

Сведения об авторах

Колбанёв Михаил Олегович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный экономический университет; e-mail: mokolbanev@mail.ru

Палкин Иван Иванович, канд. воен. наук, доцент, первый проректор Российского государственного гидрометеорологическиого университета; e-mail: ivanpalkin@mail.ru

Татарникова Татьяна Михайловна, д-р техн. наук, доцент, директор института информационных систем и геотехнологий, Российский государственный гидрометеорологический университет; e-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Information about authors

Kolbanev Mikhail Olegovich, Grand PhD (Tech. Sci.), Professor, Professor of Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State University of Economics

Palkin Ivan Ivanovich, PhD (Military Sci.), docent, First Vice-Rector, Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University

Tatarnikova Tatiana Mikhailovna, Grand PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, Director of the Institute of Information Systems and Geotechnologies, Russian State Hydrometeorological University

УДК [627.212:504](569.1) doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-168-172

«МЯГКИЕ» И «ЖЕСТКИЕ» КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКИХ ПОРТОВ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Алаа Ахмад

Российский государственный гидрометеорологический университет, alaa.enviro@yahoo.com

Рассмотрен актуальный вопрос выбора критериев оценки эффективности функционирования морских портов. На примере морских портов Сирии показана целесообразность использования «мягких» критериев в дополнение к «жестким». Выявлены «мягкие» критерии оценки функционирования основных морских портов Сирии и установлена их роль в восстановлении общественной поддержки расширения портовых комплексов. Сформулированы рекомендации по использованию «мягких ценностей» портов для повышения эффективности их функционирования. Впервые выделены подходы к восстановлению общественной поддержки развития, модернизации и расширения сирийских морских портов.

Ключевые слова: морской порт, «мягкие» и «жесткие» критерии оценки, восстановление общественной поддержки, эффективность функционирования.

THE «SOFT» AND «RIGID» CRITERIA FOR ASSESSING THE FUNCTIONING OF THE SEAPORTS IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

Alaa Ahmad

Russian State Hydrometeorological University

The actuality of the presented study is based on the comparative analysis of criteria that are considered when assessing the effectiveness of the functioning of seaports. On the example of the Syrian seaports, the expediency of using «soft» in parallel with the «rigid» criteria is shown and emphasized. The «soft» criteria for assessing the functioning of the main Syrian seaports have been identified, their role in restoring public support for the expansion of port facilities being established. Recommendations on the use of «soft values» of ports to increase the efficiency of their functioning alongside with the environmental safety principles are suggested. Such approaches to restoring public support for the development, modernization and expansion of Syrian seaports are first highlighted.

Keywords: seaport, «soft» and «rigid» assessment criteria, public support restoration, efficiency of functioning.

For citation: *Alaa Ahmad.* The «Soft» and «Rigid» Criteria for Assessing the Functioning of the Seaports in Syrian Arab Republic. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 168—172. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-168-172

Введение

Описание морских портовых комплексов (МПК) традиционно осуществляется с помощью набора «жестких» технико-экономических показателей (критериев функционирования) — тоннаж и размеры принимаемых судов, глубина

подходных путей, протяженность линии причалов, интенсивность и объем грузооборота, развитость логистической структуры и т. п. Данные критерии адекватно воспринимаются специалистами по проведению портостроительных работ, однако вызывают непонимание у местного населения, среди которого начинает преобладать настороженное и даже негативное отношение к расширению действующих и строительству новых МПК. В связи с этим в последние годы специалисты по управлению береговыми зонами предлагают использовать «мягкие» критерии оценки функционирования портов, характеризующие их неэкономические ценности. Предполагается, что их учет может внести значительный вклад в восстановление общественной поддержки портовой отрасли и в установление нового баланса между осуществляемыми МПК операциями (перевозки, разгрузочно-погрузочные и ремонтные работы и др.) и проблемами охраны окружающей среды [1].

Сравнение «мягких» и «жестких» критериев функционирования морских портов чрезвычайно актуально в настоящее время для Сирийской Арабской республики (САР), в которой принята программа восстановления и развития МПК, требующая одобрения широких слоев населения. Выполнение такого сравнения является основной целью настоящей работы.

Рассматриваемые объекты — морские порты Сирии

Объектами исследования являются морские порты САР, инфраструктура которых нарушена военно-политическим кризисом. В настоящее время большая часть территории САР вновь находится под контролем законного правительства. Администрация портов планирует восстановить их важную экономическую роль, но достижение данной цели требует обеспечения поддержки не только экспертов по управлению береговой зоной, но и местного населения. Сирийские порты административно связаны с Генеральной дирекцией портов, которая занимается административной деятельностью по контролю действующего законодательства и осуществлению постановлений, связанных с морским судоходством, а также с разработкой и реализацией новых портовых проектов и их технического обслуживания. Генеральная дирекция портов расположена в г. Латакия [2].

МПК Сирии расположены на восточном берегу Средиземного моря, в регионе с историческим названием Левант. Основными портами являются следующие.

Порт Латакия — главный морской порт САР, обеспечивающий бесперебойный поток импортных и экспортных не-нефтяных продуктов. История порта восходит к финикийской эпохе. Начиная со Средних веков, значение Латакии как центра торговли постепенно уменьшалось. В начале 2019 г. порт принял стратегический план восстановления, включающий в себя углубление акватории и подходных каналов и строительство нового контейнерного терминала.

Порт Тартус расположен на северо-западе Сирии. Во времена римского контроля над Левантом Тартус был важной базой флота Римской империи. В настоящее время порт является главной базой Сирийского арабского флота. В 2019 г. Российская компания АО «Стройтрансгаз» подписала долгосрочный инвестиционный контракт с сирийскими властями по развитию порта Тартус [2].

Порт Баниас расположен неподалеку от МПК Тартус. Играет важную роль в транспортировке нефти, поскольку завершает собой трубопровод Киркук — Баниас из Ирака и загружает суда, поставляющие нефть на европейские рынки. Пропускная способность трубопровода в порт составляет 2,5 млн баррелей в день.

Порт Джабле представляет собой небольшую рыбацкую гавань, расположенную в историческом центре г. Джабле на северо-западе САР. Первые портовые сооружения на месте нынешнего порта Джабле были построены из камня в финикийскую эпоху примерно 3500 лет тому назад, то есть исторически это один из самых ранних портов на восточном побережье Средиземного моря.

Порт Арвад расположен на острове Арвад у побережья Тартуса на северо-западе САР. Гавань была известна с древних времен, когда являлась важным центром торговли и кораблестроения финикийцев и использовалась также для сбора моллюсков с целью получения выделяемой ими пурпурной краски, чрезвычайно ценившейся в античном мире.

Белая Мина — один из наиболее старых портов Леванта. Расположен недалеко от г. Латакия. Здесь в период бронзового века располагался главный порт восточного Средиземноморья — Угарита. Достаточно важное значение порт сохранил в персидский период, но постепенно был заброшен. С 1970-х годов это место стало военным портом, принадлежащим военно-морским силам САР.

Роль «мягких» и «жестких» критериев в формировании имиджа порта

Анализ публикаций в СМИ и опросы населения показывают, что использование «жестких» критериев оценки деятельности МПК и пренебрежение «мягкими» привело к началу XXI века к формированию в обществе отрицательного имиджа портов. Негативный образ МПК в представлении местного (припортового) населения обусловлен следующим причинами: высокая нагрузка со стороны объектов портовой инфраструктуры на окружающую среду и постоянное присутствие рисков ее загрязнения; концентрация интересов топ-менеджеров портовой отрасли на задачах и целях собственного бизнеса без учета интересов местного населения; высокий уровень коррупции в мировой судоходной отрасли; малоинтересный, утилитарный дизайн портовых сооружений; дегуманизация портовых территорий: вытеснение людей работающими механизмами; традиционно высокий уровень преступности в портовых зонах. «Жесткие» показатели не уделяют внимания этим аспектам функционирования МПК. Перспективность же «мягких» критериев (историзм, эстетическая привлекательность, экологическая безопасность, открытость для туристов и посетителей, сохранение биологического разнообразия прибрежно-морских экосистем) обусловлена тем, что они обеспечивают действительно комплексный подход к управлению неэкономическими ценностями.

Элементы управления «мягкими ценностями» для МПК могут включать в себя развитие связей с общественностью, создание портовых музеев, управление ландшафтами в исторических центрах портовых городов, реинтеграцию портовой деятельности и городской жизни, управление недвижимым наследием портов, признание и развитие ландшафтных и архитектурных ценностей портовых

районов, открытие портовых зон для туризма и отдыха, вовлечение портовых властей в связанные с портами культурные инициативы, сотрудничество с организациями морского наследия.

В принципе, «мягкие» критерии оценки деятельности МПК не должны полностью заменять собой достаточно разумные и рациональные «жесткие» технико-экономические обоснования планов и проектов. Напротив, «мягкие» критерии следует рассматривать как средство уравновешивания различных стратегий развития береговых зон. Эффективное управление «мягкими» ценностями морских портов может способствовать восстановлению общественной поддержки эксплуатации и развития МПК и помочь как портовым властям, так и портовым городам снять современное «общественное табу» на эти мероприятия.

Анализ «мягких» и «жестких» показателей состояния и перспектив развития морских портов САР показал, что культурно-историческое значение сирийских портов не уступает их экономической роли в регионе. В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа «жестких» и «мягких» ценностей сирийских портов.

Таблица 1

«Жесткие» и «мягкие» ценности сирийских портов: результаты сравнительного анализа

«Rigid» and «soft» values of Syrian ports: results of a comparative analysis

Порт	«Жесткие» ценности	«Мягкие» ценности
Латакия	Главный морской порт в Сирии Транзитный коридор для поддержки экспортных и импортных перевозок товаров Обеспечивает все логистические услуги	Памятник истории и культуры: история порта восходит к финикийской эпохе
Баниас	Играет важную роль в экспорте нефти Центр технического обслуживания маломерного флота	Туристско-рекреационный центр (в порту функционирует морской ресторан)
Джабле	Небольшая рыбацкая гавань	Памятник истории и культуры: история порта восходит к финикийской эпохе В районе порта сохранилось много археологических памятников
Тартус	Главная база Сирийского арабского флота	Историческая ценность (сохранились руины древнего римского порта)
Арвад	Поддерживающая станция для порта Тартус Сбор моллюсков с целью получения выделяемой ими пурпурной краски. Промысел губок	Историческая ценность (гавань являлась важным центром торговли и кораблестроения финикийцев) Туристическо-рекреационный центр
Белая Мина	Военный порт	Историческая ценность (один из наиболее старых портовых районов Леванта)

Заключение

«Мягкие» ценности сирийских портов следует учитывать в процессе управления береговой зоной САР в интересах возможно более полной эксплуатации общего потенциала МПК. В целом может быть предложено как минимум три

подхода к восстановлению общественной поддержки развития, модернизации и расширения сирийских морских портов:

1) разработка эфффективной политики в области связей с общественностью и внешних коммуникаций;

2) экологизация политики управления портами с использованием концепции «экологически дружественного порта»;

3) совершенствование управления взаимоотношениями со всеми заинтересованными сторонами («стейкхолдерами»).

Наиболее очевидными механизмами реализации потенциала «мягких ценностей» МПК могут стать: проведение семинаров для ознакомления с исторической ролью портов параллельно с организацией экскурсий по их археологическим объектам; организация специализированных выставок на территории кампуса с акцентом на развлекательные мероприятия, «морские фестивали» и т. п. в сотрудничестве с международными организациями, специализирующимися на морском наследии.

Настоящая работа была выполнена в рамках подготовки кандидатской диссертации автора.

Список литературы

1. *Van Hooydonk, E.* Soft Values of Seaports. A strategy for the restoration of public support of seaports. Garant, Antwerp, 2007. 191 p.
2. Syrian Maritime Authorities. Syrian Arabic Republic, Ministry of Transport [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gdp.gov.sy/en/ (дата обращения 25.01.2020.)

References

1. *Van Hooydonk, E.* Soft Values of Seaports. A strategy for the restoration of public support of seaports. Garant, Antwerp. 2007: 191 p.
2. Syrian Maritime Authorities. Syrian Arabic Republic, Ministry of Transport. Available at: http://www.gdp.gov.sy/en/ (accessed 25.01.2020).

Статья поступила 29.02.2020
Принята в печать 13.03.2020

Сведения об авторе

Ахмад Алаа — выпускник аспирантуры РГГМУ, соискатель степени канд. геогр. наук, alaa.enviro@yahoo.com

Information about the author

Ahmad Alaa — graduated student, RSHU, PhD candidate (Ecogeogr.).

doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-173-174

ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ЛСО РГГМУ

В ноябре 2019 г. в Лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ прошла очередная ежегодная школа молодых ученых. Школа проводится по проекту «Система морской лед — океан — атмосфера в Арктике по данным спутниковых наблюдений и моделирования», финансируемому Российским научным фондом в рамках Президентской программы исследовательских проектов «Проведение исследований научными лабораториями мирового уровня».

Научный коллектив ЛСО, магистры и студенты РГГМУ, СПбГУ, а также молодые ученые из МГИ РАН прослушали курс лекций по ключевым направлениям изучения Мирового океана и Арктики на основе использования спутниковых данных и моделирования.

По ключевым направлениям изучения Мирового океана и Арктики на основе использования спутниковых данных и моделирования выступили ведущие российские (ЛСО РГГМУ, ААНИИ, МГИ РАН) и зарубежные ученые:

— научный руководитель Лаборатории профессор Bertrand Chapron из Французского научно-исследовательского института эксплуатации морских ресурсов IFREMER, г. Брест, Франция;

Выступление ведущего научного сотрудника ЛСО РГГМУ Е.В. Заболотских.

Проректор по научной работе РГГМУ И.И. Мушкет и научный руководитель ЛСО РГГМУ профессор Бертран Шапрон (Bertrand Chapron).

— координатор научных проектов, профессор Johannessen Johnny из Центра по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, г. Берген, Норвегия;

— профессор Martin Gade из Института океанографии Университета Гамбурга, г. Гамбург, Германия.

doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-175-177

XXIV САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ АССАМБЛЕЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

12 декабря 2019 г. в Санкт-Петербургском горном университете состоялась XXIV Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов. На ассамблее традиционно подвели итоги реализуемой правительством города программы грантовой поддержки молодых ученых, которая работает уже на протяжении 20 лет. Мероприятие направлено на популяризацию научной, научно-технической и образовательной деятельности среди молодежи северной столицы.

В рамках Ассамблеи ежегодно проводится торжественная церемония награждения стипендиатов и победителей конкурсов грантов, проводимых Комитетом по науке и высшей школе, включающая в себя выставку достижений научно-образовательной сферы города. В общей сложности в ассамблее приняли участие более 900 стипендиатов. Поздравить начинающих ученых собрались представители органов государственной власти, руководители вузов, профессиональных образовательных организаций и научных учреждений.

На торжественной церемонии губернатор Санкт-Петербурга Александр Дмитриевич Беглов лично наградил почетными дипломами и памятными подарками победителей конкурса грантов среди студентов, аспирантов, молодых ученых, молодых кандидатов наук, доклады которых были признаны лучшими на круглых столах в рамках ассамблеи, и многократных стипендиатов Правительства

XXIV Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов (фото предоставлено gov.spb.ru).

Губернатор Санкт-Петербурга Александр Дмитриевич Беглов
(фото предоставлено gov.spb.ru).

Санкт-Петербурга — студентов высших и средних учебных заведений — за выдающиеся научные результаты в области науки и техники.

Представителями РГГМУ на XXIV Санкт-Петербургской ассамблее молодых ученых и специалистов выступили советник при ректорате В.Н. Воробьев, начальник УНИИ А.А. Ершова, инженер УНИИ Е.В. Платонова.

В научных конкурсах грантов также приняли участие студенты РГГМУ. По итогам конкурсов было отмечено шесть студентов.

1. Победителями конкурса грантов для студентов вузов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, в 2019 г. стали:

— Анастасия Александровна Кирилова с работой «Исследование изменчивости кислорода и фосфатов в восточной части Финского залива по натурным данным в летний период»,

— Мария Андреевна Макарова с работой «Оценка влияния возможных максимальных значений концентраций на сток биогенов в условиях аварийных ситуаций»,

— Виктория Сергеевна Никитина с работой «Чувствительность и инерция метеорологических измерительных приборов».

2. Победителями конкурса на право получения именных стипендий Правительства Санкт-Петербурга в 2019 г. стали:

— Андрей Сергеевич Кирьянов,

— Тимур Ильгизович Низамутдинов,

— Елизавета Андреевна Яговкина.

Студенты РГГМУ, получившие гранты и именные стипендии
Правительства Санкт-Петербурга в 2019 г.

В этом году поддержку города получили 972 молодых специалиста. По результатам проектов молодые ученые опубликовали научные работы, сделали доклады на престижных научных конференциях, приняли участие в международных творческих конкурсах.

ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ЮРИЯ ЛЕОНИДОВИЧА МАТВЕЕВА (1952—2020)

Юрий Леонидович Матвеев в 1976 г. окончил факультет прикладной математики Ленинградского государственного университета. По окончании ЛГУ он приступил к работе в вычислительном центре ЛГМИ, где занимался научной работой в области метеорологии под руководством своего отца, известного ученого, доктора физико-математических наук Л.Т. Матвеева. После защиты кандидатской диссертации Юрий Леонидович стал совмещать научную работу с педагогической деятельностью. В 1997 г., защитив диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, он возглавил кафедру Высшей математики и информатики в Государственной полярной академии.

Возвращение Юрия Леонидовича в РГГМУ связано связано с присоединением в 2015 г. Государственной полярной академии к РГГМУ. Возглавив объединенную кафедру высшей математики и теоретической механики, он внес заметный вклад в подготовку кадров гидрометеорологов и экологов, а также в развитие ряда направлений метеорологии и климатологии, таких как динамика полей облачности, изменение климата урбанизированных территорий, моделирование осадков и др.

Профессору Ю.Л. Матвееву принадлежит пять монографий, учебник и более 50 статей. Он являлся академиком Петровской академии наук и искусств, членом диссертационного совета РГГМУ по метеорологии, награжден почетными грамотами Министерства образования и науки РФ (2016), Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (1999).

Юрий Леонидович вел активный образ жизни. Был большим поклонником самых разных видов спорта (футбол, баскетбол, волейбол, лыжи, горные лыжи). Принимал активное участие в спортивных мероприятиях.

Светлая память о Юрии Леонидовиче, прекрасном человеке и верном друге, навсегда сохранится в наших сердцах.

Коллеги, друзья, ученики

Н А У Ч Н О Е И З Д А Н И Е

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 58

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Начальник РИО А.В. Ляхтейнен
Технический редактор М.В. Иванова

Подписано в печать 23.04.2020. Формат 70×100 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,625. Тираж 500 экз. Заказ № 915.
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС2-8484 от 07 февраля 2007 г.
в Управлении Федеральной службы в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу
Учредитель: Российский государственный гидрометеорологический университет