

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 41

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762



Санкт-Петербург
2015

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

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 41. Научно-теоретический журнал. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 274 с.

ISSN 2074-2762

Представлены статьи сотрудников университета и приглашенных специалистов по широкому спектру направлений научной деятельности университета.

Материал сгруппирован по специальностям. Главное внимание уделено проблемам изменения климата, физических процессов в морях, водохозяйственных исследований, экономических механизмов рационального природопользования. В разделе «Хроника» освещены основные события жизни университета.

Предназначен для ученых, исследователей природной среды, экономистов природопользования, аспирантов и студентов, обучающихся по данным специальностям.

Редакционный совет:

Михеев В.Л., канд. юрид. наук, и.о. ректора РГГМУ — *председатель совета.*

Вильфанд Р.М., д-р техн. наук, проф., директор 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. университета г. Гамбург (Германия) и университета г. Манчестер (Великобритания); **Румянцев В.А.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН, директор института озераведения РАН; **Федоров М.П.**, д-р техн. наук, проф., академик РАН, научный руководитель программы НИУ СПб ГПУ; **Фролов И.Е.**, д-р геогр. наук, проф., академик РАН, директор ГНЦ ААНИИ; **Хуакин Л.**, д-р наук, проф., вице-ректор Морского университета г. Джейанг (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.*

Воробьев В.Н., канд. геогр. наук, проф. — *зам. главного редактора.*

Шилин М.Б., д-р геогр. наук, проф. — *отв. секретарь.*

Бескид П.П., д-р техн. наук, проф.; **Быкова Е.В.**, д-р филолог. наук; **Гогоберидзе Г.Г.**, д-р эконом. наук; **Коваленко В.В.**, д-р техн. наук, проф.; **Кудрявцев В.Н.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Смышляев С.П.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Угрюмов А.И.**, д-р геогр. наук, проф.; **Фирова И.П.**, д-р эконом. наук, проф.

ISSN 2074-2762

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.

Подписной индекс 78576 в каталоге «Каталог российской прессы «Почта России».

Журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>).

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции:

Россия, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
Тел.: (812) 633-01-88

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2015

© Авторы публикаций, 2015

Ministry of Education and Science of the Russian Federation

FEDERAL STATE-FUNDED EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER VOCATIONAL EDUCATION
RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY

PROCEEDINGS
***OF THE RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL
UNIVERSITY***

Nº 41

A theoretical research journal

*Published since October, 2005
4 issues a year*

ISSN 2074-2762



*St. Petersburg
2015*

UDC 3 + 502.52 + 55

LBC 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Issue 41. — St. Petersburg: RSHU Publishers, 2015. — 274 pp.

ISSN 2074-2762

The journal presents research papers of the University associates and invited specialists dealing with a broad range of directions in the scientific activities of the University.

The material is grouped according to areas of research. Much attention is given to problems of climate change, physical processes in the seas, water management studies, economic mechanisms of rational nature management. Section «Chronicle» highlights major events in the University's life.

The journal is intended for scientists studying the environment, specialists in economics of nature management, PhD students and undergraduates specializing in these fields of knowledge.

The Editorial Board:

Mikheyev V.L., Candidate of Juridical Sciences, acting Rector of RSHU — *Chairman*.

Vilfand R.M., Doctor of Engineering Science, Professor, 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); **Rumyantsev V.A.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of Institute of Limnology of the Russian Academy of Science; **Fedorov M.P.**, Doctor of Engineering Science, Academician of the Russian Academy of Sciences, President of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; **Frolov I.E.**, Doctor of Geographical Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural 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 — *Executive editor*.

Beskid P.P., Doctor of Engineering Science, Professor; **Bykova E.V.**, Doctor of Philology; **Gogoberidze G.G.**, Doctor of Economics; **Kovalenko V.V.**, Doctor of Engineering Science, Professor; **Kudryavtsev V.N.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; **Smyshlyaev S.P.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor; **Ugryumov A.I.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor; **Firova I.P.**, Doctor of Economics, Professor.

ISSN 2074-2762

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.

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>).

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

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

Editorial Office address:

195196, Malookhtinsky Ave, 98, St. Petersburg, Russia
Tel.: +7 812 633-01-88

© Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 2015
© Authors of publications, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

К 85-летию университета

<i>Угрюмов А.И.</i> Высшая школа российских гидрометеорологов (85 лет Российскому государственному гидрометеорологическому университету)	9
<i>Гогоберидзе Г.Г., Воробьев В.Н., Заболотников Г.В.</i> Научные исследования РГГМУ: 10 прошедших лет	31
<i>Ерёмина Т.Р., Хаймина О.В., Шилин М.Б., Аверкиев А.С., Ершова А.А., Гордеева С.М., Кочеткова Е.С., Рябченко В.А.</i> Совершенствование подготовки кадров в области прикладных морских наук: проект eMaris программы Европейского союза ТЕМПУС	41

Гидрология

<i>Коваленко В.В.</i> Переходные процессы при оценивании долгосрочных гидрологических последствий изменения климата	48
<i>Барышников Н.Б., Дрегваль М.С., Овсейко П.П., Субботина Е.С.</i> Воздействие эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на гидравлические сопротивления русел и пойм	55
<i>Догановский А.М., Мякишева Н.В.</i> Водный баланс и внешний водообмен озер России и сопредельных территорий	63

Океанология

<i>Шапрон Б., Кудрявцев В., Заболотских Е.</i> Проект Мегагрант: основные итоги	76
<i>Малинин В.Н.</i> Изменения уровня Мирового океана и климата	100
<i>Зимин А.В., Романенков Д.А., Атаджанова О.А., Родионов А.А., Моисеев А.В.</i> Опыт разработки системы мониторинга короткопериодных процессов и субмезомасштабных структур в Белом море и результаты ее апробации летом 2014 г.	116
<i>Гордеева С.М., Соколов А.А.</i> Климатическая оценка водного баланса Норвежского моря	126

Метеорология

<i>Смышляев С.П., Погорельцев А.И., Дробашевская Е.А., Канухина А.Ю.</i> Влияние динамических факторов на озоновые аномалии в Арктике	136
<i>Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н.</i> Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт-Петербургом в 2006–2014 гг.	149
<i>Ковалев Д.С., Тертышников А.В., Чукин В.В., Глухов Я.В.</i> Эксперименты по исследованию ионосферы с Арктического плавучего университета	156

Экология

<i>Кононенко М.Р., Царькова Н.С., Аполинарлова М.М., Шилин М.Б.</i> Формирование экологической стратегии для морского порта Усть-Луга	165
<i>Дроздов В.В.</i> Комплексная геоэкологическая оценка состояния экосистем внутренних морей: научно-практические подходы и методы	174
<i>Фрумин Г.Т.</i> Токсичность химических веществ для человека	188
<i>Музалевский А.А., Карлин Л.Н.</i> Оценка и управление качеством трансграничных водных объектов	199
<i>Биденко С.И., Сердитова Н.Е., Травин С.В., Михайлов Н.Б., Хренов М.М.</i> Информационное пространство управления региональной эколого-экономической активностью	212

Информационные технологии

Бескид П.П., Байков Е.А., Истомин Е.П., Соколов А.Г., Фокичева А.А.

Геоинформационное управление как современный подход к управлению
пространственно-распределенными системами и территориями 220

Социально-гуманитарные науки

Алимов А.А. Вызовы и угрозы XXI века: что происходит, кто виноват и что делать? 240

Биненко В.И. О первых беспосадочных перелётах на самолёте АНТ-25 по маршруту
Москва—Северный полюс—США. 250

Хроника. 259

Список авторов 270

Условия публикации в журнале «Учёные записки РГГМУ» 272

CONTENTS

For 85th Anniversary of the University

<i>Ugryumov A.I.</i> High school of the Russian meteorologists (85-th Anniversary of the Russian State Hydrometeorological University)	9
<i>Gogoberidze G., Vorobyev V., Zabolotnikov G.</i> RSHU research: 10 years.	31
<i>Eremina T., Khaimina O., Shilin M., Averkiev A., Ershova A., Gordeeva S., Kochetkova E., Ryabchenko V.</i> Development of professional training in applied marine sciences: eMaris project of the European Union TEMPUS programme	41

Hydrology

<i>Kovalenko V.V.</i> Transients in estimating long-term hydrological impacts of climate change.	48
<i>Baryshnikov N.B., Dregval M.S., Ovseyko P.P., Subbotina E.S.</i> Impact of the riverbed and floodplain currents interaction onto hydraulic resistance of riverbeds and floodplains	55
<i>Doganovsky A.M., Myakisheva N.V.</i> Water balance and external water exchange of lakes of Russia and adjacent territories.	63

Oceanology

<i>Chapron B., Kudryavtsev V., Zabolotskikh E.</i> Megagrant Project: general results	76
<i>Malinin V.N.</i> Global sea level and climate variation.	100
<i>Zimin A.V., Romanenkov D.A., Atadzhanova O.A., Rodionov A.A., Moiseev A.V.</i> Experience of the system development for monitoring of short-period processes and submesoscale structures in the White Sea and results of its approbation in the summer of 2014	116
<i>Gordeeva S.M., Sokolov A.A.</i> The climatological estimate of water balance of the Norwegian sea.	126

Meteorology

<i>Smyshlyaev S.P., Pogoreltsev A.I., Drobashchevskaya E.A., Kanukhina A.Yu.</i> Dynamical processes impact on the arctic ozone depletion	136
<i>Lazareva E.O., Popova E.S., Lipovitskaya I.N.</i> The influence of temperature inversions on the concentration of impurities in the surface layer of air in St. Petersburg during the period of 2006–2014	149
<i>Kovalev D.S., Tertyshnikov A.V., Chukin V.V., Glukhov Y.V.</i> Experiments on ionosphere research on board the Arctic Floating University.	156

Ecology

<i>Kononenko M.R., Tsarkova N.S., Apolinarova M.M., Shilin M.B.</i> Development of the environmental strategy for the sea port of Ust-Luga	165
<i>Drozhdov V.V.</i> Complexed geo-ecological assessment of inland seas ecosystems: the scientific and practical approaches and methods	174
<i>Frumin G.T.</i> Toxic of chemicals substances to man	188
<i>Muzalevskii A.A., Karlin L.N.</i> Assessment and quality management of cross-border water bodies.	199
<i>Bidenko S.I., Serditova N.E., Travin S.V., Mikhailov N.B., Khrenov M.M.</i> Informational space of management of regional eco-economic activity.	212

Information technologies

<i>Beskid P.P., Baikov E.A., Istomin E.P., Sokolov A.G., Fokicheva A.A.</i> Geoinformation management as a modern approach to the control of spatially distributed systems and territories	220
--	-----

Social science and humanities

<i>Alimov A.A.</i> Challenges and threats in the XXI century: what is going on, who is to blame and what is to be done?	240
<i>Binenko V.I.</i> About the first non-stop flights the ANT-25 route on the route Moscow – North Pole – USA	250
Chronicle	259
List of authors.	270
Terms of publication in the RSHU Proceedings Journal	272

К 85-ЛЕТИЮ УНИВЕРСИТЕТА

А.И. Угрюмов

**ВЫСШАЯ ШКОЛА РОССИЙСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГОВ
(85 ЛЕТ РОССИЙСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ)**

A.I. Ugryumov

**HIGH SCHOOL OF THE RUSSIAN METEOROLOGISTS
(85-TH ANNIVERSARY OF THE RUSSIAN STATE
HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY)**

Статья посвящена истории создания и развития единственного в мире специализированного гидрометеорологического высшего учебного заведения — Российского государственного гидрометеорологического университета в Санкт-Петербурге (РГГМУ). Показано, как с момента своего образования в 1930 г. в РГГМУ постоянно совершенствовался учебный процесс, отвечая текущему развитию науки и требованиям практики. Гидрометеорология как самостоятельная научная дисциплина во многом и родилась в стенах университета, откуда вышли многие выдающиеся ученые и руководители отрасли. Показана роль университета в обучении студентов из многих стран мира.

Ключевые слова: Российский государственный гидрометеорологический университет, история создания и развития, учебный процесс, ученые, студенты.

The history of the establishment and development of the only in the world special hydrometeorology high school — Russian State Hydrometeorological University in Saint-Petersburg is considered. It is illuminated how the study processes had been developed continuously for the best approach to current state of the hydrometeorological science and practice. By the efforts of the university scientists many parts of hydrometeorology have been formed as the contemporaneous science. The role of the university as the international center of study is illuminated.

Key words: Russian State Hydrometeorological University, history of the establishment and development, study processes, scientists, students.

Российский государственный гидрометеорологический университет — единственный в мире вуз, готовящий специалистов в области наук об атмосфере, океане и водах суши, имеет длительную и славную историю. Основанный в 1930 г., он уже 85 лет служит делу воспитания квалифицированных научных и оперативных кадров не только для России, но и для многих зарубежных стран.

Основание нашего университета имеет интересную историю. В начале 1930 г. в Москве, на физическом факультете МГУ, обсуждался вопрос о создании геофизического

отделения факультета, которое объединило бы обучение студентов по трем уже оформившимся к тому времени направлениям науки о воздушной и водной оболочках Земли: метеорологии, гидрологии и океанологии. За открытие геофизического отделения особенно активно выступала так называемая «студенческая фракция» Ученого Совета факультета, в состав которой входили такие известные впоследствии ученые, а тогда всего лишь студенты, как И.Г. Петровский, будущий ректор МГУ, и В.А. Белинский, ставший потом признанным авторитетом в области общей и динамической метеорологии. «Студенческая фракция» добилась приема у самого наркома просвещения А.С. Бубнова. На приеме студенты пошли еще дальше, предложив наркому основать самостоятельный учебный институт по гидрометеорологии... Было бы наивным думать, что нарком принял решение исключительно под влиянием юношеского задора увлеченных студентов. Однако незадолго до этого он внимательно ознакомился с докладом начальника Единой Гидрометслужбы СССР А.Ф. Вангенгейма о задачах по дальнейшему развитию советской гидрометеорологии, в котором содержалось близкое по смыслу предложение. Совпадение мнений руководителей крупных государственных структур и будущих строителей новой науки сыграло свою положительную роль: 23 июля 1930 г. было принято Постановление Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров СССР № 40/237 «О реорганизации вузов, техникумов и рабфаков», на основании которого был создан Московский гидрометеорологический институт (МГМИ). Эту дату и следует считать временем рождения нашего нынешнего Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ).



Василий Алексеевич Белинский

Первым директором МГМИ был назначен только что сошедший со студенческой скамьи геофизического отделения МГУ, один из инициаторов создания нового института — Василий Алексеевич Белинский. Назначение молодого специалиста руководителем нового вуза — событие, не имеющее аналогов в истории высшего образования не только в нашей стране, но и за рубежом.

Первоначально МГМИ занял небольшое здание в Краснопресненском районе Москвы, принадлежавшее астрономической обсерватории МГУ и предназначенное для метеорологических наблюдений, по адресу Большевицкая ул., 13 (ныне Большой Предтеченский переулок). Здание было очень небольшим, и поэтому первый набор студентов осенью 1930 г. составил всего 20 человек. В дальнейшем учебный процесс постоянно сопровождался расширением здания, в котором самое

непосредственное участие приняли преподаватели и студенты института. К 1935 г. бывший корпус метеообсерватории был надстроен до четырех этажей, а во дворе вырос совершенно новый трехэтажный флигель. В результате к этому времени численность студентов удалось довести до 500 человек, а в 1940 г. она составила уже 1 000 человек.

Безусловно, вопрос размещения нового института был важен, но еще более важным было создание программ обучения студентов, формирование новых, еще не очень

ясно каких, учебных дисциплин, организация факультетов. Поскольку нигде в мире выпуск специалистов-гидрометеорологов в то время не практиковался, программы и учебники под них приходилось «с нуля» создавать преподавателям института. Говоря студенческим языком, «списать» было не у кого. И вот здесь колоссальную роль играл правильный подбор преподавательских кадров.

Первоначально институт состоял из двух факультетов: метеорологического и гидрологического; в 1932 г. на гидрологическом факультете появилась кафедра океанологии. При перечислении имен первых организаторов и преподавателей института невольно охватывает священный трепет — что ни фамилия, то будущая научная школа мирового значения, или непреходящей ценности учебник, или фундаментальные научные открытия или классические методы прогнозов.

С.П. Хромов, основатель отечественной школы синоптической метеорологии, А.Ф. Дюбюк, специалист по физике облаков и автор первого объективного метода прогноза количества осадков, Б.П. Алисов, создатель одной из самых совершенных в мире классификации климатов Земли, А.Х. Хргиан, автор неоднократно переиздававшегося учебника «Физика атмосферы», М.С. Аверкиев, универсальный ученый в области общей метеорологии, приборов и методов метеорологических наблюдений, С.И. Небольсин, основатель Московского бюро погоды в 1918 г., В.А. Белинский — мировая величина в области динамической метеорологии.

Специалистов-гидрологов в современном понимании (гидрология суши) в то время не существовало нигде в мире. Все организаторы гидрологического факультета были по образованию гидротехниками, гидрология как самостоятельная геофизическая наука еще только-только начала оформляться, и здесь немалую роль сыграли преподаватели и ученые нашего университета. Первым деканом гидрологического факультета стал профессор Е.И. Близняк, крупнейший специалист в области проектно-изыскательских работ, он же одновременно возглавил кафедру водных исследований. Заведующий кафедрой общей гидрологии Б.П. Орлов был человеком энциклопедических знаний, выдающимся преподавателем-педагогом, впоследствии он был избран действительным членом Академии педагогических наук СССР. Б.А. Аполлов возглавил прогностическое направление, стал автором первых в стране учебников по гидропрогнозам и гидрологии рек. Динамику русловых процессов преподавал профессор М.А. Великанов, идеолог геофизического направления изучения природных вод и признанный основатель науки «гидрология суши».

Организацией подготовки океанологов в составе гидрологического факультета занимались два самых известных, пожалуй, океанолога нашей страны: Н.Н. Зубов и В.В. Шулейкин. Они фактически являются основателями многих направлений исследований в отечественной океанографии: динамической океанологии, физики моря, учения о морских льдах.

Особенно нужно отметить целое созвездие великолепных математиков, преподававших в МГМИ со времени его основания. Это академик М.В. Келдыш, президент АН СССР с 1961 по 1975 г., основатель Сибирского отделения АН СССР академик М.А. Лаврентьев, академик Н.Е. Кочин, который вместе с И.А. Кибелем впервые в мире разработал принципы численного прогноза погоды, известный авторитет в области математической статистики Е.Е. Слуцкий. Во времена МГМИ многие из них были еще кандидатами наук.

Можно утверждать, что трудами преподавателей МГМИ, разрабатывавшими учебные планы, писавшими учебники по совершенно новым дисциплинам, была заложена основа формирования гидрометеорологии как самостоятельной геофизической науки в нашей стране. Фактически на пустом месте специалисты нашего института на многие годы очертили контуры новой науки и наполнили их содержанием, которое лишь требовало развития в заданных направлениях. Возникли первые научные школы, возглавляемые такими крупными учеными, как Б.П. Алисов, Б.А. Аполлов, Б.В. Близняк, В.Ф. Бончковский, М.А. Великанов, Н.Н. Zubov, С.И. Небольсин, Б.В. Поляков, С.П. Хромов, В.В. Шулейкин. В 1939 г. вышел первый выпуск Трудов МГМИ, в который, наряду со статьями ведущих ученых, вошли научные работы молодых преподавателей и студентов.

К десятилетию своей деятельности в 1940 г. Московский гидрометеорологический институт уже являлся вполне сложившимся специализированным вузом. Все предвещало дальнейшее развитие института... Но 22 июня 1941 г. началась война, перечеркнувшая мирные планы. Гидрометеорологи, как и весь наш народ, встали на защиту Родины.

Уже 15 июля 1941 г. постановлением Государственного комитета обороны (ГКО) и приказом Ставки Верховного Главнокомандования «О подчинении Главного управления Гидрометслужбы СССР при СНК СССР Народному комиссариату обороны СССР» было создано Главное управление Гидрометслужбы Красной Армии (ГУГМС КА). Один из пунктов этого постановления обязывал ГУГМС КА произвести «укомплектование органов Гидрометслужбы Красной Армии специалистами всех уровней и снабжение их всеми специальными приборами и пособиями». С этой целью распоряжением СНК СССР № 8066 от 16 августа 1941 г. Московский гидрометеорологический институт был преобразован в Высший военный гидрометеорологический институт Красной Армии (ВВГМИ КА). Бывшие студенты, став слушателями, готовились кадровыми офицерами, в военный институт были зачислены практически все преподаватели МГМИ, кто подлежал призыву.

Тем временем на фронте сложилась очень тяжелая обстановка: в октябре 1941 г. немцы совсем близко подошли к Москве, и хотя их наступательный порыв практически иссяк, необходимо было отстаивать столицу любой ценой. Наш институт фактически уже представлял собой готовую воинскую часть, поэтому из студентов и некоторых преподавателей был сформирован настоящий пехотный полк из трех батальонов, переведенный на казарменное положение. Полк готовили не только для обороны Москвы за ее пределами, но и для ведения уличных боев в самом городе. С этой целью были сформированы три группы «крепких ребят», которых обучал приемам САМБО (самозащита без оружия — чисто русский вид боевого искусства) сам основатель этого способа борьбы М.Х. Харлампиев.

22 октября 1941 г. наш пехотный полк погрузили в два воинских эшелона, к одному из них была прицеплена платформа с установленными на ней двумя зенитными пулеметами. Все становилось ясным — надо закрывать собою столицу... Но каково же было удивление несостоявшихся защитников Москвы, когда поутру они обнаружили свой эшелон на Волге, стоявшим на подъездных путях к городу Горькому!... Наконец, эшелон 22 ноября 1941 г. остановился в городе Ленинабаде Таджикской

СССР (теперь — Ходжент). Это и был конец пути. Кому принадлежит решение в самые критические дни войны отправить институт в Среднюю Азию и тем самым сохранить кадры отечественной гидрометеорологии, сейчас установить трудно, но это — одно из самых судьбоносных в истории нашего вуза.

Ленинабад встретил институт гостеприимно, как только мог, предоставив для учебы достаточно большое здание местного Педагогического института, а для проживания студентов и персонала — дом культуры, общежитие и корпуса текстильного комбината. Учебный процесс быстро налажился, поскольку почти все преподаватели прибыли в Ленинабад с готовыми материалами для чтения лекций и проведения лабораторных работ. Заранее был утвержден учебный план, конечно, подкорректированный под условия военного времени. Занятия на всех факультетах и отделениях ВВГМИ КА начались в декабре 1941 г. Учебное время составляло 8 ч в день плюс 2–3 ч строевой и общеобразовательной подготовки. В целях углубления практических навыков слушатели ВВГМИ КА установили связи с местными научными организациями и подразделениями, с родами войск, где слушатели проходили стажировку и производственную практику.

Во второй половине 1942 г., в связи с ухудшением общей военной обстановки на фронтах, часть слушателей была откомандирована в действующие части армии под Сталинградом. Из них надо отметить Ефима Минкина, который в ходе боев был тяжело ранен, получил три степени солдатского ордена Славы (полный кавалер, что тогда по статуту приравнивалось к званию Героя Советского Союза) и даже был отмечен впоследствии в романе Константина Симонова «Живые и мертвые».

Наш институт начал выпускать большое количество военных инженеров-гидрометеорологов. К началу войны в метеослужбе ВВС работали 72 инженера, окончивших метеорологический факультет МГМИ, в 1942 г. выпуск ВВГМИ КА составил 243, в 1943 г. — 115, в 1944 г. — 219 военных инженеров. Командование высоко оценило вклад военных гидрометеорологов в проведение армейских и фронтовых операций в годы войны. Многие из выпускников МГМИ и ВВГМИ КА за успешное обеспечение боевых операций, а нередко и за непосредственное участие в них были награждены правительственными наградами. Только военные метеорологи, подавляющая часть которых была выпускниками нашего института, получили свыше 2000 орденов и медалей СССР.

Тем временем обстановка на фронте медленно, но неуклонно менялась в нашу пользу. Разгром 6-й германской армии под Сталинградом, победа в Курской битве летом 1943 г. обозначили необратимый перелом в ходе войны. Но еще задолго до Курской битвы, в ноябре 1942 г., когда враг был навсегда отброшен от Москвы, Государственный Комитет Обороны издал директиву, согласно которой ВВГМИ КА подлежал эвакуации в Москву. Для подготовки «родных пенатов» к приему института из Ленинабада выехала группа из 72 слушателей, знакомых со строительными специальностями. Этой группе было поручено восстановление строений института, пострадавших от войны. Весной 1943 г. институт в полном составе возвратился в Москву. В конце июня состоялось заседание Государственной экзаменационной комиссии и очередной выпуск ВВГМИ КА.

Целый год ВВГМИ КА проработал в Москве, как вдруг, совершенно неожиданно для всех, пришло распоряжение СНК СССР № 844/221-с от 9 июля 1944 г. «О подготовке кадров специалистов-гидрометеорологов высшей и средней квалификации», в

котором в приказном порядке предлагалось передислоцировать ВВГМИ КА в город Ленинград и «...с 1 июля 1945 г. реорганизовать его в Ленинградский гидрометеорологический институт (гражданский) с военным факультетом при нем...». Очень жаль было оставлять своей кровью и потом построенные здания, ставшие уже родными.

Эшелон с сотрудниками, слушателями и имуществом ВВГМИ КА прибыл в Ленинград 6 ноября 1944 г. Потерял ли институт что-то при этом? Безусловно, потерял — это все то, что было построено его силами в Москве. Но и приобрел немало — с конца 1944 г. он живет и развивается в лучшем городе Земли — Ленинграде — Санкт-Петербурге, колыбели российской гидрометеорологии. Это стоило всяких потерь.

Новое здание института располагалось в самом центре Ленинграда, на Тучковой набережной Малой Невы (с 1952 г. — наб. Макарова), всего в четырехстах метрах от красивейшего архитектурного ансамбля города — стрелки Васильевского острова. Учебный процесс начался уже в декабре 1944 г. Но трудности его организации были немалые, начиная с бытовых неустойчивостей и кончая резкой нехваткой квалифицированных преподавателей. Продовольственные пайки отпускались по нормам военного времени, студенты занимались полуголодными. Но учеба шла напряженно, жажда знаний, стремление к науке были очень характерны для студентов тех лет. Среди них было много фронтовиков, все годы войны мечтавших об учебе.



Виктор Иванович Полтавец

После окончания Великой Отечественной войны потребность армии в военных метеорологах существенно сократилась, поэтому с 1 июля 1945 г. ВВГМИ КА был преобразован в гражданский Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ). Гордое имя Ленинградского гидрометеорологического института носил 47 лет. Именно с ним он завоевал мировую известность и стал, по общему признанию, главной кузницей научных и оперативно-производственных кадров гидрометеорологов в нашей стране.

Первым директором ЛГМИ стал гидролог по специальности, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой водных исследований В.И. Полтавец. Военный факультет при ЛГМИ сохранили. На нем обучались в конце 1945 г. 300 слушателей, начальником факультета был инженер-полковник А.А. Клуников. В

1956 г., уже как Военный гидрометеорологический факультет Советской Армии (ВГМФ СА), директивой Генерального штаба № 40246 от 27 июля 1956 г., он был включен в состав Ленинградской Краснознаменной военно-воздушной инженерной академии им. А.Ф. Можайского. Однако военная кафедра при ЛГМИ осталась и выполняла функцию, свойственную ей по сей день — подготовку военных инженеров-метеорологов.

Тем временем, страна возвращалась к мирной жизни, у ЛГМИ появилась возможность существенного укрепления преподавательского состава за счет привлечения специалистов других учреждений. Из Главной геофизической обсерватории (ГГО) для чтения лекций по климатологии были приглашены профессора Е.С. Рубинштейн и

О.А. Дроздов, для преподавания динамической метеорологии — профессор М.И. Юдин, общей метеорологии — профессор П.Н. Тверской. Из ГГО пришли профессора М.И. Будыко, Д.Л. Лайхтман и М.Е. Швец, из ГГИ — профессор А.А. Соколов, доценты Б.П. Панов и В.А. Урываев, из Арктического научно-исследовательского института (АНИИ) — известный полярный исследователь профессор Н.И. Евгенов, основоположник ленинградской школы долгосрочных прогнозов погоды профессор А.А. Гирс, профессора Д.Б. Карелин и В.М. Шапаев и многие другие. Наряду с привлечением специалистов из других организаций, преподавателями становились собственные выпускники института: Ю.М. Алехин, Н.Б. Барышников, О.А. Бушук, Ю.М. Георгиевский, И.Ф. Горшков, С.И. Дмитриев, Л.А. Жуков, Г.В. Иванов, И.И. Мелентьева, П.М. Мушенко, А.А. Самохин, Е.И. и Л.П. Серяковы, И.П. Спицын, Б.Я. Толстобров, Б.И. Тюряков и другие.

В связи с окончанием войны выпуск институтом специалистов сократился, поскольку не было уже такой большой потребности в военных гидрометеорологах. Так, в 1944 г. институт выпустил 219 специалистов, а в пятилетие с 1945 по 1949 г. средний годовой выпуск составил около 60 человек. Однако в дальнейшем число дипломированных специалистов стало вновь расти. В 1950–1954 гг. оно возросло до 150 человек в год, а в 1955–1965 гг. — уже до 200–230 человек. В эти годы институт уже мог гордиться целой плеядой своих выпускников, выросших в крупных ученых и руководителей отечественной Гидрометслужбы. Среди них начальник Гидрометслужбы СССР в 1950–1962 гг. А.А. Золотухин, многолетний заместитель начальника Гидрометслужбы В.И. Корзун, директоры научно-исследовательских институтов В.А. Урываев (ГГИ), А.А. Юшак (ГОИН), П.А. Урываев (ДВНИГМИ), Н.В. Пушкин (ИЗМИРАН), Н.И. Дружинин (Гидромелиоративный институт), видный организатор гидрологической науки А.И. Чеботарев. Два выпускника — М.М. Сомов и Е.И. Толстиков стали Героями Советского Союза, легендарными полярниками. К середине 1960-х гг. более 50 выпускников ЛГМИ стали профессорами и докторами наук, составившими элиту гидрометеорологии.

Между тем, набор студентов в институт год от года увеличивался, и в здании на наб. Макарова становилось тесно. В 1957 г. проблема эта была решена — институт обосновался на Малой Охте по адресу Малоохтинский проспект, 98, где и по сей день находится главное здание РГГМУ (первый корпус). Уже в 1958 г. к югу от здания института своими силами был разбит парк, получивший впоследствии имя Валентины Терешковой, первой в мире женщины-космонавта.

Однако недостаток учебных площадей начал сказываться уже через несколько лет после вселения ЛГМИ в новое здание. Задачу поиска и освоения второго корпуса ЛГМИ пришлось решать новому ректору института О.А. Алекину. Он возглавлял институт в 1964–1971 гг., будучи уже известным гидрохимиком, профессором, а



Олег Александрович Алекин

впоследствии и членом-корреспондентом Академии наук СССР. После долгих поисков по предложению ныне старейшего профессора университета Н.Б. Барышникова остановились на старинном здании по адресу проспект Металлистов, 5. Выбор был правильным. Построенные в конце XIX в. два трехэтажных корпуса, стилизованные под древнерусскую архитектуру, имели очень высокое качество строительства, были рассчитаны в буквальном смысле «на века» и до сегодняшнего дня не требуют капитального ремонта. На первом этаже разместились ЭВМ «Раздан», принадлежавшая кафедре математики, начали занятия младшие курсы студентов (1-й и 2-й), расположились общеобразовательные кафедры математики, физики, иностранных языков, кафедра геофизики, а позднее и океанологический факультет. Здесь работал обширный научно-исследовательский сектор института.

Так получилось, что начало работы ЛГМИ в двух собственных и уже постоянных корпусах совпало по времени с бурным ростом гидрометеорологической науки и практики. Двадцатилетие с 1970 по 1990 г. качественно изменило техническую оснащенность гидрометеорологии, что позволило разрабатывать принципиально новые методы мониторинга, исследований и прогноза состояния окружающей нас природной среды. Это, без всякого преувеличения, был период «бури и натиска» в гидрометеорологии. Вводились в строй все более мощные ЭВМ, позволившие реализовать математические (гидродинамические) методы исследования и прогноза состояния атмосферы, океана и вод суши. Примерно в середине 1960-х гг. успешность численных прогнозов барического поля оказалась выше, чем успешность синоптических (ручных) прогнозов движения и эволюции циклонов и антициклонов. В 1966 г. был запущен первый отечественный метеорологический искусственный спутник Земли «Космос-122». Позже заработала целая космическая система «Метеор» из трех спутников на полярных орбитах. Метеорологические ракеты регулярно зондировали атмосферу до высот 80–100 км и внесли большой вклад в наше понимание взаимодействия слоев атмосферы по вертикали. Разворачивались целые сети метеорологических радиолокаторов (МРЛ), явившиеся основой для сверхкраткосрочных авиационных прогнозов и своевременного предупреждения об опасных явлениях погоды.

С 1964 г. началась реализация программы «Международное гидрологическое десятилетие», гидрология, как и метеорология, становилась глобальной наукой. Основной научной задачей Десятилетия было совершенствование методов расчета стока вод и формирование на этой основе фондов стока, которые, в свою очередь, становились базой для оценки водных ресурсов планеты. Эта грандиозная работа привела в 1977 г. к созданию «Водного кадастра», широко использовавшегося при обслуживании различных объектов хозяйства и оценке водных ресурсов.

В океанологии прогресс науки был связан с развитием комплексного подхода к изучению морей и океанов. Это стало возможным благодаря резкому увеличению числа специализированных научно-исследовательских судов (НИС) неограниченного плавания. В 1970-х гг. полностью сформировалась система непрерывного мониторинга состояния водной оболочки Земли до больших глубин и атмосферы над океаном. Осмысление этой информации способствовало формированию новых концепций океанической циркуляции, межширотного водообмена, взаимодействия океана и атмосферы, влияния океана на колебания климата Земли. В эти годы оформилась

новая научно-прикладная дисциплина — промысловая океанология. Отдельно следует отметить начало работ по программе «Загрязнение Мирового океана» в 1974 г.

Наконец, международное сотрудничество гидрометеорологов вышло на качественно новый уровень под эгидой Всемирной метеорологической организации (ВМО). На 5-м Конгрессе ВМО, состоявшемся в апреле 1967 г., был утвержден «План развития Всемирной службы погоды (ВСП) на 1968–1971 гг.». Система ВСП включала в себя три составляющие: глобальное наблюдение, глобальная телесвязь и глобальная система обработки данных, включая прогноз погоды. Система ВСП по сей день является одной из самых стабильных в мире, с ее помощью доступна любая глобальная информация, и это, конечно, уже в далекие от нас 1970–1980 гг. открывало новые горизонты в исследовании и прогнозе состояния природной среды.

Посмотрим теперь, насколько соответствовали содержание и методика обучения студентов в ЛГМИ все возрастающим требованиям науки и практики этой эпохи «бури и натиска» в гидрометеорологии. В начале 1970-х гг. сложилась структура института, основные особенности которой сохранялись вплоть до 1990-х гг. Три базовых факультета — метеорологический, гидрологический и океанологический — соответствовали сложившемуся к тому времени и существующему поныне отраслевому разделению гидрометеорологической науки и практики. Однако кафедры внутри факультетов в течение 1970–1990 гг. периодически меняли свой профиль (и даже образовывались новые), а преподаваемые студентам научные дисциплины существенно перерабатывались или заменялись иными, в соответствии с прогрессом гидрометеорологической науки и практики. Такая гибкая структура вполне оправдала себя и институт (теперь — университет) всегда шел в ногу со временем. Основные кафедры на факультетах в 1970-х гг. были следующими.

Метеорологический факультет

Кафедра общей метеорологии

Главная задача — формирование у студентов первого и второго курсов прочных знаний основ метеорологии, которые в дальнейшем станут базой для изучения специальных метеорологических дисциплин. Главной учебной дисциплиной был и остается до сих пор «Физика атмосферы». Именно на этой кафедре впервые в институте стали изучаться проблемы и практические аспекты спутниковой метеорологии, которая в то время и у нас, и во всем мире еще находилась в стадии формирования как самостоятельная наука.

Кафедра теоретической физики атмосферы

На кафедре были сосредоточены фундаментальные теоретические курсы, требующие хорошей математической подготовки: гидродинамика, динамическая метеорология, физика верхних слоев атмосферы, теория климата. Следует обратить внимание на то, что на этой кафедре уже в конце 1960-х гг. стали серьезно изучаться процессы распространения в атмосфере примесей от различных источников. Сейчас это одно из наиболее развитых направлений оценки и прогноза экологической обстановки, а тогда проблема воздействия человеческой деятельности на окружающую среду еще только формулировалась и ЛГМИ был среди пионеров в данных исследованиях.

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

Главная задача — обучение студентов методам работы с современными средствами измерения параметров состояния атмосферы и способам их метеорологической интерпретации. Особенно следует отметить работы кафедры по автоматизации высотных измерений атмосферных параметров и методов их обработки. В то время не только в нашей стране, но и за рубежом проблемы автоматизации в метеорологии еще только начинали изучаться. Достаточно сказать, что самая высокая (312 м) и наиболее автоматизированная в Европе метеорологическая обсерватория в Обнинске была оборудована приборами, разработанными на кафедре.

Кафедра общей и прикладной климатологии

Основная задача — подготовка студентов в области изучения глобального климата и его региональных особенностей, анализа климатообразующих процессов, оценки энергетических сторон формирования климата. Большое внимание уделялось изучению климатических ресурсов и их влияния на развитие экономики. Заметим, что в современном мире эта научная проблема стала одной из наиболее актуальных. Прикладные исследования региональных особенностей климата были сосредоточены на районах Мирового океана с целью рационального использования его природных особенностей для нужд транспортного и рыбопромыслового флотов, морской авиации и различных работ, связанных с использованием минеральных ресурсов.

Кафедра метеорологических прогнозов

Основная профилирующая кафедра метеорологического факультета. Такой статус кафедры определяется тем, что и в то время, и сейчас прогнозы погоды — от сверхкраткосрочных авиационных до долгосрочных на месяц и сезон являются наиболее востребованной продукцией Гидрометслужбы. Студенты получали фундаментальные знания в области синоптической метеорологии, осваивали оперативные методы краткосрочных и долгосрочных прогнозов, а также порядок и технологию метеорологического обслуживания народного хозяйства. Безусловным достижением кафедры было внедрение в учебный процесс численных (гидродинамических) методов прогноза, которые в то время бурно развивались; именно в ЛГМИ впервые появилась новая специализация в обучении — предвычисление погоды.

Гидрологический факультет

Кафедра инженерной гидрологии

Профилирующая кафедра факультета, обеспечивающая подготовку студентов-гидрологов в области расчетов и прогнозов речного стока, которые являются наиболее востребованной гидрологической информацией для многих отраслей народного хозяйства. В связи с этим на кафедре преподавались такие основные дисциплины, как речной сток, гидрологические расчеты и прогнозы. Работы по этим дисциплинам выполнялись студентами на материалах конкретных природных объектов по программам, применявшимся в водохозяйственных организациях для инженерного проектирования. Кафедра ежегодно организовывала экспедиции с участием студентов в восточные

районы СССР, наименее изученные в гидрологическом отношении. На основе экспедиционных данных разрабатывались новые методы прогноза максимально стока, успешно применявшиеся при разработке проектов производственных объектов. На кафедре активно внедрялась новая по тому времени концепция электронного моделирования для гидрологических расчетов.

Кафедра водных исследований

Вела обучение студентов по трем основным дисциплинам: теоретический курс гидрофизики и гидромеханики, водно-балансовые исследования, водное хозяйство. В области гидравлики проводились экспериментально-теоретические исследования гидравлических сопротивлений равномерного руслового потока, в области гидротехники разрабатывалась экспериментальная методика расчета пространственной фильтрации напорных гидрометрических сооружений, велась работа по изучению водно-энергетических ресурсов Ленинградского экономического района.

Кафедра динамики русловых потоков

Кафедра была создана еще в московский период развития института профессором М.А. Великановым. Во время Великой Отечественной войны, в связи с изменением профиля подготовки военных гидрологов, прекратила свою работу и была вновь воссоздана в 1956 г. профессором В.Н. Гончаровым, ведущим ученым в области динамики русловых процессов. Учебный план возрожденной кафедры строился на основе новой концепции органической связи гидрометрии с основными явлениями динамики русловых процессов. Появились такие новые и актуальные разделы, как гидрометрические сооружения, гидрометрия гидроузлов, лабораторная гидрометрия, основы автоматизации измерений и обработки гидрометрических характеристик, применение аэрометодов в гидрометрии. Успеху учебной и научной работ во многом способствовала гидравлическая и русловая лаборатория, созданная силами сотрудников кафедры.

Кафедра гидрогеологии

К 1970 г. кафедра была самой молодой на факультете по времени создания. Она появилась в период освоения целинных и залежных земель и мероприятий по подъему сельского хозяйства в связи с необходимостью выпуска специалистов, владеющих знаниями по режиму, балансу и динамике подземных вод. Кафедра формировала у студентов представления об основных положениях геофизики, геологии и гидрогеологии, давала систематизированные знания об образовании, залегании, режиме и балансе грунтовых вод. Студенты-гидрологи зачастую выполняли свои дипломные проекты по прямым заданиям производственных организаций, а по окончании ЛГМИ многие из них распределялись на государственные опорные гидрологические режимные станции.

Океанологический факультет

Кафедра океанологии

Основная задача кафедры — дать студентам прочные знания основ океанологии. Это достигается изучением главных закономерностей термики, динамики и химии

океана, физико-химических характеристик составляющих его водных масс, вертикального строения океана и основных происходящих в нем биологических процессов, а также физики формирования природных явлений в море (приливы, штормовые нагоны, цунами и др). Практическим приложением теоретических знаний являются прогнозы состояния моря и опасных явлений, поэтому большое внимание уделяется изучению методов таких прогнозов. В целях практического освоения знаний при кафедре были созданы лаборатория подводных исследований и учебное бюро морских прогнозов, а также приобретено учебно-научное судно «Нерей», на котором студенты проходили летние практики и участвовали под руководством преподавателей в научных исследованиях по отечественным и международным программам изучения океана. В 1969 г. при кафедре были созданы проблемная лаборатория по изучению взаимодействия океана и атмосферы и лаборатория электро моделирования океанологических процессов.

Кафедра методов океанологических измерений

Основы обучения студентов приборам и методам морских измерений были заложены еще на кафедре океанологии, которая до 1969 г. входила в состав гидрологического факультета. Главная задача новой кафедры заключалась в освоении студентами всех видов океанологических приборов, методов работы с ними и способов обработки данных. Большое внимание уделялось освоению морского дела. Летние практики студенты проходили исключительно в море: после 1 курса на шлюпках, после 2 курса на учебно-научном судне «Нерей» в Балтийском море, после 3 курса студенты распределялись на научно-исследовательские суда.

Кафедра общей химии и гидрохимии

Учебный план кафедры предусматривал общеобразовательные дисциплины для студентов всех трех факультетов и специальные — для углубления знаний по химии в процессе специализации метеорологов, гидрологов и океанологов. Кафедра обеспечивала подготовку студентов в области общей химии, гидрохимии, химии атмосферы и химии океана, прививала навыки гидрохимических исследований как в лабораторных условиях, так и при производстве полевых работ.

Большую роль в жизни института играли общеобразовательные кафедры. Отметим здесь те из них, которые были призваны дать студентам знания в области физико-математических научных дисциплин, совершенно необходимых для усвоения специальных гидрометеорологических курсов.

Кафедра высшей математики и теоретической механики

Осуществляла математическую подготовку студентов не только в объеме обязательных программ технического вуза, но и расширяла эту подготовку путем введения ряда курсов, необходимых для восприятия сложных в математическом плане специальных дисциплин и освоения новой вычислительной техники: теория вероятностей и математическая статистика, математическая физика, программирование и электронные вычислительные машины, методы вычислений, операционное исчисление.

Кафедра физики

Преподавание физики для младших курсов не ограничивалось содержанием дисциплины «Общая физика», вводились новые разделы, непосредственно связанные с преподаванием на специальных кафедрах. Это были вообще новые направления для того времени: физика полупроводников, ферритов, магнитное вращение плоскости поляризации, фотоупругость и др. На практических занятиях широко использовалась электроизмерительная аппаратура. С 1964 г. внедрялось программированное обучение.

Учебная работа в ЛГМИ всегда сочеталась с научными исследованиями, которые призваны научить студентов-гидрометеорологов применять полученные теоретические знания в целях выявления закономерностей поведения природной среды. Для этих целей Постановлением Госкомтруда СССР № 214 от 22 июня 1957 г. был создан Научно-исследовательский сектор института (НИС), который действует и сейчас. В рамках НИС разрабатываются госбюджетные и хоздоговорные научно-исследовательские темы. Первые из них посвящены, как правило, фундаментальным проблемам гидрометеорологической науки, договорные темы нацелены на решение прикладных задач по запросам хозяйственных организаций и научно-исследовательских учреждений Гидрометслужбы страны. Участие студентов в этих темах под руководством преподавателей является первым шагом будущего молодого специалиста на пути в большую науку.

В составе НИС действовали два научно-исследовательских института, работа которых направлялась крупными учеными, организаторами новых научных направлений:

- Институт взаимодействия океана и атмосферы, основанный В.В. Тимоновым;
- Институт авиационной метеорологии, руководимый С.В. Солониным.

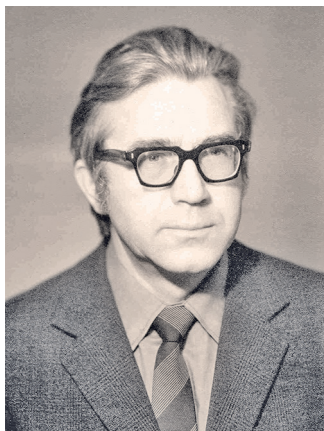
Идеи В.В. Тимонова, заложенные в основу научных работ института взаимодействия океана и атмосферы, оказались судьбоносными не только для отечественной, но и для мировой науки. Понятие «очагов взаимодействия» океана и атмосферы, впервые сформулированное им, ныне оформилось в стройное учение об энергоактивных зонах океана, в которых происходит наиболее интенсивный обмен энергией между двумя земными сферами. Закономерности этого обмена легли в основу разработки методов долгосрочного прогноза погоды, расчета термической структуры океана и его динамики. Именно по инициативе В.В. Тимонова в 1970 г. был основан океанологический факультет.

Институт авиационной метеорологии был основан как хозрасчетный, выполняя заказы на научно-исследовательские работы, прежде всего, со стороны Министерства гражданской авиации. Руководителем и идейным вдохновителем работ лаборатории был выдающийся авиационный метеоролог Сергей Васильевич Солонин. Позднее институт стал основой для организации новой кафедры Космических и авиационных методов исследования в гидрометеорологии.

Гидрологический факультет вел многочисленные научные исследования, получившие внедрение в практику. Заказчиками были Ленгипротранс (участие в изысканиях и проектировании БАМ), Рыбвод (исследование озерного фонда Ленинградской области), Гипроводхоз, Гидропроект, Гипроречтранс и другие организации.

Мы не случайно так подробно остановились на деятельности ЛГМИ в конце 1960-х — начале 1970-х гг. Именно тогда окончательно сложилась структура института,

которая доказала свою эффективность востребованностью наших выпускников в гидрометеорологической науке и оперативной деятельности. В целом эта структура сохранилась и поныне, однако время внесло ряд изменений, вызванных возрастающими запросами науки и гидрометеорологического обслуживания различных областей хозяйства. Отметим самые главные вехи истории университета в 1970–1980 гг., а затем — со времени начала социально-политической и экономической перестройки жизни нашей страны до сегодняшнего дня.



Юрий Петрович Доронин

Решать сложную задачу практически непрерывного совершенствования учебного процесса в соответствии с бурным развитием гидрометеорологической науки и техники в 1970–1980 гг. пришлось трем ректорам ЛГМИ. В течение небольшого времени (1971–1972) институт возглавлял метеоролог, доктор географических наук, профессор Павел Дмитриевич Астапенко. Основная работа по внедрению новых учебных дисциплин и направлений, по обеспечению все возрастающих запросов Гидрометслужбы СССР на выпускников, по развитию институтской науки в русле общего прогресса гидрометеорологии легла на плечи двух следующих ректоров ЛГМИ, отдавших по девять лет своей творческой жизни руководству нашим институтом. В 1972–1980 гг. ЛГМИ возглавлял океанолог, доктор физико-математических наук, профессор Юрий Петрович Доронин. Содержа-

ние учебного процесса и научных исследований в 1970-х гг. практически полностью охватывало все приоритетные направления развития гидрометеорологии, которые упоминались в начале данного раздела. На метеорологическом факультете началась серьезная подготовка специалистов в области численных методов прогноза погоды, спутниковой и авиационной метеорологии, зародились исследования по экологии (антропогенный аэрозоль), появились соответствующие учебные дисциплины. На гидрологическом факультете шла работа по существенному расширению спектра учебных дисциплин, направленных на изучение речного и подземного стока и формирования водных ресурсов, на освоение современных методов гидрометрии и разработку методов гидрологических прогнозов, особенно долгосрочных.

Период 1970-х гг. был для океанологов временем становления нового факультета, причем с учетом новых перспектив в океанологии. Комплексный подход к изучению океана подразумевал широкое использование натурных экспериментов как основного метода исследований. В 1969 г. В.В. Тимонову удалось добиться в Минвузе РСФСР разрешения на создание учебной лаборатории подводных исследований (УЛПИ). Большое значение в работах УЛПИ занимала разработка и использование серии обитаемых подводных лабораторий «Садко». Всего было спроектировано, построено и испытано на глубинах Черного моря три варианта аппаратов «Садко». Состоялась также знаменательная встреча океанологов ЛГМИ с командой выдающегося французского океанолога Ж.-И. Кусто. В результате этой встречи была согласована

программа совместных работ в районе Лионского залива с использованием французского подводного аппарата «Прекоинтер-IV» и обеспечивающего судна ЛГМИ «Нерей». Однако по независящим от нашего института обстоятельствам совместные с французами работы не были проведены. Тем не менее, сам факт планирования таких работ свидетельствует о высокой оценке состояния океанологической науки в ЛГМИ со стороны знаменитых французских коллег.

Устраивались ежегодные экспедиции метеорологов на учебный полигон в Алазанскую долину, гидрологи регулярно выезжали в восточные районы страны для изучения стока рек. Наконец, в ЛГМИ действовали два внутренних научно-исследовательских института — Авиационной метеорологии и Взаимодействия океана и атмосферы.

В 1980–1988 гг. институтом руководил океанолог и гидролог, доктор географических наук, профессор Николай Павлович Смирнов. 1980-е гг. были весьма успешными как по совершенствованию учебного процесса, так и по непрерывному укреплению и модернизации материально-технической базы института. Прежде всего, это касалось внедрения в практику учебной и научной работы современных по тому времени электронно-вычислительных средств. Уже в 1981 г. удалось получить большую ЭВМ ЕС-1022, с чего началась полная модернизация Учебно-вычислительной лаборатории во втором корпусе. В 1987 г. появилась новая ЭВМ ЕС-1033, а через год на основе лаборатории был создан Информационно-вычислительный центр (ИВЦ), получивший официальный статус ИВЦ 1-ой категории.



Николай Павлович Смирнов

Особое внимание уделялось расширению экспедиционных работ в целях проведения учебных, производственных практик студентов и научных исследований. В 1982 г. институт получил бесплатно от Минрыбхоза новое судно «Профессор Сергей Дорофеев», которое заменило «на боевом посту» заслуженный «Нерей». Новое учебно-экспедиционное судно океанического класса к 1984 г. было переоборудовано с учетом требований ЛГМИ на Кронштадтском заводе. Институт получил возможность участвовать в национальных и международных проектах по изучению открытого океана, таких, например, как «ПОЛЭКС». Энтузиасты института приступили к созданию своими руками и эффективной учебно-научной эксплуатации малого флота — парусных катамаранов. Огромную роль в планировании научных задач и проведении рейсов катамаранов, в объединении их участников в слаженные команды играл профессор А.В. Некрасов, часто сам возглавлявший экспедиции.

Для проведения ледовых практик гидрологов и океанологов институт ежегодно арендовал целую эскадрилью из 4-х легкомоторных самолетов, которые, облетая со студентами зимний Финский залив, показывали им структуру ледового покрова и ее сезонные изменения. Полетами руководил Герой Советского Союза, летчик-истребитель во время войны, полковник А.А. Баршт. Метеорологи получили новый метеорологический радиолокатор МРЛ-5, лучший в то время в нашей стране.

Совершенствовалась инфраструктура ЛГМИ: в конце 1980 г. введено в строй новое, второе, общежитие студентов на проспекте Большевиков; в середине 1980-х гг. построена газовая котельная в 1-м корпусе, навсегда решившая здесь проблемы с теплом; проведена реконструкция помещений 1-го корпуса — актового зала, целого ряда аудиторий и лабораторий; большие работы выполнены на базе практик в Даймише.



Лев Николаевич Карлин

В 1988 г. ректором ЛГМИ стал доктор физико-математических наук, профессор Лев Николаевич Карлин. Учеба и вся трудовая деятельность Л.Н. Карлина прошли в стенах ЛГМИ-РГГМУ. После окончания океанологического факультета ЛГМИ он становится ассистентом, а затем доцентом кафедры океанологии. В 1985 г. Л.Н. Карлин — проректор ЛГМИ по учебной работе (первый проректор), а в 1988 г. коллектив института избирает его на должность ректора.

На долю нового ректора выпал самый сложный период в жизни института, связанный с полной социально-экономической перестройкой жизни всей России в 1990-х гг. Политические и экономические проблемы построения фактически нового государства на время отодвинули нужды и науки, и высшего образования на второй и более далекие планы. Являясь государственным вузом, готовящим специалистов для обеспечения отрасли федерального значения — гидрометеорологии, ЛГМИ во многом лишился господдержки, в результате чего начался отток квалифицированных преподавательских кадров, особенно, способной молодежи, сокращался набор студентов и выпуск специалистов, возникли немалые проблемы с проведением учебных и производственных практик, обеспечением института необходимым оборудованием и литературой. О хозяйственных проблемах вуза можно и не говорить, настолько они были очевидны и тяжелы.

Известно, что крепкий, жизнеспособный организм в периоды кризисов, прежде всего, мобилизует свои ресурсы и ищет новые пути поддержания деятельности, опираясь на выработанные традиции и учитывая новые жизненные реалии. К счастью, ЛГМИ-РГГМУ оказался именно таким коллективом за счет своей преданности избранному делу и при умелом руководстве вуз сумел не только «выжить», но и провести необходимую трансформацию структуры и учебного процесса, наладить деловые связи со стратегическими партнерами. Все это поставило наш вуз к настоящему моменту в ряд современных и перспективных учебных заведений.

В 1989 г., в целях гарантированного распределения своих выпускников, ЛГМИ заключает соглашение с основным своим стратегическим партнером — Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Во взаимодействии с ЛГМИ принимают участие ведущие научно-исследовательские и оперативные учреждения системы Росгидромета: Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Государственный гидрологический институт, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, территориальные управления Гидрометслужбы.

В 1992 г. уже Российский государственный гидрометеорологический институт (РГГМИ) вновь получает признание как ведущий вуз по гидрометеорологии в нашей стране. На его основе создается Учебно-методическое объединение гидрометеорологических вузов (УМО), отвечающее за унификацию учебных планов и содержание программ учебных дисциплин внутри УМО. Тесная кооперация вузов, входящих в УМО, позволила выиграть несколько грантов по программам «ТАСИС-ТЕМПУС» и Минобрнауки. Результатом этих грантов стали подготовленные образовательные стандарты по новому направлению «Прикладная гидрометеорология».

В 1993 г., когда вся Россия еще только начала учиться работать в условиях рыночной экономики, в РГГМИ были введены совершенно новые, не свойственные институту прежде специализации — «экономика природопользования» и «менеджмент». Надо было учиться считать затраты на гидрометеорологическую науку и сопоставлять их с экономическими выгодами от использования прогнозов и другой информации. И в советское время было приблизительно известно, что на один рубль затрат на содержание гидрометслужбы экономика и хозяйство получают до 5 рублей в виде чистой прибыли или предотвращенных убытков. Теперь это нужно было знать точно, чтобы эффективно работать с потенциальными потребителями гидрометеорологической продукции. Для этого же нужны и грамотные управленцы-менеджеры, отвечающие за развитие отрасли.

Через 10 лет, в 2003 г., когда выпуск специалистов по экономике природопользования и менеджменту показал их хорошую подготовку и востребованность, в РГГМУ был образован экономический и социально-гуманитарный факультет. В последнее время в рамках факультета организована кафедра связей с общественностью (PR-технологий). При этом университет старается не потерять свою специфику — все вновь открываемые специальности реализуются в тесной связи с науками о Земле.

В 1994 г. по соглашению между Правительством Российской Федерации и Всемирной метеорологической организации (ВМО) институт получил статус Регионального метеорологического учебного центра ВМО. Это было окончательным международным признанием большой роли института в обучении иностранных студентов из многих стран мира. Традиция интернационального обучения имеет в нашем университете глубокие корни. Еще в 1961 г. в ЛГМИ был организован подготовительный факультет для иностранных граждан. Это было первое в СССР учебное подразделение, призванное способствовать быстрому усвоению студентами-иностранцами навыков общения на русском языке. Подготовительный факультет готовил иностранцев для учебы во всех советских вузах технического профиля. Одновременно нарастало число иностранных студентов и аспирантов, желающих обучаться по основным специальностям ЛГМИ. Сейчас в университете обучается 325 иностранных граждан из 46 стран. Наряду с подготовкой студентов и аспирантов университет выполняет обязательства Российской Федерации перед ВМО в рамках Программы добровольного сотрудничества, т.е. совместно с ВМО систематически проводит обучающие семинары, конференции для преподавателей-гидрометеорологов и молодых исследователей.

Следующей заметной вехой на пути международного сотрудничества было установленное в начале 1990-х гг. взаимодействие с ЮНЕСКО — организацией ООН по вопросам образования, науки и культуры. Институт вошел в университетскую сеть ЮНЕСКО, реализующую совместные образовательные программы различного уровня

в рамках Межправительственной океанографической комиссии по направлению «Комплексное управление прибрежными зонами». Под это направление в университете в 1997 г. была создана специализированная кафедра с аналогичным названием. Начиная с 1993 г. институт принимает участие в международном проекте ЮНЕСКО «Плавучий университет», а в 2007 г. открывается еще одна новая кафедра «ЮНЕСКО — Дистанционные методы и моделирование в океанографии».

В 1994 г. в институте был образован факультет экологии и физики природной среды. Создание этой структурной единицы института стало закономерным результатом развития экологического образования в нем с самого момента возникновения самой науки о взаимодействии природы и общества. Уже в конце 1960-х гг. в институте стали серьезно изучаться процессы распространения в атмосфере примесей от различных источников, разрабатывались на основании результатов этих исследований рекомендации по учету метеорологических условий при проектировании промышленных предприятий. Тогда проблема воздействия человеческой деятельности на окружающую среду еще только формулировалась и ЛГМИ был среди пионеров в данных исследованиях.

В 1998 г. институт получает статус университета и по настоящее время носит имя Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ). Это высшее звание среди учебных заведений России, безусловно, принесло положительные результаты, сказавшиеся на дальнейшем развитии вуза. В 2006 г. РГГМУ подписал «Великую хартию вольности» или «Магна карту» союза европейских университетов. Тем самым РГГМУ вошел полноправным членом в семью передовых европейских университетов, в академическое содружество, преодолевающее политические и социальные барьеры во имя принципа объединения Европы в общество, которое предоставляет гражданам необходимые права и свободы.

В 2009 г. университет включен в реестр Торгово-промышленной палаты Российской Федерации. Это означает признание соответствия системы образования, принятой в РГГМУ, общеевропейскому стандарту, известному под названием Болонский процесс. Эта многоуровневая система является одним из важнейших шагов на пути к узнаваемости и признанию дипломов, выданных нашим университетом, в мировом научно-образовательном сообществе. История внедрения в университете многоуровневой системы образования вкратце такова.

Эта система высшего профессионального образования, была введена постановлением Комитета по высшей школе Миннауки России от 13 марта 1992 г. № 13 «О введении многоуровневой структуры высшего образования в Российской Федерации». Подготовка бакалавров рассматривалась как базовая и предназначенная, прежде всего, для продолжения образования в магистратуре или подготовки специалистов. В 1992 г. был принят федеральный закон «Об образовании» (Закон РФ от 10 июля 1992 г. № 3266-1), который стал законодательной основой дальнейших преобразований. Согласно этому акту содержание образования признавалось одним из ведущих факторов экономического и социального прогресса общества. Перед образовательной системой ставилась задача сформировать такое содержание образования, которое обеспечивало бы адекватный мировому уровень общей и профессиональной культуры, возможность интеграции личности в национальную и мировую культуру.

Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования» от 12 августа 1994 г. № 940 уточнило структуру высшего профессионального образования: вузам предоставлялась возможность реализовать пятилетние программы подготовки дипломированных специалистов (5 лет обучения), а также вводить программы подготовки бакалавров (4 года обучения) и магистров (6 лет обучения, включая бакалавриат). После этого Постановления в России постепенно началось введение новой системы высшего профессионального образования.

Наш университет был в числе лидеров: уже в 1993 г., т.е. еще до утверждения нового образовательного стандарта, в РГГМУ был произведен первый набор студентов для подготовки бакалавров. Соответственно, через четыре года, в 1997 г., состоялся первый набор магистрантов. Параллельно в университете сохранилась и традиционная система обучения, 5-летнего образования, дающая диплом инженера. Однако в 2010 г. состоялся последний набор студентов 5-летнего образования и с 2015 г. университет полностью перешел на двухуровневую систему.

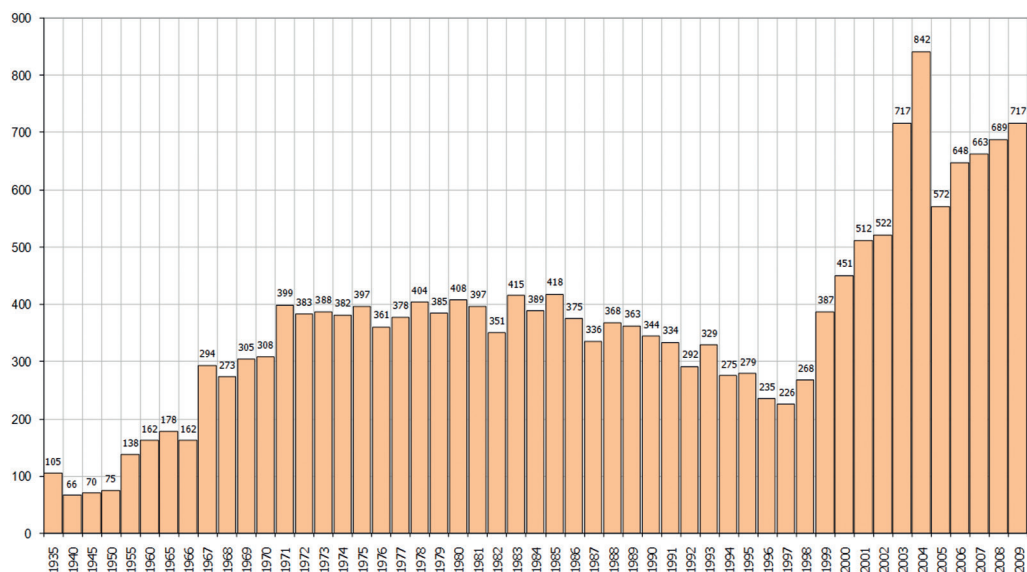
В условиях внедрения новой системы образования, призванной заменить десятилетиями отлаженную модель учебного процесса, сохранение на первых порах традиционного 5-летнего образования было разумной необходимостью — вдруг Болонская система «не заработает»? Однако десятилетний опыт подготовки магистров показал, что в магистратуру, призванную выращивать научные кадры, поступают, в основном, соискатели, действительно любящие науку и стремящиеся достичь в ней достойного уровня. Многие из наших магистров уже защитили кандидатские диссертации и работают по избранному профилю, способствуя тем самым необходимому омоложению научных кадров гидрометеорологии.

Итак, университет на новом уровне продолжает выпуск полноценных кадров, преодолев социально-политические и экономические проблемы последних десятилетий. В связи с этим интересно рассмотреть динамику выпуска специалистов за все годы работы МГМИ — ВВГМИ КА — ЛГМИ — РГГМУ.

На диаграмме суммарного выпуска студентов (очное и заочное отделения) видно, что после Великой Отечественной войны, в 1945—1950 гг., произошло снижение числа выпускаемых специалистов. Это объясняется существенным сокращением подготовки военных гидрометеорологов в условиях мирной жизни. После преобразования Высшего военного гидрометеорологического института в Ленинградский гидрометеорологический институт выпуск специалистов стал неуклонно нарастать вплоть до 1970—1971 гг., когда он стабилизировался на отметке 380—400 выпускников в год и оставался таким до 1985 г., до начала политической перестройки в нашей стране. Таким образом, стабильная, полнокровная работа нашего университета пришлось на годы так называемого «застоя» в жизни страны. Именно в эти годы институт располагал целым созвездием уникальных специалистов, преподавателей и одновременно крупных ученых, самым современным техническим оборудованием, мог эксплуатировать по собственным учебным и научным программам самолеты и научно-исследовательские суда, организовывал массу ежегодных экспедиций с широким участием студентов. Но главное, как и для всякого вуза, состояло в том, что все без исключения

выпускники ЛГМИ получали по распределению достойные рабочие места (конечно, с учетом успешности их учебы в институте). Каждый студент знал, что будущее его, в принципе, обеспечено, но что качество этого будущего напрямую зависит от его собственного усердия в овладении знаниями и профессиональными навыками. Таким образом, высокий уровень подготовки молодых специалистов в ЛГМИ находил полноценное применение в науке и оперативной практике гидрометеорологии.

Итоговый выпуск РГГМУ по годам



Высокий уровень и международный престиж советской гидрометеорологии тех лет известен. Достаточно сказать, что среди четырех официальных языков, употребляемых во Всемирной метеорологической организации, равноправное место и сейчас занимает русский. Тысячи выпускников тех лет продолжают трудиться в научно-исследовательских и оперативных учреждениях, многие стали докторами наук и руководителями. Во всем этом немалая доля усилий коллектива нашего университета.

В 1985 г. в нашей стране началась политическая, а затем и экономическая перестройка жизни общества. У молодежи появились возможности, пусть зачастую и призрачные, добиться успеха в жизни, минуя ступень высшего образования. Возможности эти открылись в таких областях, которые раньше не были престижными или вообще не существовали: торговля, сфера обслуживания, разнообразный мелкий бизнес, банковское дело, биржи. Гидрометеорология, как и почти вся наука, в этот список не входила. Кроме того, рухнула стройная система распределения молодых специалистов. Поэтому с 1990 г. начался период уменьшения выпуска специалистов (заметим, что выпускники 1990 г. — это абитуриенты 1985 г., года начала перестройки). В 1997 г. выпуск достиг своего абсолютного минимума за все годы существования университета — 226 человек.

Однако жизнь постепенно (но довольно быстро!) все поставила на свои места. Хотя гидрометеорологии, испытывавшей вместе со всей наукой немалые трудности, не нужен был прежний объем наших выпускников, оказалось, что и на другую работу не поступить, не имея высшего образования. Так, с 1998 г. начался рост выпуска наших специалистов. Однако сугубо прагматическая причина «иметь диплом» была лишь началом, хотя и сейчас в университете определенная часть студентов учится лишь для этого. Наблюдающегося на диаграмме роста выпуска с 1998 г. по настоящее время (с 268 до 717 человек в год) не было бы, если бы университет существенно не расширил спектра специальностей, по которым производится обучение. Все они, так или иначе, привязаны к гидрометеорологии, но находят применение во многих других отраслях науки и хозяйства. В последние 10 лет РГГМУ неизменно входит в первую десятку вузов Петербурга по количеству заявлений от абитуриентов на одно студенческое место.

В настоящее время РГГМУ остается единственным высшим учебным заведением широкого гидрометеорологического профиля в России. В его составе 7 факультетов, несколько научных центров и институтов, два филиала в Ростове-на-Дону и в Туапсе, уникальная научная библиотека, одна из немногих действующих в Петербурге военных кафедр, центр здоровья, база отдыха и учебные базы в поселке Даймище и на острове Валаам. В вузе ежегодно обучаются на всех отделениях 5 500 российских и зарубежных студентов, аспирантов и докторантов. Учебный процесс обеспечивают свыше 250 преподавателей, в том числе 70 профессоров и докторов наук.

В реализации научной, учебной и культурно-просветительской деятельности большую роль играет одно из старейших вузовских издательств, выпускающее ежегодно свыше 200 наименований учебной, методической, научной и справочной литературы. Наши издания не раз много раз участвовали в международных выставках, многие отмечены грамотами и призами. Уже 10 лет издается научно-теоретический журнал «Учёные записки РГГМУ», входящий в так называемый список ВАК. Инициаторами издания «Учёных записок РГГМУ» являются Л.Н. Карлин и проректор по научной работе В.Н. Воробьев.

Университет постоянно ведет научную работу по многим областям гидрометеорологии, экологии и охраны природных ресурсов. Неоднократно выполнял научные работы по заказам Правительства Санкт-Петербурга, Министерства обороны, Министерства природных ресурсов, Министерства науки и образования, Министерства экономического развития, Российской Академии наук, многих других заказчиков. Получены результаты мирового уровня в разработке инновационных методов гидрометеорологических прогнозов, численного и физико-статистического моделирования природных процессов, охраны окружающей среды, а также в области экономики и управления хозяйством страны.

Нельзя обойти вниманием спортивные достижения нашего университета. Спорт всегда был доступен для студентов в многочисленных секциях, и это обстоятельство сыграло большую роль в воспитании выдающихся спортсменов. Серьезные занятия спортом на базе кафедры физвоспитания начались уже в 1960-х гг. Это был баскетбол, и в 1962–1964 гг. наша женская команда уверенно стала чемпионом Всесоюзных студенческих игр. Появились мастера спорта Международного класса и СССР.

В 1990-е гг. приоритетным стал настольный теннис. Два раза наша команда завоевывала титул Чемпиона вузов России, подготовлены 12 мастеров спорта, 21 кандидат в мастера спорта, 3 судьи международной категории и даже 3 тренера. Далее внимание сосредоточилось на вольной борьбе, дзюдо, самбо и водном поло. По борцовским дисциплинам команды РГГМУ неоднократно удостоивались серебряных и бронзовых медалей на соревнованиях, а по водному поло стали 2-кратными чемпионами вузов России. Спорт в нашем университете всегда был в почете, студенты умели и хотели защитить его спортивную честь.

85-летняя история РГГМУ показала жизнеспособность вуза и большую востребованность выпускаемых специалистов в хозяйстве страны. Опираясь на богатые традиции университета, опыт и знания преподавателей, профессиональную работу учебно-вспомогательного персонала, можно с уверенностью сказать, что университет сохранит и в будущем свое лидирующее положение в подготовке гидрометеорологических кадров России.

Автор благодарит действующих и бывших сотрудников РГГМУ за предоставленные материалы, воспоминания, полезные советы и инициативу издания данной статьи. Это А.А. Алимов, А.И. Богуш, В.И. Воробьев, М.М. Глазов, Н.О. Григоров, А.М. Догановский, А.В. Капустин, В.П. Коровин, В.Н. Малинин, Л.О. Неёлова, Е.К. Николаева, А.Л. Скобликова, И.А. Смирнов, В.И. Сычев, М.А. Трубина, В.Я. Шамис, Т.А. Ширшова.

Литература

1. *Полтавцев В.И., Морозов П.Н, Русанов Б.Д.* Ленинградский гидрометеорологический институт к 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции. // Труды ЛГМИ, 1967, вып. 29.
2. Постановления и распоряжения ЦИК и СНК СССР, Постановления Государственного комитета обороны и приказы Ставки Верховного Главнокомандования, приказы Всесоюзного комитета по делам высшей школы СССР, постановления Госкомтруда СССР, Комитета по Высшей школе Миннауки России, закон РФ «Об образовании», постановления Правительства РФ.

Г.Г. Гогоберидзе, В.Н. Воробьев, Г.В. Заболотников

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РГГМУ: 10 ПРОШЕДШИХ ЛЕТ

G. Gogoberidze, V. Vorobyev, G. Zabolotnikov

RSHU RESEARCH: 10 YEARS

В статье дается анализ научной деятельности и основных научных достижений университета за последние 10 лет.

Ключевые слова: научные исследования, инновации, научные направления, стратегия развития.

The article gives an analysis and overview of the research activities and main scientific achievements of the University over the past 10 years.

Key words: scientific research, innovation, scientific direction, strategy development.

Научная работа и исследования на протяжении всей истории университета были одной из основных и успешных сторон его многогранной деятельности. Именно наука создает потенциал будущего развития, и результативность образовательной, научной и инновационной работы РГГМУ является основой для этого движения к будущему.

За прошедшее десятилетие университет существенно расширил спектр своей деятельности и кроме профильного гидрометеорологического направления развивает иные естественно-научные области. В качестве основных сфер научной деятельности университета начала XXI в. можно выделить 9 направлений:

1. Охрана окружающей среды, мониторинг, моделирование возникновения и развития природных и техногенных процессов на водных объектах и в атмосфере
2. Теоретические и экспериментальные исследования гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов в морях и прибрежных зонах.
3. Изучение динамики водных ресурсов и качества вод в условиях естественного развития гидрометеорологических процессов с целью создания системы наиболее рационального использования и охраны поверхностных вод суши.
4. Исследования атмосферных процессов и явлений, оценка изменений климата под влиянием естественных и антропогенных факторов в интересах обеспечения народного хозяйства и охраны окружающей среды.
5. Создание диагностических и прогностических моделей развития природных и техногенных катастрофических ситуаций на водных объектах и в приземном слое атмосферы.
6. Многосенсорные геоинформационные системы дистанционного мониторинга окружающей среды. Технологии сбора, обработки, преобразования и моделирования геоинформации, информационная безопасность в геоинформационных системах.
7. Экономика и управление народным хозяйством, управление инновациями с учетом природных факторов, экономика природопользования.

8. Изучение текстовых лексико-грамматических и семантико-синтаксических особенностей подязыка гидрометеорологии. Исследование научной, информационной и официально-деловой речи.
9. Изучение системы комплексного управления прибрежными зонами морей России, устойчивого социально-экономического развития прибрежных территорий, рационального использования природных ресурсов.

Учитывая междисциплинарность основных научных направлений деятельности, важным представляется распределение научно-исследовательской деятельности по факультетам:

- на метеорологическом факультете идет научная работа по направлениям 1, 4, 5;
- на гидрологическом факультете — 3, 4;
- на океанологическом факультете — 2, 5, 6, 9;
- на факультете экологии и физики природной среды — 4, 5;
- на экономический и социально-гуманитарный факультет — 6, 8, 9;
- на факультете информационных систем и геотехнологий — 1, 6, 7, 9.

К настоящему времени в РГГМУ официально созданы и успешно функционируют 4 научно-исследовательских института, входящих в структуру Департамента научных исследований и перспективных разработок (Департамент НИиПР) РГГМУ:

- Институт геоэкологического инжиниринга РГГМУ;
- Морской институт РГГМУ;
- Институт Арктики и Субарктики;
- Институт разработки и внедрения инновационных технологий.

Кроме этого важную роль играют 2 специализированные лаборатории:

- Лаборатория спутниковой океанографии;
- Лаборатория моделирования средней и верхней атмосферы.

Непосредственно управление всеми научными исследованиями университета в настоящее время сконцентрировано в Управлении научных и инновационных исследований (УНИИ), входящим в структуру Департамента научных исследований и перспективных разработок.

За последние десять лет годовой объем научно-исследовательских работ увеличился более чем в 7 раз: с немногим более 20 млн руб. в 2003 г. до более чем 150 млн руб. в 2014 г. (табл. 1).

Таблица 1

Финансирование НИР

Год	Общий объём, тыс. руб.	Год	Общий объём, тыс. руб.
2003	21 119,6	2009	93 671,8
2004	26 450,7	2010	142 004,2
2005	32 937,0	2011	156 137,9
2006	50 219,1	2012	160 509,2
2007	56 554,5	2013	155 040,2
2008	61 812,6	2014	152 237,0

Отметим относительную пятилетнюю стабильность в объемах научных исследований, структура которых однако претерпела существенные структурные изменения. Если пять лет назад в работах преобладали фундаментальные исследования, то в настоящее время более 80 % научных работ приходится на прикладные исследования и менее 10 % — на фундаментальные. В целом, удельный вес доходов от НИОКР составляет почти треть общих доходов университета.

Наращивание объемов финансирования НИР университета происходило, главным образом, за счёт более широкого участия в конкурсах научных проектов по научно-техническим программам федерального и регионального уровней, Минобрнауки России, Минэкономразвития России, Министерства транспорта России, Минприроды России, других федеральных ведомств и организаций. При этом бюджетное финансирование после существенного роста за период с 2007 по 2012 г. за последние года вдвое уменьшилось (табл. 2). В то же время рост вложений объемов по хоздоговорам в научные исследования университета увеличился за семь лет почти в 6 раз.

Таблица 2

Сведения о финансировании НИР по источникам, тыс. руб.

Источник финансирования	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Средства федерального бюджета	38 677,6	41 710,6	70 861,3	126 824,7	134 978,5	142 764,5	114 295,6	73 359,1
Средства субъектов РФ	5 904,8	8 428,0	1 910,0	5 786,5	4 248,9	4 650,2	4 770,0	3 844,1
Хоздоговорные НИР	3 279,1	4 887,4	13 941,3	1 536,9	8 810,0	8 553,0	11 953,0	18 897,7
Зарубежные контракты	7 103,2	5 631,9	6 269,0	3 119,9	8 810,5	3 480,8	16 797,6	14 318,9

Соответственно росту объемов НИР растет и объем научных исследований на единицу профессорско-преподавательского состава с чуть более 100 тыс. руб. в 2003 г. до величины более 600 тыс. руб. в 2014 г.

Однако большим минусом является неравномерность распределения НИР между структурными подразделениями университета. Логичным представляется максимум научной активности, приходящийся на Департамент научных исследований и перспективных разработок и работающие в рамках него институты и лаборатории, где концентрация кадров высшей научной квалификации самая высокая. Но уровень научной работы таких факультетов, как гидрологический, экологический, экономический и социально-гуманитарный, факультет информационных систем и геотехнологий требует интенсификации (табл. 3).

Сложившееся распределение количества НИР по факультетам университета объясняет, почему наибольший объем финансирования внутренних затрат на научные исследования и разработки по областям науки — более 150 млн руб. приходится на естественные науки. С скромнее финансирование внутренних затрат на научные исследования и разработки по общественным наукам — менее 8 млн руб., техническим наукам — около 3,5 млн руб. и гуманитарным наукам — менее 1 млн руб.

В университете уделяется большое внимание научной работе студентов. Она рассматривается как необходимая составляющая современного качественного образования, а также как база для формирования контингента аспирантов, а следовательно, и

будущих научно-педагогических кадров. В организации НИР студентов приоритетное внимание уделяется созданию возможности и условий для каждого студента реализовать себя в научной работе. На каждом факультете проводятся мероприятия по презентации направлений и тематик научной работы для студентов. За последние три года студентами, аспирантами и молодыми учеными РГГМУ выиграно 56 грантов (конкурсов).

*Таблица 3***Распределение НИР по факультетам**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Метеорологический факультет	14	21	31	27	28	21	12
Гидрологический факультет	6	7	12	9	8	6	2
Океанологический факультет	25	31	30	25	18	13	14
Факультет экологии и физики природной среды	6	10	12	7	14	10	5
Экономический и социально-гуманитарный факультет	4	3	5	0	1	4	4
Факультет информационных систем и геотехнологий					6	8	1
Управление международных связей					4	4	2
Департамент НИиПР	25	36	31	28	24	35	27

В университете работает студенческое научное общество (СНО), объединяющее в себе студентов, наиболее активно занимающихся научной работой. Члены СНО участвуют в организации и проведении научных мероприятий, выступают в них как участники и как эксперты. РГГМУ традиционно находится в первой десятке по количеству выигранных студентами, аспирантами и молодыми учеными заявок на грантовые конкурсы, проводимые под эгидой Комитета по науке и высшей школы Правительства Санкт-Петербурга.

Важным показателем оценки научной деятельности организации является публикационная активность. В период с 2006 по 2014 г. по результатам научной, научно-технической и инновационной деятельности почти 400 сотрудников университета подготовили к публикации более 2 тыс. научных работ в рецензируемых изданиях РИНЦ, в изданиях, входящих в систему индексирования Web of Science или Scopus. Показатели публикационной деятельности сотрудников университета по годам представлены в табл. 4.

Результаты научных исследований по тематическим планам Минобрнауки, научно-техническим программам федерального, ведомственного и регионального значения и хоздоговорам традиционно докладываются на международных, всероссийских, ведомственных научных конференциях, симпозиумах и семинарах (табл. 5).

Партнерство в научно-исследовательской и инновационной сферах складывалось десятилетиями. Среди основных партнеров университета в научных разработках можно назвать Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Государственный гидрологический институт, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Государственный океанографический институт, территориальные управления Росгидромета, Институт озерадения РАН.

Таблица 4

Публикационная активность сотрудников РГГМУ

Название показателя	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Общее число публикаций за год	83	98	164	193	265	256	258	281	223
Число статей в научных журналах, в том числе:	82	94	150	163	212	213	205	245	173
число статей в изданиях, входящих в систему индексирования Web of Science или Scopus	10	23	30	30	29	28	26	38	12
число статей в журналах, входящих в перечень ВАК	66	66	113	117	161	161	150	163	118
число монографий	0	2	2	3	1	3	5	9	13

Таблица 5

Участие сотрудников РГГМУ в научных мероприятиях

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Выставки,	5	7	7	12	11	7	8	7
в т.ч. международные	2	6	4	8	10	4	5	4
Премии, дипломы, награды	5	9	6	23	39	4	6	6
Количество научных конференций,	36	23	23	31	167	112	110	201
в т.ч. на базе РГГМУ	6	6	9	3	3	6	-	2

Университет принимает активное участие в Федеральных целевых программах (ФЦП):

- ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»;
- ФЦП «Мировой океан»;
- ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы»;
- ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией РФ», и др.

Для привлечения дополнительных источников финансирования и повышения эффективности инвестиций в партнерство, Университет активно участвует в конкурсах, грантах и программах. Средневзвешенное количество проектов и грантов в 2014 г. в расчете на 100 научно-педагогических работников составило 12,97.

Для проведения научно-исследовательских работ в РГГМУ имеется необходимая, во многом уникальная, материально-техническая база, в состав которой входят учебно-научные лаборатории, в которых проводится практическая реализация принципа «обучение через исследования» для обучающихся в университете студентов и аспирантов:

- лаборатория морских и подводных исследований;
- лаборатория метеорологической информационной и измерительной техники;
- лаборатория дистанционных методов исследования окружающей среды;
- лаборатория по обработке экономической и климатологической информации;

- лаборатория моделирования и прогнозирования гидрологических процессов;
- учебно-научная станция дистанционного мониторинга морской среды и прибрежной зоны;
- лаборатория приема и обработки метеорологической информации;
- лаборатория аэрологических методов зондирования атмосферы;
- лаборатория водных исследований;
- другие лаборатории, бюро и учебно-научные станции.

Следует отметить продолжающийся рост интереса ученых и специалистов университета к изобретательской и патентно-лицензионной деятельности. В рамках мероприятий по реализации политики в области научной деятельности в университете создан Отдел по интеллектуальной собственности и трансферу технологий, внедрена Система создания, учета и сохранения произведенной интеллектуальной собственности, ориентированная на активную коммерциализацию собственных наукоемких разработок. В период с 2009 г. по настоящее время университет получил 17 патентов на изобретения, 14 патентов на полезные модели, 41 свидетельство на программы для ЭВМ и 24 свидетельства на базы данных ЭВМ.

РГГМУ является организатором-инициатором технологической платформы «Технологии экологического развития» и участником в платформе «Авиационная мобильность и авиационные технологии», активное участие принимает в работе платформы «Национальная космическая технологическая платформа». Участие университета в деятельности технологических платформ на территории России, в технологической модернизации природоохранной составляющей экономики страны и региона является предпосылкой формирования на базе университета экспертных сообществ по направлениям развития приоритетных отраслей.

Учеными университета проводятся исследования и разработки в интересах различных отраслей экономики. В результате выполнения НИР, прежде всего, в рамках Федеральных целевых программ достигнут ряд практических результатов, среди которых следует выделить:

- комплексную технологию прогнозирования опасных паводков и половодий и автоматизированной поддержки принятия административных решений на основе полученной прогностической информации. Технология прошла апробирование и полностью готова к использованию при наличии системы получения данных об осадках, получаемых в реальном времени с доплеровского радара (руководитель — доц. В.А. Кузьмин);
- метод многопозиционного лидарного зондирования неоднородной атмосферы и метод дистанционного оптического зондирования слабо рассеивающей атмосферы. Методы защищены патентами на изобретение № 2441261 и № 2439626 соответственно и готовы к практическому использованию (руководитель — с.н.с. А.Д. Егоров);
- алгоритм восстановления скорости приводного ветра на основе радиометрических измерений, применимый для условий штормовых и ураганных ветров, предназначенный для исследования экстремальных погодных явлений — полярных и внетропических циклонов, тропических ураганов (руководитель — профессор В.Н. Кудрявцев);

- научно-методические основы оперативного автоматического обнаружения разливов ТЗВ на водной поверхности вне зависимости от времени суток и в широком диапазоне внешних условий, направленных на минимизацию негативных последствий выбросов и разливов техногенных загрязняющих веществ (в первую очередь, нефти и нефтепродуктов) на основе их раннего обнаружения, прогнозирования динамики их распространения в окружающей среде, а также автоматизированной поддержки принятия эффективных управленческих решений с учетом имеющихся сил и средств (руководитель — профессор В.Н. Кудрявцев);
- информационно-аналитическую систему для поддержки принятия решений в области устойчивого развития при морском планировании в Арктической зоне Российской Федерации с учетом разномасштабных изменений климата и информационно-аналитическую систему для поддержки принятия решений в области обеспечения экологической безопасности и экологического мониторинга при рациональном природопользовании в Арктической зоне Российской Федерации с учетом разномасштабных изменений климата. Полученная в результате выполнения НИР интеллектуальная собственность защищена патентами на полезную модель № 135162 и № 135822 соответственно и готова к практическому использованию (руководитель — проф. Л.Н. Карлин, ответственный исполнитель — в.н.с. В.М. Абрамов);
- методическое обеспечение и рекомендации по комплексному планированию развития приморских территорий и прибрежных акваторий конкретных побережий страны. На основе созданной методики разработан проект прибрежно-морского компонента Стратегии социально-экономического развития Ленинградской области (руководитель — Л.Н. Карлин, ответственный исполнитель — доц. Н.Л. Плинка);
- технология мониторинга и оценки эффективности работы судовых установок обеззараживания балластных вод от биологических загрязнений с целью предотвращения межрегионального распространения чужеродных видов гидробионтов, которая находится в стадии реализации в ФГУП ЦНИИ им. А.Н. Крылова (руководитель — доцент В.В. Дроздов);
- пакет программ для автоматизированного поиска аномалий в данных электрического поля перед сильным землетрясением в Алма-Атинском сейсмическом регионе (руководитель — г.н.с. А.И. Погорельцев).

В качестве основных результатов выполнения научно-исследовательских работ в рамках государственного задания 2014–2015 гг. учеными РГГМУ разработаны:

- программа расчета радиоярких температур уходящего излучения для характеристик каналов спутникового микроволнового радиометра AMSR2, предназначенная для моделирования спутниковых измерений с целью последующего использования при разработке алгоритмов оценки геофизических параметров океана и атмосферы;
- метод идентификации и определения количественных характеристик суб- и мезомасштабных зон подъема/опускания вод на основе спутниковых мультиполяризационных радиолокационных измерений, который может быть

использован для наблюдения океанических фронтов, определения границ суб- и мезомасштабных течений, зон дивергенции и конвергенции поверхностных течений;

- математическая модель процесса формирования речного стока с аддитивными шумами, предназначенная для надежного (устойчивого) прогнозирования многолетнего годового стока рек на территории России;
- основы методологии геоинформационного управления развитием распределенных организационно-технических систем и территорий, которые включают: основные категории, принципы управления, требования к ГИС принятия решений, основные функции геоинформационного управления и отдельные модели, методы и методики;
- физико-математическое обоснование методов измерений параметров техногенных и природных аномалий на морской поверхности и структура системы геоинформационного мониторинга;
- методология построения моделей взаимодействия в системе «стратосфера — тропосфера — океан», позволяющая сформировать новые представления об особенностях изменения тропосферной циркуляции под воздействием процессов, происходящих в стратосфере, и влияния океана на динамический и тепловой режим нижних слоёв атмосферы.

Одной из ключевых стратегий развития научно-исследовательских разработок, проводимых специалистами РГГМУ, является планомерное создание автоматизированных технологий специализированного гидрометеорологического обеспечения конкретных потребителей гидрометеорологической информации и разработка концептуальных основ и технологий комплексного мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды и развития социально-экономических систем. Как правило, такая информация не может быть предоставлена потребителю подразделениями Росгидромета и иных профильных организаций, поскольку комплексный подход не входит в сферу их деятельности. Однако именно комплексный подход дает возможность получения адекватной текущей и прогностической информации, которую необходимо использовать в процессе разработки и принятия корректных управленческих решений. В качестве примера можно привести:

- получение текущей информации и разработка детального прогноза по данным контактных или дистанционных гидрометеорологических и экологических наблюдений в точках или районах, не покрытых сетью наблюдений Росгидромета и иных профильных организаций;
- автоматизированную информационную систему прогнозирования состояния окружающей среды и характеристик метеозависимых параметров инфраструктуры в конкретных точках или районах, выпускаемые с повышенной пространственно-временной дискретностью;
- информационно-аналитическую систему пространственного моделирования социально-экономического развития морских и прибрежных территорий в целях обеспечения национальной безопасности при разработке и принятии управленческих решений задач территориального планирования морехозяйственного комплекса;

- систему управления гидрометеорологическими и климатологическими рисками, вызванных изменением климата и антропогенным воздействием, включая экологические, социально-экономические и геополитические факторы;
- информационную поддержку принятия управленческих решений на основе гидрометеорологической, экологической, социально-экономической и иной информацией.

Особое место среди научных достижений РГГМУ в последнее десятилетие занимает Лаборатория спутниковой океанографии, которая создана РГГМУ в соответствии с решением Совета по грантам Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих отечественных и иностранных ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования. Этот проект был поддержан по результатам проведения второго открытого конкурса грантов на привлечение в высшие учебные заведения страны учёных с мировым именем. В конкурсе приняли участие 517 ведущих учёных совместно со 176 образовательными учреждениями высшего профессионального образования России. В результате Министерство образования и науки выбрало 39 ведущих российских и иностранных учёных, занимающих лидирующие позиции в определённой области наук, из них пять вузов Санкт-Петербурга.

Научным руководителем проекта Лаборатории спутниковой океанографии является учёный с мировым именем доктор Бертран Шапрон из научно-исследовательского института изучения и эксплуатации ресурсов моря IFREMER (Institute Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Plouzane, France). Основная цель создания лаборатории заключается в подготовке молодых высокопрофессиональных кадров, способных работать с новейшими технологиями приема, обработки, анализа быстро нарастающих объемов данных, поступающих из Мировой системы наблюдения Земли из космоса. Наиболее эффективный путь достижения этой цели связан с внедрением в университете передовых знаний и технологий, накопленных в ведущих мировых научных центрах, в частности, в IFREMER, Французском и Европейском космическом агентствах.

Основной задачей лаборатории является проведение научной и образовательной деятельности в области развития новых методов и технологий обработки, анализа и распространения спутниковых данных, а также внедрения результатов этой деятельности в социально-экономической сфере за счет коммерциализации разработанных продуктов и технологий.

К настоящему времени РГГМУ стал одним из наиболее подготовленных научно-образовательных центров по реализации программ и направлений, связанных с арктической тематикой. В последние годы университет постоянно привлекается для выполнения научно-исследовательских и прикладных работ в области гидрометеорологии, экологического мониторинга, прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений в Арктическом регионе, в рамках реализации Федеральных целевых и Государственных программ Минобрнауки России, Минприроды России, различных хоздоговорных проектов. В частности, в 2015 г. РГГМУ выполняет почти четверть всех проектов, реализуемых на территории Арктической зоны Российской Федерации в рамках государственного задания Минобрнауки России. Кроме того, Минприроды

России обозначил РГГМУ как многопрофильный инновационный учебный центр мониторинга и анализа экологического состояния природой среды Арктической зоны Российской Федерации.

В июле 2015 г. открылось по сути новое направление научного развития РГГМУ, связанного с тем, что Минобрнауки России утвердил университет в качестве Контактной точки БРИКС со стороны России по направлению «Предупреждение и ликвидация природных катастроф».

В настоящий момент РГГМУ находится на переломной стадии своего развития, в стадии реорганизации. Объединение творческого потенциала научных коллективов РГГМУ и Государственной полярной академии откроет новые возможности развития научных исследований, связанных с исследованием арктических регионов России, включение в сферу научных интересов университета широкого спектра социально-гуманитарной и экономической составляющих. Несомненно, что этот шаг позволит приумножить научные достижения нашего университета за счет мультипликационного эффекта слияния родственных вузов и успешного продвижения РГГМУ в ряд ведущих научных центров России.

При этом в среднесрочной перспективе возможно установить следующие стратегические цели развития университета:

- вхождение РГГМУ как национального научно-образовательного центра в число международных лидеров в исследованиях и разработках по перспективным направлениям наук;
- осуществление РГГМУ информационно-аналитического и экспертного обеспечения деятельности Министерства образования и науки, Министерства природных ресурсов и экологии, включая Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерства по чрезвычайным ситуациям, Министерства экономического развития, Министерства обороны и корпоративного сектора;
- привлечение студентов к активной научной деятельности, необходимой для результативной учебы и личностного развития, а также для успешной карьеры;
- формирование вокруг РГГМУ сетей и сообществ российских и зарубежных исследователей и практиков, передовых научных и образовательных центров в области наук об окружающей среде и арктической тематики для распространения и эффективного применения передовых знаний и практик, для формирования профессиональных стандартов и проведения дискуссий.

*Т.Р. Ерёмина, О.В. Хаймина, М.Б. Шилин, А.С. Аверкиев, А.А. Ершова,
С.М. Гордеева, Е.С. Кочеткова, В.А. Рябченко*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ
В ОБЛАСТИ ПРИКЛАДНЫХ МОРСКИХ НАУК:
ПРОЕКТ EMARIS ПРОГРАММЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА ТЕМПУС**

*T. Eremina, O. Khaimina, M. Shilin, A. Averkiev, A. Ershova,
S. Gordeeva, E. Kochetkova, V. Ryabchenko*

**DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL TRAINING
IN APPLIED MARINE SCIENCES:
EMARIS PROJECT OF THE EUROPEAN UNION TEMPUS PROGRAMME**

Рассматриваются результаты проекта «eMaris» ТЕМПУС, направленные на совершенствование и развитие образовательных программ в области прикладной гидрометеорологии в Российской Федерации с использованием опыта подготовки кадров университетами Европейского Союза и разработанных ими современных технологий обучения.

Ключевые слова: ТЕМПУС, образовательные программы, подготовка кадров, система САКАИ, прикладные морские науки, Болонский процесс.

The article discusses the results of the TEMPUS project «eMaris» aimed at the improvement and development of university's curricula in Applied Marine Sciences in the Russian Federation using the experience of staff training in the universities of European Union and their own modern educational technologies.

Key words: TEMPUS, university curriculum, staff training, SAKAI system, applied marine sciences, Bologna process.

Введение

Глобальные проблемы, связанные с воздействиями человека на окружающую среду, изменения в экосистемах вод суши и Мирового океана, вызванные потеплением климата и антропогенным воздействием, возрастающий экономический интерес к использованию ресурсов и собственно акваторий Мирового океана требуют подготовки высококвалифицированных кадров в области прикладных морских наук (ПМН), готовых работать в тесном международном сотрудничестве для решения этих сложных задач. Совершенствование системы подготовки таких кадров возможно путем разработки международных учебных программ, гармонизированных с программами европейских университетов. Это определило основную цель проекта — продолжение реформы системы высшего образования в области ПМН в России в соответствии с требованиями Болонской декларации и стратегических рамок Европейского сотрудничества в области образования и профессиональной подготовки (ЕТ 2020). В связи с этим, в проекте «eMaris» были поставлены и решались задачи, направленные на

совершенствование и развитие образовательных программ по направлению «Прикладная гидрометеорология», ориентированных на подготовку специалистов в области ПМН в Российской Федерации с использованием опыта подготовки кадров университетами Европейского Союза и разработанных ими современных технологий обучения.

Основные результаты проекта eMaris и их обсуждение

В настоящее время европейская образовательная система переживает период реформирования в рамках Болонского процесса, направленного на создание единого общеевропейского образовательного пространства, и в большинстве вузов постепенно вводится трехступенчатая модель образования — «бакалавр — магистр — доктор». Третий цикл, или третья ступень, фактически является докторантурой и рассчитана на 3—4 года учебы.

Стратегия «Европа-2020» [4, 9] декларирует, что одной из целей, стоящих перед мировым сообществом, является построение так называемого общества знаний. Это связано с тем, что поступательное движение современной экономики определяется развитием наукоемких инновационных отраслей и требует кадры с соответствующим уровнем подготовки. В связи с этим, концепция Европейского высшего образования предполагает дополнение существующей двухуровневой системы европейского университетского образования равноценным третьим уровнем, который должен превратиться из элитной (единичной) подготовки специалистов высшей квалификации в уровень массовой подготовки. Докторские программы рассматриваются при этом в качестве связующего звена между образовательным и исследовательским пространствами.

Традиционно высшая школа России (ранее СССР) готовила инженерные кадры в области океанологии (для Гидрометслужбы, НИИ, НИРО и др.) и в области морских технических наук (гидростроительство, кораблестроительство и т.д.). В настоящее время в связи с переходом на трехуровневую систему подготовки (бакалавр — магистр — аспирант), базирующуюся на компетентностном подходе, целесообразно учитывать в программах подготовки более широкий спектр возможного трудоустройства выпускников (по базовому уровню подготовки, по виду деятельности), а также предусмотреть интеграцию в европейскую систему высшей профессиональной подготовки. Это позволит обеспечить мобильность студентов, аспирантов и выпускников, специализирующихся в области ПМН.

Проект «eMaris» программы ТЕМПУС стартовал в октябре 2012 г. и был успешно завершен в декабре 2014 г. В рамках проекта реализовывались следующие задачи:

- разработка трехуровневой учебной программы и учебных планов, признаваемых в университетах Европы, на основе компетентностного подхода в области прикладной гидрометеорологии в соответствии с концепцией Болонского процесса;
- реализация разработанных на основе компетентности трех циклов учебных программ в сфере ПМН в университетах стран-партнеров (участников проекта);
- внедрение новой электронной платформы сотрудничества для студенческого и академического сообществ в целях усиления связей между высшим образованием и научно-исследовательскими учреждениями стран-партнеров;

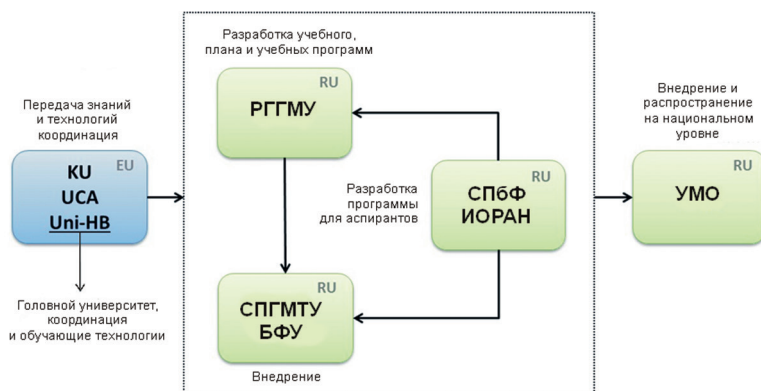
- обеспечение учебных планов по ПМН инновационными методами обучения (мобильные лекции, модули электронного и мобильного обучения и др.).

В выполнении проекта eMaris принимали участие 3 российских университета, научный институт РАН и Учебно-Методическое объединение (УМО) в области гидрометеорологии. Такое объединение партнеров обеспечило связь между высшими учебными учреждениями и научным сообществом, а УМО позволило широко распространять результаты работы по проекту среди учебных заведений, осуществляющих подготовку кадров в вышеуказанной области. Европейские университеты были представлены в проекте тремя странами Евросоюза — Германией, Испанией и Литовской Республикой.

Общий список университетов и организаций — участников проекта eMaris включал в себя:

- Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия;
- Государственный морской технический университет Санкт-Петербурга (СПГМТУ), Санкт-Петербург, Россия;
- Санкт-Петербургский филиал института океанологии им. П.П. Ширшова (СПбФ ИОРАН), Санкт-Петербург, Россия;
- Балтийский федеральный университет им. И. Канта (БФУ), Калининград, Россия;
- Учебно-методическое объединение по гидрометеорологии (УМО), Санкт-Петербург, Россия;
- Университет Клайпеды (КУ), г. Клайпеда, Литва;
- Университет Бремена (UniNB), г. Бремен, Германия (Держатель гранта и координатор);
- Университет Кадиса (UCA), г. Кадис, Испания.

РГГМУ в проекте выполнял координацию работ среди российских университетов-партнеров, а также являлся основным разработчиком трехуровневой программы непрерывной подготовки в области ПМН, включая учебные планы и программы дисциплин для каждой из ступеней. Общая структура проекта представлена на рисунке.



Структура проекта

Для информирования о ходе выполнения проекта, об основных событиях и мероприятиях в рамках eMaris был разработан сайт проекта на русском и английском языках: www.emaris.net. Для получения объективной информации о заинтересованности работодателей в специалистах по ПМН был выполнен анализ современного рынка труда в России, странах Балтии и в Испании. Анализ, основанный на анкетировании широкого круга природопользователей, позволил выявить основные компетенции, необходимые выпускникам для повышения своей конкурентоспособности на рынке труда [3, 12].

Предусмотренная в проекте мобильность преподавателей и администрации университетов позволила осуществлять обмен опытом и знаниями в период проведения семинаров и тренингов для представителей российских университетов-партнеров, организованных университетами Испании, Германии и Литовской Республики. Одновременно осуществлялось ознакомление участников проекта с учебными планами и учебными программами по направлению подготовки в области прикладной гидрометеорологии и ПМН. Для гармонизации образовательного процесса было проведено сравнение действующих программ высшей профессиональной подготовки в вузах-партнерах. Полученные результаты активно обсуждались на встречах участников проекта, а также на открытых площадках — например, на Круглом столе, проведенном в рамках XXIV Международной береговой конференции «Морские берега — эволюция, экология, экономика» (1–6 октября 2012 г., г. Туапсе).

Основываясь на результатах анализа рынка труда, современных подходах к высшему профессиональному образованию в России и опыте европейских университетов, участники проекта предложили единую трехуровневую систему подготовки специалистов в области прикладной гидрометеорологии и ПМН. Подготовленная система включает как действующие программы подготовки бакалавров и магистров по направлению «Прикладная гидрометеорология», так и новые программы подготовки магистров «Оперативная океанография» и «Прикладная морская экология», а также новую программу подготовки аспирантов по направлению «Науки о Земле», специальность «Океанология». Программа подготовки аспирантов разрабатывалась в сотрудничестве с Санкт-Петербургским филиалом Института океанологии РАН и СПбГМТУ [7, 12].

Для методического обеспечения разработанных новых программ и дисциплин были подготовлены и изданы новые учебные пособия, такие как: «Рыболовство и оценка рыбных запасов» [1], «Оперативная океанография» [2], «Спутниковые методы в океанографии» [5], «Прикладная морская экология» [8]. После рецензирования академическим сообществом учебники были одобрены УМО по гидрометеорологии и признаны учебными материалами для студентов магистратуры и бакалавриата профиля «Прикладная гидрометеорология», специализирующихся в области ПМН.

Апробация отдельных учебных модулей программы подготовки проводилась в рамках обмена студентами, аспирантами и преподавателями между вузами-партнерами. В результате более 160 студентов приняли участие в обменных поездках, обучаясь по европейским и новым российским учебным курсам и дисциплинам, разработанным в ходе выполнения проекта. Это позволило создать хорошую основу для создания совместных и взаимно признаваемых учебных программ.

В современном образовательном процессе применение сетевых технологий переводит высшее образование на новый уровень предоставления образовательных ресурсов.

В связи с этим особое внимание в рамках проекта было уделено использованию современных средств дистанционного обучения на базе системы Sakai (размещение учебно-методических материалов, тестирование) [6, 10, 11]. Для технического обеспечения образовательного процесса в рамках проекта было приобретено мультимедийное оборудование, созданы специализированные аудитории для проведения лекционных и практических занятий, вебинаров, а также тестовых контрольных мероприятий.

Несмотря на то, что исторически сложившаяся классическая модель обучения «лицом к лицу» по-прежнему остается основой образовательных технологий в российском вузе, эта модель претерпевает изменения в связи с быстрым развитием информационных технологий, а также с необходимостью обеспечения всех студентов свободным доступом к знаниям, объем которых постоянно растет. Кроме того, с переходом к трехуровневому обучению, с индивидуализацией научно-образовательного процесса увеличивается объем самостоятельной работы студентов. Это требует более интенсивного и индивидуализированного взаимодействия между студентом и преподавателем [3, 4].

Наиболее адекватное решение этой проблемы заключается в объединении традиционной модели образования с электронным обучением — использование смешанной технологии обучения (очная форма и дистанционное обучение).

С учетом того, что современные студенты являются «сетевым поколением», для которого электронный способ получения информации является органичной частью повседневной жизни, наиболее эффективная реализация дистанционного образования заключается в использовании открытой сетевой модели обучения. Для внедрения в учебный процесс сетевых технологий в РГГМУ в рамках проекта на базе океанологического факультета развернута виртуальная образовательная среда Sakai, являющаяся универсальной сетевой платформой, ориентированной на поддержку учебного процесса, научного и делового сотрудничества.

Sakai представляет собой программный продукт с открытым кодом (community open source), разрабатываемый в рамках Sakai Project сообществом университетов и организаций, которые используют эту платформу в своей деятельности [6].

Концепция платформы Sakai — предоставить учебным заведениям технологию, обеспечивающую максимальную свободу в конструировании своей собственной системы (информационной среды) поддержки научно-образовательного процесса [6].

На первом этапе Sakai использовалась как коллаборативная платформа для обеспечения связи между участниками проекта TEMPUS (сайт «eMaris»): на её основе была сформирована отдельная сеть взаимодействия с российскими университетами-партнерами.

На настоящий момент в рамках использования системы Sakai в учебном процессе океанологического факультета РГГМУ в ней размещены учебные материалы по существующим и новым программам обучения студентов. На сайтах учебных дисциплин представлены: программы обучения, задания по выполнению практических работ, структура изучения дисциплин, тесты, дополнительные ресурсы (вебинары, презентации, видеоматериалы, а также учебники и учебные пособия в формате .pdf). Доступ к сайтам осуществляется посредством регистрации на портале и запросом модератору сайта для подключения к сайту. Сайты доступны в сети Интернет по адресу <http://sakai>.

rshu.ru:8080/portal/. На заключительном этапе проекта было издано несколько пособий на русском языке по различным аспектам использования платформы Sakai и ее обслуживания [6]. Об опыте ее применения в рамках проекта докладывалось на международной конференции по образованию и дистанционному обучению в Праге в феврале 2014 г. [10].

Большую и важную роль в подготовке специалистов в области ПМН играют морские практики. В связи с этим одной из задач проекта являлась организация морских практик. Дважды в период проекта морские практики были организованы и проведены университетом Клайпеды. В них принимали участие студенты совместно с кураторами из всех российских университетов-партнеров. Полученный опыт был реализован при проведении летней морской практики федеральным Балтийским университетом им. И. Канта совместно с Атлантическим отделением института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Летом 2014 г. на Балтийской косе была организована морская практика для студентов океанологического факультета РГГМУ. Основной задачей практики являлось получение студентами знаний и практических навыков по изучению прибрежных морских систем с использованием современных измерительных систем и оборудования под руководством высококвалифицированных специалистов.

Основные подходы к организации морской практики были сформированы на основе опыта, приобретенного при проведении морских практик по программе университета Клайпеды в летний период 2012–2013 гг. В программу морской практики были включены лекционные занятия, океанографические и геологические исследования в прибрежной зоне (Вислинский залив), изучение морфологии берегов. Студенты познакомились с методами обработки и хранения данных наблюдений, с возможностями применения ГИС-технологий в океанологии. Мультидисциплинарный подход при проведении морской практики позволил студентам получить целостное представление о процессах, происходящих в прибрежных водах, включая береговую зону. Собранный натурный материал был представлен студентами на итоговом семинаре, посвященном обсуждению результатов работ. Студентами были подготовлены отчеты на русском и английском языках и отправлены в университет Клайпеды. Университетом Клайпеды было дано положительное заключение о проведенной морской практике.

О целесообразности использования полученного международного опыта при проведении подобных морских практик высказались участники III международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» (22–24 октября, г. Москва). Это позволяет рекомендовать программу морской практики отечественным и европейским университетам, осуществляющим подготовку специалистов в области ПМН.

Важнейшим итогом проекта является реализация его результатов в РГГМУ, подписание соглашения о взаимном признании магистерских программ университетами Клайпеды и Кадиса. Отдельные уровни подготовки (магистратура) приняты в БФУ.

Заключение

Процесс перехода на двухуровневую систему высшего образования, несмотря на трудности и критику со стороны преподавательского сообщества, к настоящему времени практически завершен как в нашем университете, так и в целом по России.

Третий уровень, или ступень (аспирантура) также приводится в соответствие с этой системой, которая таким образом становится трехуровневой.

Коллективом авторов сделан важный шаг в приведении третьей ступени в соответствие с образовательными стандартами РФ и в согласовании её содержания с подготовкой PhD-специалистов в европейских вузах, в частности — тех, которые участвовали в проекте.

Платформа Sakai является удобным инструментом для активных и интерактивных форм обучения практически по любой дисциплине образовательных стандартов. Она позволяет хранить все необходимые учебные материалы с открытым доступом для зарегистрированных студентов, проверять усвоение материала студентами, представлять отчетные данные по освоению дисциплин.

Внедрение технологии дистанционного обучения в учебный процесс, создание комплекта учебных пособий по специальным дисциплинам направления «Прикладная гидрометеорология» и близким направлениям позволило существенно повысить качество подготовки студентов.

Литература

1. *Аверкиев А.С., Чернышков П.П.* Рыболовство и оценка рыбных запасов: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 85 с.
2. *Еремина Т.Р., Софьина Е.В., Далидейне И.* Оперативная океанография: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 117 с.
3. *Ерёмина Т.Р., Хаймина О.В., Шилин М.Б.* Международное образовательное сотрудничество вузов России в области прикладных морских наук (программа ТЕМПУС, проект eMaris). // XX Международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качество» Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Институт научно-методических исследований в области образования, Санкт-Петербург, 23 апреля 2014 г.: тез. док. — СПб., 2014, с. 89–90.
4. *Захарова Н.В.* ЕС: от Лиссабонской стратегии к Лиссабонской программе. // Современная Европа, 2008, №3, с. 45–53.
5. *Кочеткова Е., Козлов И., Далидейне И., Смирнов К.* Спутниковые методы в океанографии. // СПб.: РГГМУ, 2013. — 80 с.
6. *Рыжов В.А., Новопашенный И.В., Гордеева С.М.* Виртуальная образовательная среда SAKAICLE: методические указания. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 108 с.
7. *Рябченко В.А., Рыжов В.А., Аверкиев А.С., Гриценко В.А., Дворников А.Ю., Еремина Т.Р., Софьина Е.В., Шилин М.Б.* Применение компьютерных технологий на третьем образовательном уровне. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 70 с.
8. *Шилин М.Б., Хаймина О.В.* Прикладная морская экология. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 79 с.
9. EUROPE 2020: A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth/European commission. — Электронный ресурс: [<http://ec.europa.eu/research/era/docs/en/ec-understanding-era-13.pdf>] (дата обращения: 01.10.2015).
10. *Gordeeva S., Novopashenny I., Ogurol Y., Ryzhov V., Zhao J.* Sakai CLE for blended learning model. // IAC-ETeL International Academic Conference on Education, Teaching and E-learning, Prague, February 28 — March 1, 2014. — Электронный ресурс: [http://books.google.cz/books?id=IOjoAgAAQBAJ&pg=RA2-PA1&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false].
11. Sakai / Apereo Foundation, USA. — Электронный ресурс: [<https://sakaiproject.org/>] (дата обращения: 01.10.2015).
12. *Shilin M.B., Eremina T.R.* Achieving Sustainability in Applied Marine Science Education: Using European Experiences in Russia. // Integrative Approach to Sustainable Development at University Level. Ed. W. Leal. — Switzerland, Springer Int. Publ., 2015, pp. 397–409. — DOI: 10.007/978-3-319-10690-8_28.

В.В. Коваленко

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ДОЛГОСРОЧНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

V.V. Kovalenko

TRANSIENTS IN ESTIMATING LONG-TERM HYDROLOGICAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE

Исследуется характер переходных процессов при численной реализации модели линейного формирующего фильтра, используемой для оценки долгосрочных гидрологических последствий изменения климата с помощью вероятностных распределений из класса К. Пирсона. Они лежат в основе действующего нормативного документа СП 33-101-2003 по проведению инженерных гидрологических расчетов при обосновании надежности проектируемых и действующих гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: годовой сток, модель линейного формирующего фильтра, изменение климата.

We investigate the nature of transients in the numerical implementation of the model of a linear shaping filter used to estimate the long-term hydrologic impacts of climate change using probability distributions of the class K. Pearson. They lie at the basis of the current regulatory document BR 33-101-2003 for the engineering hydrological computations in justifying reliability planned and existing waterworks.

Key words: annual flow, model of linear shaping filter, climate change.

Проблемная ситуация, мотивирующая статью

В последние десятилетия обсуждаются возможные последствия изменения климата для экономики. Производственные функции водозависимых отраслей последней носят мультипликативный характер и, наряду с финансовыми и трудовыми ресурсами, включают в себя всевозможные природные ресурсы, прежде всего, воду. Но в таком виде это утверждение носит слишком общий и нечеткий характер. Практический смысл имеет не только сам факт наличия воды, но и расчетные гидрологические характеристики многолетнего речного стока (среднегодового, максимального и минимального). Такими характеристиками являются: норма, коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). Их, согласно действующему нормативному документу в области гидрорасчётов СП 33-101-2003 [8], достаточно для определения обеспеченных

значений расходов воды, лимитирующих устойчивость работы существующих или проектируемых гидротехнических сооружений (к нормативным характеристикам следовало бы добавить параметры выбросов случайного процесса многолетнего стока в виде их частоты и продолжительности его пребывания за лимитирующими пределами; это важно, например, для планирования бесперебойной работы ГЭС или выявления самоочищающей способности рек). Поэтому для оценки гидрологических последствий климатических изменений нужны методики получения расчетных характеристик (например, в виде прогнозных карт) при задаваемых (известных — для гидрологов) сценариях климата. Методы расчетов, используемые в инженерной практике, не могут обеспечить прогнозирование в принципе, так как они опираются на фактические ряды наблюдений. Последних для будущего, естественно, не существует. Отсюда и появляется мотивация решения задачи, направленной на разработку соответствующего метода.

Аналоги решения рассматриваемой задачи

На сегодняшний день известны четыре возможных подхода к решению данной задачи.

Первый — применение статистических зависимостей между стоковыми и климатическими (нормой осадков и температурой воздуха) характеристиками. В работе [1], с ссылкой на П.Я. Гройсмана [3] и Н.А. Сперанскую, указывается, что получены оценки «линейной связи годового стока рек СССР с изменением средней годовой приземной температуры воздуха в неэкваториальной части северного полушария (17,5–87,5° с.ш.)». Подобные связи позволяют выявлять вероятностную тенденцию изменения стока (см. с. 193 [1]). Это тоже гидрологический сценарий, но не дающий информации о значениях нормируемых стоковых характеристик, требуемых СП 33-101-2003.

Второй — применение балансового метода для оценки возможных норм многолетнего годового стока [9, 10]. Этим методом можно получить сценарные карты изменения среднего годового стока (см., например, рис. 3.1 [10, с. 140]). Однако одной нормы мало для того, чтобы оставаться в рамках требований нормативного документа СП 33-101-2003. Для получения обеспеченных значений расхода, являющегося природным ресурсом для производственных функций водозависимых отраслей экономики, нужны значения коэффициентов C_v и C_s .

Третий — динамико-стохастический метод [2]. В нём используются многопараметрические модели, связывающие метеорологическую информацию с суточными значениями стока, с введением в них статистической неопределённости. Это даёт возможность представлять стоковые характеристики в виде кривых вероятностных распределений (см. [2, с. 209, 210]). Сам по себе этот подход, способствующий пониманию тонкостей формирования талого стока, разрабатывался, по-видимому, для задач прогнозирования максимального стока весеннего половодья с использованием композиционного метода М.А. Великанова. В монографии [2] подробно излагается способ формирования многосуточного половодья (для определения слоя стока и максимального расхода). В нём требуется 19 ч машинного времени (см. [2, с. 209]) для расчета одних суток в конкретном бассейне. Можно представить, сколько времени

потребовалось бы для получения вероятностных распределений по всем постам России (их несколько тысяч), чтобы выполнить расчеты хотя бы по одной модели общей циркуляции атмосферы. Но и этого сделать нельзя — нет ни одного поверочного прогноза на ретроспективном материале (два периода с разной водностью), чтобы убедиться в возможности «замораживания» многочисленных параметров модели. Последнее неизбежно, когда параметризация модели выполняется по текущему климату, а прогноз (сценарная оценка) делается под другие климатические условия. Кроме этого, надо иметь в виду, что климатические сценарии носят политический характер, и сами авторы, предлагая их в открытом доступе, дают недвусмысленные рекомендации использовать отнюдь не суточные данные, а осредненные значения за многолетний период (обычно 20–30 лет). Но самое главное состоит в другом. На с. 243 в монографии [2] приводятся графики вероятностных распределений стока весеннего половодья, полученные динамико-стохастическим методом, которые практически идентичны кривой Пирсона III типа. Последняя хорошо аппроксимирует эмпирические точки, что служит критерием эффективности динамико-стохастического метода. Но тогда возникает вопрос: зачем использовать многопараметрическую модель, если то же самое дает модель линейного формирующего фильтра (а дает она семейство распределений К. Пирсона), в основе которого лежит обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка, имеющее только два параметра речного бассейна (коэффициент стока и время релаксации)?

Это вовсе не критика в адрес динамико-стохастического моделирования (оно позволяет глубоко проникнуть в физику формирования талого стока, отслеживая посуточное его изменение, но СП 33-101-2003 оперирует погодичными слоями стока половодья, на основе которых и находятся максимальные расходы), а только разграничение предметных областей (фиксирование «экологических ниш») данного подхода и подхода, основанного на использовании аппарата марковских случайных процессов. Это и есть *четвертый метод*, который обсуждается в следующем разделе статьи. Он предложен 25 лет тому назад и входит в учебные программы подготовки гидрометеорологов в вузах (см. [8]). У него есть свои недостатки. В данной статье рассматривается один из них, связанный с тем, что применение метода не дает ответа на вопрос: как будут вести себя расчетные гидрологические характеристики, если климатические сценарии в очередном докладе межправительственной группы экспертов по изменению климата будут носить нестационарный (в статистическом смысле) характер? Могут ли в переходном режиме появляться их выбросы относительно равновесных (статистически стационарных) режимов?

Прототип, его недостаток и цель исследования

В качестве модернизируемого в данной статье прототипа (остальные три метода являются отдалёнными аналогами) рассматривается метод, основанный на стохастической модели линейного формирующего фильтра («зашумленное» дифференциальное уравнение первого порядка):

$$dQ = [-(\bar{c} + \tilde{c})Q + \bar{N} + \tilde{N}]dt, \quad (1)$$

где Q — расход воды (модуль, слой стока); $c = \bar{c} + \tilde{c}$ и $N = \bar{N} + \tilde{N}$ (здесь $c = 1/k\tau$, $N = \dot{X}/\tau$ — коэффициент стока; τ — время релаксации речного бассейна; $\dot{X}$ — интенсивность осадков; $\bar{c}$, $\bar{N}$ — математические ожидания; $\tilde{c}$, $\tilde{N}$ — белые гауссовские шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$ и $G_{\tilde{N}}$, коррелирующие между собой с взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$).

Уравнение (1) статистически эквивалентно модели Фоккера — Планка — Колмогорова (ФПК), которая описывает марковскую эволюцию процесса формирования плотности вероятности многолетнего стока. Модель ФПК аппроксимируется системой из четырёх дифференциальных уравнений для начальных моментов m_n (см., например, [6]):

$$dm_n/dt = nM[AQ^{n-1}] + 0,5n(n-1)M[BQ^{n-2}], \quad n=1,2,3,4, \quad (2)$$

где A, B — коэффициенты сноса и диффузии (их вид см. [6]); $M[\dots]$ — математическое ожидание; n — порядок момента.

Конкретизация системы (2) будет приведена ниже. Алгоритм ее применения для гидрологической сценарной оценки изменения климата сводится к двум этапам: 1) параметризация модели по имеющимся картам (приложение к СНиПу 2.01.14-83 [7]), относящимся к статистически стационарному периоду (до 80-х гг. XX в.) — обратная задача; 2) введение в параметризованную модель сценарных характеристик климата и оценка моментов m_n , необходимых для построения прогнозных (сценарных) гидрологических карт — прямая задача. С деталями подобной технологии, позволяющей учитывать не только климатические, но антропогенные факторы подстилающей поверхности водосборов, можно ознакомиться по источнику [6]. Эта технология является прототипом методики, излагаемой ниже. Ее недостаток заключается в следующем. Так как климатические сценарии представляют собой «эволюционно-стационарные ступеньки» равновесных климатических режимов в 20–30 лет (см. рис. 1а), то и гидрологические прогнозируемые режимы являются статистически стационарными (в уравнении (2) $dm_n/dt \equiv 0$). В результате этого (неизбежного) допущения остается открытым вопрос о характере *переходного* режима от одной ступеньки к другой. Он может быть и аperiodическим, и периодическим (колебательным) с выбросами значений m_n за пределы равновесных состояний. Конечно, это не недостаток прототипа в прямом смысле этого слова, а просто не рассмотренная до настоящего времени ситуация, которая может привести к неверным гидрологическим сценариям, дающим более статичную картину изменения расчётных гидрологических характеристик, *чем она может быть на самом деле*.

Цель заключается в получении ответа на данный вопрос, а именно: оценить возможный характер переходных процессов.

Оценка характера переходных гидрологических режимов при изменении климата

Конкретизация уравнения (2) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 dm_1/dt &= -(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})m_1 - 0,5G_{\bar{c}\bar{N}} + \bar{N}; \\
 dm_2/dt &= -2(\bar{c} - G_{\bar{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\bar{c}\bar{N}}m_1 + G_{\bar{N}}; \\
 dm_3/dt &= -3(\bar{c} - 1,5G_{\bar{c}})m_3 + 3\bar{N}m_2 - 7,5G_{\bar{c}\bar{N}}m_2 + 3G_{\bar{N}}m_1; \\
 dm_4/dt &= -4(\bar{c} - 2G_{\bar{c}})m_4 + 4\bar{N}m_3 - 14G_{\bar{c}\bar{N}}m_3 + 6G_{\bar{N}}m_2.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Особенностью системы (3) является то, что младшие моменты не зависят от старших, а значит «отбрасывание» последних оставляет систему уравнений замкнутой. Это открывает возможности существенного упрощения рассматриваемой модели. Например, можно ограничиться первыми двумя уравнениями и пренебречь взаимной интенсивностью $G_{\bar{c}\bar{N}}$, отвечающей за асимметрию вероятностного распределения. (Это не означает, что при сценарных оценках в таком упрощенном варианте игнорируется коэффициент асимметрии. Последний можно связать с коэффициентом вариации, используя в прогнозном варианте соотношение C_s/C_v , соответствующее фактическому режиму речного стока.)

Так как статистически неустановившихся климатических сценариев в открытом доступе нет (а может быть их пока не существует вообще), то имеет смысл исследовать переходной гидрологический процесс при ступенчатом входном воздействии метеоусловий. Очевидно, что это предельная ситуация; реально, климатическая система обладает инерцией и так резко («ступенчато») меняться не может. Поэтому таким же предельным будет и гидрологический расчётный сценарий, т.е. если будут выявлены выбросы моментов (или расчетных характеристик m_1 , C_v и C_s), то их численные значения могут рассматриваться как верхняя экстремальная граница реальных переходных процессов.

Пример расчета переходных режимов изменения статистических характеристик среднегодовых расходов воды. На рис. 1а представлены графики изменения среднегодовых осадков $\bar{X}$ и температуры приземного воздуха $T^\circ\text{C}$, соответствующие периоду фактических наблюдений (1951–1992 гг., р. Свияга — с. Ивашевка) и сценарию СОММИТ на 2040–2069 гг. Если ограничиться двумя моментами m_1^Φ и m_2^Φ (рис. 1б), то параметризация системы (3) дает следующие значения параметров, характеризующие моделируемый бассейн с замыкающим створом с. Ивашевка: $\bar{c} = 6,13$; $G_{\bar{N}} = 8544$ (размерность величин меняется в зависимости от того, каким образом учитывается сток: расходами, слоями или модулями; данные значения соответствуют случаю, когда в расчетах используются слои в мм). Изменим (скачком) значение нормы фактических осадков $\bar{X}^\Phi$ с 490 мм до $\bar{X}^{\text{np}} = 546$ мм. Графики решения для моментов m_1^{np} и m_2^{np} представлены на рис. 1б; расчеты велись при постоянном коэффициенте стока. Из него видно, что имеет место аperiодический переходный процесс для обоих моментов. Его продолжительность определяется задаваемым временем релаксации τ и составляет значение порядка года (иногда больше), см. $m_1^{\text{np}}(t)$ на рис. 1б, где $\tau_2 > \tau_1$. В случае если $\bar{c}$ и $G_{\bar{c}}$ соизмеримы, то возникает неустойчивость переходного процесса (см. $m_2^{\text{np}}(t)$ на рис. 1б; пунктирная линия соответствует случаю $G_{\bar{c}} > \bar{c}$). На рис. 2 процесс развития неустойчивости показан более наглядно (входное воздействие $\bar{X}$ задано в виде низкочастотной периодической функции $\bar{X} = \bar{X}_0 + a \cdot \sin(\omega t)$, где a — коэффициент; ω — частота). Разумеется, ни m_2 , ни C_v бесконечными быть не могут. Поэтому представленные иллюстрации развития неустойчивости указывают только на сам факт неспособности системы (3) в ее нынешнем виде при $G_{\bar{c}} > \bar{c}$ описывать

процесс формирования расчётных гидрологических характеристик (методы борьбы с неустойчивостью см. [4, 5]).

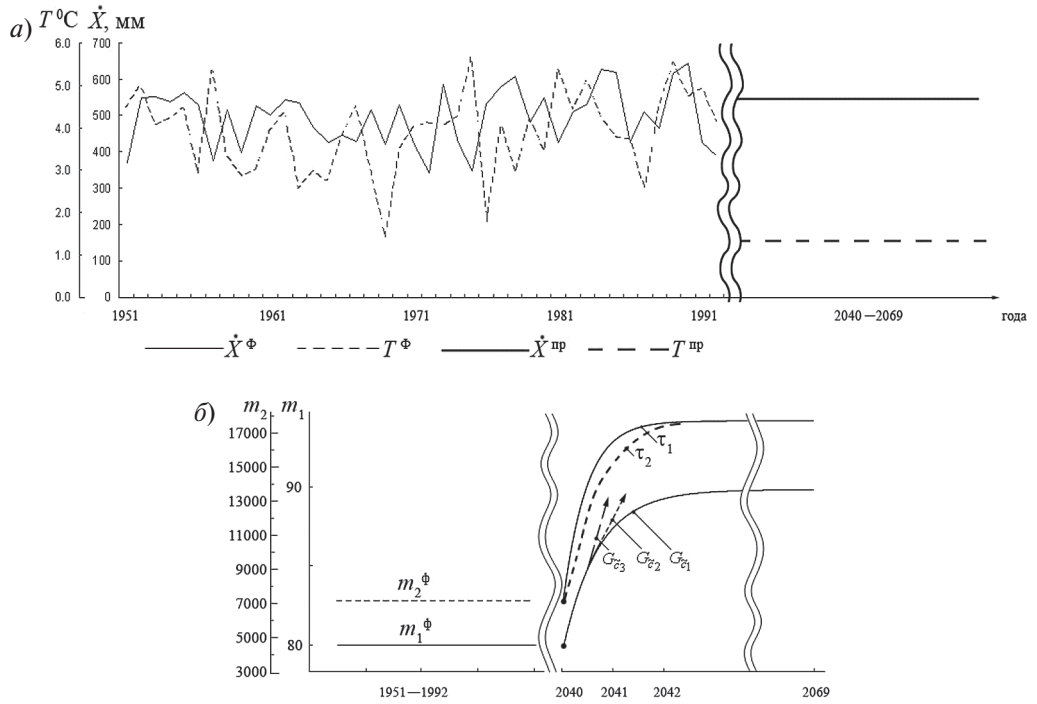


Рис. 1. Фактические и сценарный (сценарий КОММИТ 4-й доклад) ход метеозлементов (а) и переходные процессы изменения начальных моментов (б) при различных значениях параметров модели (3): $G_{\sigma_1} = 0$; $2\bar{c} > G_{\sigma_2} > 0$; $G_{\sigma_3} > 2\bar{c}$; $\tau_2 > \tau_1$

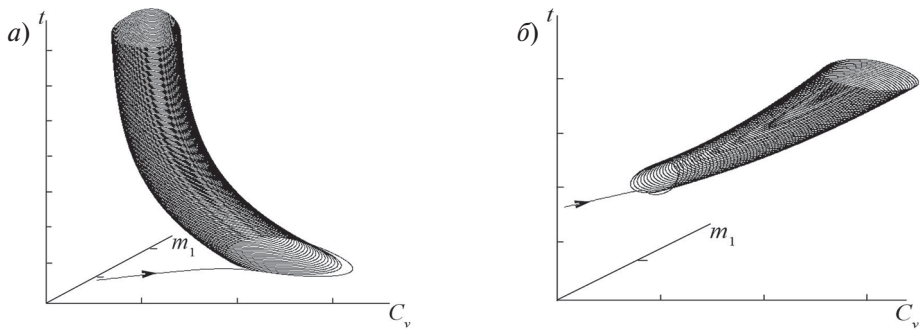


Рис. 2. Устойчивый (а) и неустойчивый (б) режимы изменения расчётных гидрологических характеристик (m_1 , C_v)

Выводы

1. В рамках модели линейного формирующего фильтра, приводящего к классу вероятностных распределений К. Пирсона, переходные процессы носят апериодический характер, что исключает появление выбросов расчётных гидрологических характеристик за уровень, соответствующий равновесному климатическому сценарию.
2. Продолжительность адаптации многолетнего годового стока (его расчётных гидрологических характеристик: нормы стока и коэффициента вариации) к новым климатическим условиям зависит от времени релаксации речного бассейна. В течение одного года (иногда нескольких лет) происходит экспоненциальное нарастание (убывание) численных значений расчётных характеристик до их значений, соответствующих статистически установившемуся (равновесному) режиму.
3. При больших значениях интенсивности внутреннего шума речного бассейна (это происходит примерно на 30 % территории России) решения модели теряют устойчивость и требуется переход к более общим моделям, методы построения которых рассмотрены в работах [4, 5, 6].

Работа частично финансировалась грантом Министерства образования и науки РФ по теме «Адаптация математических моделей формирования вероятностных характеристик многолетних видов речного стока к физико-географическим условиям России для целей обеспечения устойчивости их решений при моделировании и прогнозировании» (№ 1413, номер государственной регистрации 01 2014 58678).

Литература

1. Винников К.Я. Чувствительность климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 224 с.
2. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. — М.: Наука, 2007. — 279 с.
3. Гройсман П.Я. Эмпирические оценки связи процессов потепления и похолодания с режимом увлажнения территории СССР. // Изв. АН СССР, серия геогр., 1981, № 5, с. 86–95.
4. Коваленко В.В. Обеспечение устойчивости моделирования и прогнозирования речного стока методами частично инфинитной гидрологии. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 107 с.
5. Коваленко В.В. Применение вероятностной модели для устойчивых долгосрочных оценок модальных значений характеристик многолетнего речного стока. // Метеорология и гидрология, 2014, № 1, с. 85–91.
6. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В. Моделирование гидрологических процессов. Изд. 2-е исправ. и доп. — СПб.: РГГМУ, 2006. — 559 с.
7. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик. // Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1985. — 36 с.
8. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — М.: ФГУП ЦПП Госстрой России, 2004. — 73 с.
9. Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 153 с.
10. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 336 с.

Н.Б. Барышников, М.С. Дрегваль, П.П. Овсейко, Е.С. Субботина

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭФФЕКТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РУСЛОВОГО И ПОЙМЕННОГО ПОТОКОВ
НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РУСЕЛ И ПОЙМ**

N.B. Baryshnikov, M.S. Dregval, P.P. Ovseyko, E.S. Subbotina

**IMPACT OF THE RIVERBED AND FLOODPLAIN
CURRENTS INTERACTION ONTO HYDRAULIC RESISTANCE
OF RIVERBEDS AND FLOODPLAINS**

Выполнен анализ методов расчёта пропускной способности русел с поймами при взаимодействии потоков в них. Выявлено влияние эффекта взаимодействия на гидравлику русловых и пойменных потоков и величины гидравлических сопротивлений русел и пойм. Рекомендовано применение для расчётов пропускной способности русел и пойм эмпирической методики, основанной на данных о максимальных уровнях воды и морфометрических характеристиках расчётного участка. Предложено модернизировать таблицу для определения коэффициентов шероховатости за счёт введения поправок, основанных на учете эффекта взаимодействия русловых и пойменных потоков.

Ключевые слова: русло, пойма, эффект взаимодействия потоков, гидравлические сопротивления, коэффициенты шероховатости, формула Шези.

The existing approaches of the river channels discharge capacity computation are considered for cases when riverbed and floodplain currents interact. Impact of the riverbed and floodplain currents interaction onto hydraulic resistance of riverbeds and floodplains is revealed. Using an empirical approach based on maximum water level and morphometric characteristics of the considered water course is recommended for computation of the riverbed and floodplain discharge capacity. Enhancing the table which is used for determination of the roughness coefficients based on taking into account the riverbed and floodplain currents interaction effect is proposed.

Key words: riverbed, floodplain, effect of currents interaction, hydraulic resistance, roughness coefficients, Chezy formula.

Гидравлические сопротивления являются одной из наиболее важных проблем гидравлики и особенно её речной составляющей [7,9]. Действительно, на их основе выполняются расчёты основных параметров русловых потоков, таких как средние скорости, пропускная способность русел и др. Однако, несмотря на более чем 200-летний период, проблема гидравлических сопротивлений речных русел и пойм далека от решения. Это, в первую очередь, обусловлено сложностью процессов формирующих эти сопротивления в речных руслах и поймах, множественностью факторов их определяющих и, как следствие, необходимостью применения для их расчётов статистических методов.

С целью упрощения задачи большинство расчётных методов, разработано для условий равномерного, точнее, квазиравномерного движения. Такой подход резко

упрощает задачу, позволяет с достаточной для практики точностью решать ряд практических задач, в частности, на основе формулы Шези, получая вполне удовлетворительные результаты. Они могут быть получены при расчётах пропускной способности речных русел, средних скоростей потоков в них и средних скоростей этих потоков на скоростных вертикалях, что имеет большое практическое значение, в частности, при расчётах глубин заложения мостовых опор [1, 4 и др.].

В то же время большинство рек РФ — равнинные и максимальные, особенно катастрофические, расходы на них проходят по затопленным поймам. При этом режим движения как русловых, так и пойменных потоков становится неравномерным и, более того, с переменным по длине расходом воды [2, 4]. Поэтому расчёты средних скоростей и других параметров как русловых, так и пойменных потоков на основе концепции равномерного движения, т.е. на основе формулы Шези, приводят к большим погрешностям, далеко выходящим за допустимые пределы [4, 5]. Причиной такого положения является возникающий при этом эффект взаимодействия потоков, приводящий, в зависимости от особенностей морфологического строения расчётного участка или фазы паводка и половодья либо к существенному увеличению скоростей русловых потоков по сравнению с условиями равномерного режима, либо к их значительному уменьшению [1, 4].

Влияние этого эффекта на гидравлику как русловых, так и пойменных потоков было вскрыто в середине прошлого столетия работами в основном отечественных учёных и в первую очередь исследованиями В.Н. Гончарова [6], Н.Б. Барышникова [1, 2], Г.В. Железнякова [7] и др. [1, 4, 6]. В частности, Барышниковым одним из первых разработана типизация процессов взаимодействия потоков, основанная на учёте особенностей морфологического строения участка русла и поймы, расположенного ниже расчётного створа [1, 2, 4]. Им, в частности, в зависимости от расположения динамических осей взаимодействующих потоков выделено пять их типов [1, 3, 5]. В связи со сложностью определения положения динамических осей потоков было принято решение приравнять их положение к положению геометрических осей русла и поймы на расчётном участке [5, 6].

Данная типизация помогла получить эмпирическую графическую зависимость вида $v_p/v_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$ (рис. 1) для условий расходящихся и сходящихся динамических осей взаимодействующих потоков.

Здесь v и h — средние скорости и глубины русловых потоков; α — между динамическими осями взаимодействующих русловых и пойменных потоков; индексы «р» и «р.б.» означают, что расчётные параметры относятся к русловым потокам «р» при уровнях, превышающих уровни затопления бровок прирусловых и «р.б.» — при уровнях затопления бровок этих валов.

Эти зависимости позволяют рассчитывать средние скорости русловых потоков при их взаимодействии с потоками пойм. Значительно сложнее проблема получения расчётных зависимостей для гидравлических сопротивлений, в частности, характеризующихся коэффициентами шероховатости n . Зависимости вида $n_p/n_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$ (рис. 2) имеют более сложный вид и являются менее надёжными, чем зависимости вида $v_p/v_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$. Это обусловлено физической неопределённостью коэффициента шероховатости, в частности, его размерности, и субъективностью его расчётов.

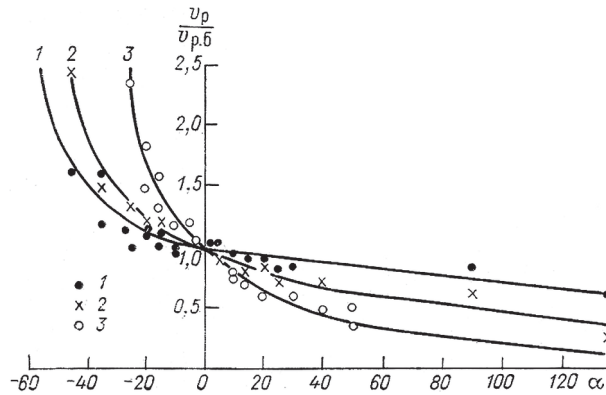


Рис. 1. Кривые $v_p/v_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$:
 1 — $h_p/h_{p,6} = 1,10$; 2 — $h_p/h_{p,6} = 1,25$; 3 — $h_p/h_{p,6} = 1,50$

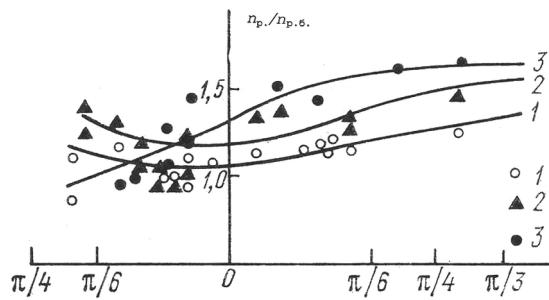


Рис. 2. Кривые $n_p/n_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$:
 1 — $h_p/h_{p,6} = 1,10$; 2 — $h_p/h_{p,6} = 1,25$; 3 — $h_p/h_{p,6} = 1,50$

Рассмотрим основную задачу данной работы, а именно оценку воздействия пойменного потока на русловой и русловый на пойменный. Как показал анализ результатов натурных исследований, выполненный Барышниковым и др. [1, 2, 4], на малых и средних реках при пропуске максимальных расходов воды редкой (1–2 %) обеспеченности, воздействие пойменного потока на русловой осуществляется на всей ширине русловый потока. Это воздействие, безусловно, зависит от мощности пойменного потока и, как правило, является тормозящим русловый поток. Рассмотрим результаты воздействия пойменного потока на поле скоростей русловый потока на примере двух средних рек ВВ УГМС при различных типах взаимодействия потоков (втором и третьем).

Как видно на рис. 3, где приведены кривые зависимостей средних на вертикалях скоростей от уровней воды, $v_b = f(H)$, на р. Пьяне у д. Камкино наблюдается резкое увеличение градиентов скоростей при увеличении уровней после выхода воды на пойму. Оно значительно увеличивается после затопления прирусловых валов, когда

формируется единый руслопойменный поток. Это свидетельствует о том, что при втором типе взаимодействия потоков, когда в них из бассейна поступает наибольшее количество воды, система поток – русло перестраивается таким образом, что, почти в два раза увеличивает пропускную способность русла. Противоположная картина наблюдается на р. Ветлуге у д. Быстри, где процесс взаимодействия потоков происходит по третьему типу, что соответствует периоду спада уровней. Как видно на рис. 3, после затопления поймы наблюдается стабилизация средних на вертикалях скоростей при увеличении уровней воды, затем после затопления прирусловых валов и образования единого руслопойменного потока происходит резкое, более чем в 2 раза, уменьшение этих скоростей (от 1,05 до 0,30 м/с). Этот пример также свидетельствует не только о тормозящем воздействии пойменного потока на всю ширину руслового, но и о присутствии принципа саморегулирования в системе речной поток – русло.

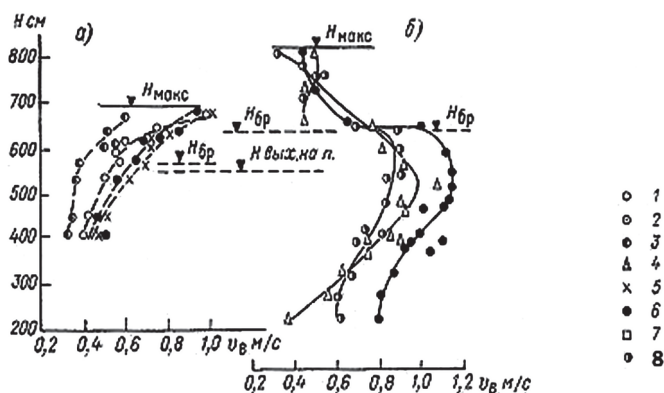


Рис. 3. Кривые $v_{\text{в}} = f(H)$:
 а — р. Пьяна — д. Камкино; б — р. Ветлуга — д. Быстри;
 1–8 — номера скоростных вертикалей; л.п. — левая пойма; п.п. — правая

На больших реках, таких как Обь, Енисей, Амур и другие тормозящее воздействие пойменного потока на русловую распространяется только на часть ширины руслового потока и, безусловно, также зависит от мощности пойменного потока, т.е. от его скорости, глубины и ширины. Наглядной иллюстрацией этого являются данные измерений параметров, в частности, скоростей и максимального расхода воды в русловой части потока р. Амур у пос. Кумара. Этот максимальный расход воды оценивается как расход 2 %-ной обеспеченности. Затопленная часть поймы была шириной примерно равной 0,4 ширины русла. Как видно на рис. 4, где приведены зависимости средних на вертикалях скоростей от уровней воды $v_{\text{в}} = f(h)$. Большинство из них имеют S-образную форму. Эти зависимости для скоростных вертикалей по мере удаления от поймы как бы распрямляются и на расстоянии от поймы, примерно равном 0,6 ширины руслового потока, преобразуются в параболические кривые. Это свидетельствует об уменьшении воздействия пойменного потока на русловую, вплоть до расстояния в 60 % ширины руслового потока.

Рассмотрим воздействие руслового потока на пойменный. Оно особенно велико в период подъёма уровней при затоплении поймы, когда поверхностные слои руслового потока, имеющие скорости значительно, иногда в два раза и более, превышающие скорости пойменного потока, поступают на пойму, коэффициенты шероховатости, определённые на основе формул равномерного движения, таких как Шези — Павловского, могут составлять для прирусловых отсеков поймы величины 0,012–0,016. Эти значения коэффициентов шероховатости в два и более раз меньше их значений для поймы, приведённых в таблицах для определения коэффициентов шероховатости И.Ф. Карасёва [8] или В.Т. Чоу [10]. Следовательно указанные таблицы, впрочем как и другие аналогичные им, должны быть откорректированы на основе учёта эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков.

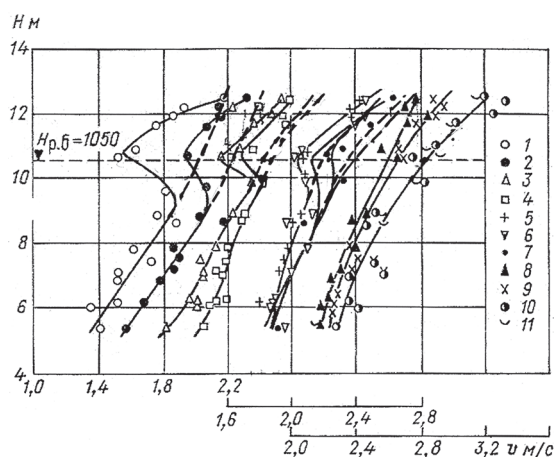


Рис. 4. Зависимости средних на вертикалях скоростей от уровня воды на р. Амур — пос. Кумара за 1958 г.: 1–11 — вертикали; «-----» — результаты расчета по формуле Шези

Существенное влияние на гидравлику русловых и пойменных потоков оказывают прирусловые валы, отделяющие русловые потоки от пойменных и значительно уменьшающие воздействие эффекта взаимодействия потоков. Действительно, высота таких валов может достигать десятка и более метров. К тому же они довольно часто зарастают растительностью, в том числе деревьями, высотой иногда более десятка метров. В то же время отметки прирусловых валов могут значительно изменяться по длине. В ряде случаев на них образуются «прорвы», т.е. резкие понижения их отметок, вплоть до полного разрушения этих валов, в основном, из-за антропогенного воздействия.

К сожалению, воздействие прирусловых валов на гидравлику русловых и пойменных потоков изучено недостаточно. Исследования в этом направлении только начаты, в частности, в РГГМУ [2]. Сложность проблемы обусловлена не только необходимостью учёта множества определяющих факторов, но и отсутствием или сложностью получения натурной информации.

Важным также является оценка ширины зоны воздействия руслового потока на пойменные. По оценкам, основанным на данных лабораторных наблюдений, как правило, проведённых на установках, где пойма была гладкой, т.е. выполненная из железобетонного бетона, она составляет 5–6 ширин руслового потока [7]. Однако результаты анализа натурных данных, полученных на реках, расположенных в различных регионах РФ, показывают, что ширина этой зоны значительно меньше и не превышает 4,0 ширин руслового потока. При этом наблюдается чёткая зависимость ширины этой зоны от степени зарастания поймы растительностью, особенно лесом. В последнем случае ширина зоны воздействия уменьшается до одной ширины руслового потока [1, 5].

Наводнения последних лет как на реках РФ, таких как Амур, Аргунь, Кубань и других, так и на зарубежных реках, свидетельствуют о необходимости совершенствования расчётных методов, в частности, методов расчётов максимальных расходов воды, особенно в условиях наметившейся нестационарности природных процессов, или разработки принципиально новых методов. Одним из них является разработанный на кафедре гидрометрии РГГМУ метод, основанный на сведениях о максимальных уровнях воды и морфометрических характеристиках русел и пойм на расчётном участке. Одной из таких характеристик и является приведённый выше угол α между динамическими осями взаимодействующих потоков.

Более сложной является проблема расчётов пойменной составляющей максимальных расходов воды. Это в первую очередь обусловлено сложностью морфологического строения пойм и пойменных массивов, значительно более низкой точностью, а иногда и полным отсутствием информации о пойменных составляющих максимальных расходов воды. Кратко рассмотрим основные методы расчётов пойменной составляющей максимальных расходов воды. Это в первую очередь методика, рекомендуемая директивными документами [2, 8], хотя и устаревшими, но не отменёнными. Она основана на формуле Шези, т.е. на концепции равномерного движения:

$$Q = Q_p + Q_n = \omega_p C_p \sqrt{h_p I_p} + \omega_{n1} C_{n1} \sqrt{h_{n1} I_{n1}} + \omega_{n2} C_{n2} \sqrt{h_{n2} I_{n2}},$$

где индексы «р» и «п» означают, что параметры относятся к русловой «р» или пойменной «п» частям потока; C — коэффициент Шези; I — уклон водной поверхности; h — средняя глубина.

Помимо неучёта неравномерности движения и массообмена между русловым и пойменным потоками в этой методике используется уклон водной поверхности пойменного потока I_n , который не измеряется. Его рекомендуется приравнять уклону водной поверхности руслового потока, что весьма далеко от истины. Более современной является эмпирическая методика, разработанная на кафедре гидрометрии РГГМУ и основанная на эмпирических зависимостях $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(F_n/(F_p + F_n), n_n/n_p)$, приведённых на рис. 5.

Как видно на рис. 5, эти зависимости разработаны для двух типов взаимодействия потоков — второго, характеризуемого расхождением осей, и третьего — при их схождении.

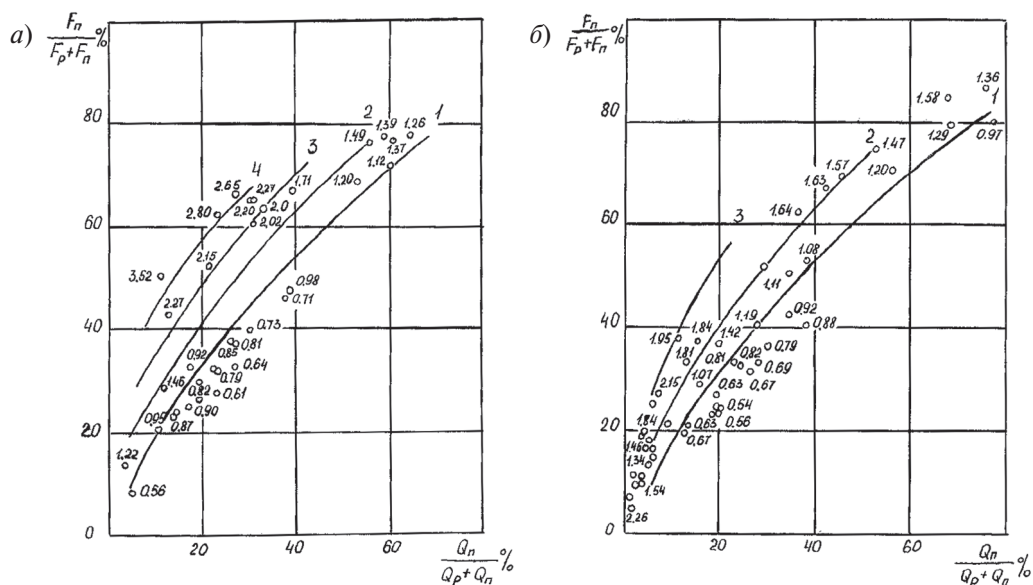


Рис. 5. Кривые $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(F_n/(F_p + F_n), n_n/n_p)$ (по С.Л. Галактионову):
 а и б — соответственно третий и второй типы взаимодействия потоков;
 около точек значения n_n/n_p : 1 — $n_n/n_p = 1,0$; 2 — $n_n/n_p = 1,5$; 3 — $n_n/n_p = 2,0$; 4 — $n_n/n_p = 2,5$

Результаты проведённого анализа позволяют сделать следующие выводы и предложения:

- несовершенство методов расчётов максимальных расходов воды, основанных на математической статистике, в условиях нестационарности природных процессов, приводит к необходимости их совершенствования или разработки принципиально новых методов расчётов;
- одной из таковых является методика, основанная на определении максимальных уровней воды и морфометрических характеристиках не только в расчётном створе, но и на расчётном участке;
- необходима разработка новых морфометрических характеристик русел, особенно пойм, аналогичных углу α , характеризующих особенности морфологического строения расчётного участка и определяющих гидравлику русловых и пойменных потоков;
- необходимо совершенствование методов расчётов пойменной составляющей при расчётах максимальных, особенно катастрофических расходов воды;
- следует модернизировать таблицы для определения коэффициентов шероховатости, в частности, за счёт учёта в них глубин и эффекта взаимодействия русловых и пойменных потоков.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. — СПб.: РГГМУ, 2007. — 314 с.
2. *Барышников Н.Б.* Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 426 с.
3. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова Е.М.* Морфометрические характеристики русел и пойм и их использование в гидравлических расчётах. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 30, с. 36–40.
4. *Барышников Н.Б., Пагин А.О., Селина Т.С., Твердохлебов А., Демидова Ю.А.* Пропускная способность пойменных русел. // Учёные записки РГГМУ, 2010, № 12, с. 5–13.
5. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Бурцев К.С.* Влияние прирусловых валов на процесс взаимодействия русловых и пойменных потоков. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 19–24.
6. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 375 с.
7. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 310 с.
8. *Карасёв И.Ф.* Речная гидрометрия и учёт водных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 310 с.
9. *Скородумов Д.Е.* Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды. // Труды ГГИ, 1965, вып. 128, с. 3–96.
10. *Чоу В.Т.* Гидравлика открытых каналов. — М.: Стройиздат, 1969. — 464 с.

А.М. Догановский, Н.В. Мякишева

ВОДНЫЙ БАЛАНС И ВНЕШНИЙ ВОДООБМЕН ОЗЕР РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

A.M. Doganovsky, N.V. Myakisheva

WATER BALANCE AND EXTERNAL WATER EXCHANGE OF LAKES OF RUSSIA AND ADJACENT TERRITORIES

Исследованы закономерности распределения и строения батиметрически изученных озер больших территорий. Предложен способ определения структуры водного баланса для выявления основных источников питания (расхода) озерных вод. Исследования и расчеты выполнены в рамках разработки способов определения внешнего водообмена неизученных озер и их транзитно — аккумуляционных свойств.

Ключевые слова: озеро, водосбор, котловина, водный баланс, уровень, водообмен.

Patterns of distribution and structure of the bathymetrically explored lakes within large areas were studied. A method for determining the structure of the water balance for identifying the main sources of lake waters input (discharge) has been offered. The research and calculations have been made in the framework of the development of methods for determining an external water exchange and transit accumulative properties of unexplored lakes.

Key words: lake, catchment, depression, water balance, level, water exchange.

Введение

Естественные озера сосредоточены в местах, где имеются котловины и вода. Поэтому эти объекты распространены практически повсеместно, но наибольшие их скопления приурочены к областям древнего и современного оледенения, к районам крупных тектонических разломов земной коры и к засушливым бессточным территориям. Количественным показателем распределения озер служит коэффициент озерности (f_o). Средняя озерность для земного шара составляет 1,5 %. При этом наблюдается определенная закономерность в распределении f_o , связанная как с происхождением котловин, так и с особенностями климата. На рис. 1 приведена карта — схема озерности территории России.

Максимальное количество озер сосредоточено в зоне распространения последнего Валдайского оледенения. Здесь величины f_o достигают 12–13 %, в отдельных случаях превышая 20 %. В этом районе находятся крупнейшие озера Европы: Ладожское, Онежское, Чудско-Псковское и др. Высокая озерность наблюдается и в сопредельных районах Финляндии, Беларуси, стран Балтии. На карте также видно, что повышенная озерность (3–10 %) свойственна северным регионам, а также Западной Сибири. На остальной территории озерность меньше 2 %, за исключением области распространения бессточных озер засушливых территорий Забайкалья, юга Западной Сибири,

сопредельной территории Казахстана, где величины f_0 возрастают до 3–5 %. Здесь же расположены такие крупные озера, как Балхаш, Б. Чаны, Кулундинское и др. Все бессточные озера, как правило, имеют повышенную минерализацию.

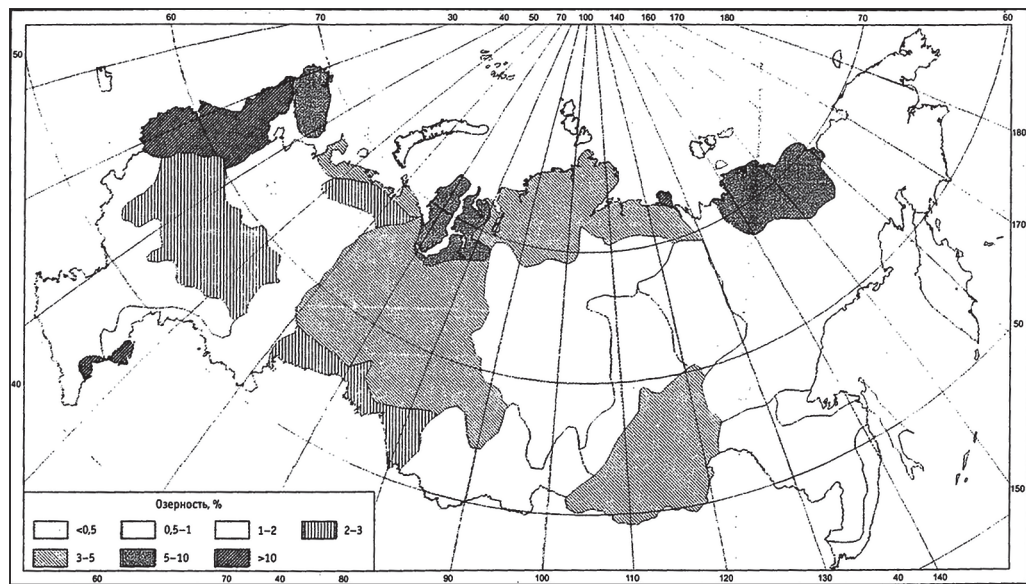


Рис. 1. Озерность территории Российской Федерации

Весьма условно, но можно говорить о наличии северного и южного озерных поясов. Подобная закономерность наблюдается и в западном полушарии. Распределение озер России по градациям их площадей приведено в табл. 1.

Таблица 1

Озёра России по градациям площади зеркала

Площадь зеркала, км ²	Количество озёр			Суммарная площадь зеркала, км ²
	ЕТР	АТР	Россия в целом	
1–10	4830	28 370	33 200	76 940
10–50	429	1 274	1 703	32 790
50–100	38	125	163	11 163
100–1000	20	69	89	20 924
> 1000	4	4	8	74 020
Всего	5 321	29 842	35 163	215 837

Самое крупное озеро на территории нашей страны и в мире — Каспийское море имеет площадь зеркала 390 000 км² и запасы воды 78 200 км³. Озеро Байкал самое глубокое озеро Земли, а запасы чистой пресной воды составляют 23 615 км³. Озера

с площадью зеркала менее 1 км² составляют около 98 % общего их количества как в России, так и на сопредельных территориях.

Такое большое количество озер играет заметную роль в жизни континента и в хозяйственной деятельности человека. Скопления озер образуют озерные ландшафты, представляющие собой озерные комплексы, связанные со спецификой морфологии территории. Озера также являются составной частью гидрографической сети, а основная их функция — аккумуляция воды и регулирование речного стока. Кроме того озера участвуют в формировании гидрологического режима других водных объектов и в первую очередь рек. Так, большая часть 2,5 млн рек и 2,5 млн озер России в той или иной степени связаны друг с другом. При этом водные ресурсы озер во много раз превосходят ресурсы рек (соответственно 180 000 и 2 150 км³). Использование озер в хозяйственных целях весьма разнообразно и связано с типом водоема. Так, бессточные озера являются водоприемниками — накопителями солей, которые широко используются в гальургии. Также озера служат источниками водоснабжения и орошения полей. Большей частью крупные озера, озерно-речные системы являются водными путями. В случае создания плотин на вытекающих из озер реках эти объекты становятся водохранилищами ГЭС. Озера также широко используются для рыболовства и рыбоводства, как объекты рекреации, водоемы-охладители ГРЭС и АЭС, добычи сапропеля, для целей бальнеологии и т.п.

В настоящее время на кафедре гидрологии суши РГГМУ значительно возрос интерес к научным исследованиям в области гидрологии озер и водохранилищ. Здесь следует отдать должное профессору Б.Б. Богословскому — известному лимнологу, возглавлявшему кафедру в течение 6 лет. (В 2016 г. мы будем отмечать 100 лет со дня рождения Бориса Борисовича). Под его руководством были переработаны учебные программы, расширены научные исследования. Впервые в истории РГГМУ были защищены две докторские диссертации по гидрологии озер и водохранилищ сотрудниками кафедры (А.М. Догановский, Н.В. Мякишева), несколько кандидатских, в том числе иностранными учащимися. В настоящее время действует магистерская учебная программа по гидрологии озер и водохранилищ.

Сложившийся коллектив кафедры, работающий в области гидрологии озер и водохранилищ, в том числе студенты и аспиранты, рассматривает широкий круг научных задач. Однако наибольшее распространение получили исследования, связанные с применением балансовых методов расчета гидрологических величин для неизученных объектов. К числу главных задач также отнесены вопросы, связанные с изучением особенностей строения, а следовательно, и происхождения озерных котловин и озерных природных систем в целом (озеро и его водосбор).

Озерные системы и озерные котловины. Особенности их строения

Рассмотрено большое количество озер, расположенных в различных физико-географических условиях, различающихся геологическим строением, климатом, ландшафтами. Котловины этих водоемов имеют различное происхождение, сформированы действием разных факторов. Неодинаковые по продолжительности периоды существования озер предопределили разную степень переформирования их котловин: разрушение берегов, заиление и т.п. При определении закономерностей пространственного

распределения озерных котловин в основу предлагаемого способа положен очевидный факт, что котловины одного и того же происхождения, одинакового возраста должны иметь схожие относительные размеры. Известно, что котловины тектонического происхождения более глубокие, чем, например, ледникового, а формы котловин соответственно ближе к конусу и параболоиду. Карстовые котловины невелики по площади, но относительно глубокие, в то время как котловины эолового происхождения имеют малые глубины и т.п. Подобные сведения приведены в обобщающих работах Б.Б. Богословского [1], Р.А. Нежиховского [13], С.В. Рянжина [16], М.Я. Прытковой [15]. Имеются также данные по озерам Средней Азии, Литвы, Северо-Запада России, Казахстана, Беларуси, Южного Урала, Якутии.

Для выделения районов сосредоточения генетически однородных котловин естественных озер потребовалось подробное изучение геоморфологических, геологических особенностей больших территорий. В качестве основного аргумента выделения однородных районов принят вид зависимости объема воды в озере (V_o) от его площади (A_o). Для установления зависимостей привлечен большой исходный материал по батиметрически изученным объектам. Всего рассмотрено около 5 тыс. озер, в том числе данные из лимнологической базы WORLDLAKE, предоставленной С.В. Рянжиным. Процедура выделения однотипных районов связана с привлечением объективного метода — кластерного анализа, позволившего сгруппировать однородные по генезису котловины. На рис. 2 приведены зависимости $V_o = f(A_o)$ для отдельных однородных районов рассматриваемой территории, а в табл. 2 представлены соответствующие уравнения.

Полученные уравнения позволяют приближенно оценить объемы воды в озерах, зная их площади. Подобные зависимости установлены и для других морфометрических характеристик разнотипных озер. Например, зависимость максимальных глубин от средних, что позволяет оценить форму котловин и примерно связать ее с условиями происхождения. Для выделенных однородных районов установлены зависимости между площадями озер и размерами их водосборов (A_o) (K — удельные водосборы). При этом величины коэффициентов корреляции зависимостей $V_o = f(A_o)$ часто превышают 0,8–0,9, в то время как для $A_o = f(A_o)$ они, как правило, не выше 0,6–0,7. Подробное описание выделенных районов приведено в работах, в том числе авторов [6, 10, 11, 13, 17, 18, 21]. Таким образом, зная район расположения изучаемого объекта, его площадь, определенную по картам или с помощью ИСЗ, приближенно оценены запасы воды в озерах. В табл. 2 приведены примеры уравнений $V_o = f(A_o)$ как результат аппроксимации установленных зависимостей, в том числе представленных на рис. 2.

Таблица 2

Уравнения $V_o = f(A_o)$ для разнотипных озер

Район	Типы котловин	Формулы
СЗ РФ	ледниково-тектонические	$V = 0,0049 A_o^{1,16}$
	ледниково-аккумулятивные	$V = 0,0015 A_o^{1,14}$
Якутия	термокарстовые	$V = 0,0022 A_o^{1,11}$
	тектонические	$V = 0,0795 A_o^{2,8}$
Казахстан	флювиальные и тектонические	$V = 0,0034 A_o^{1,13}$

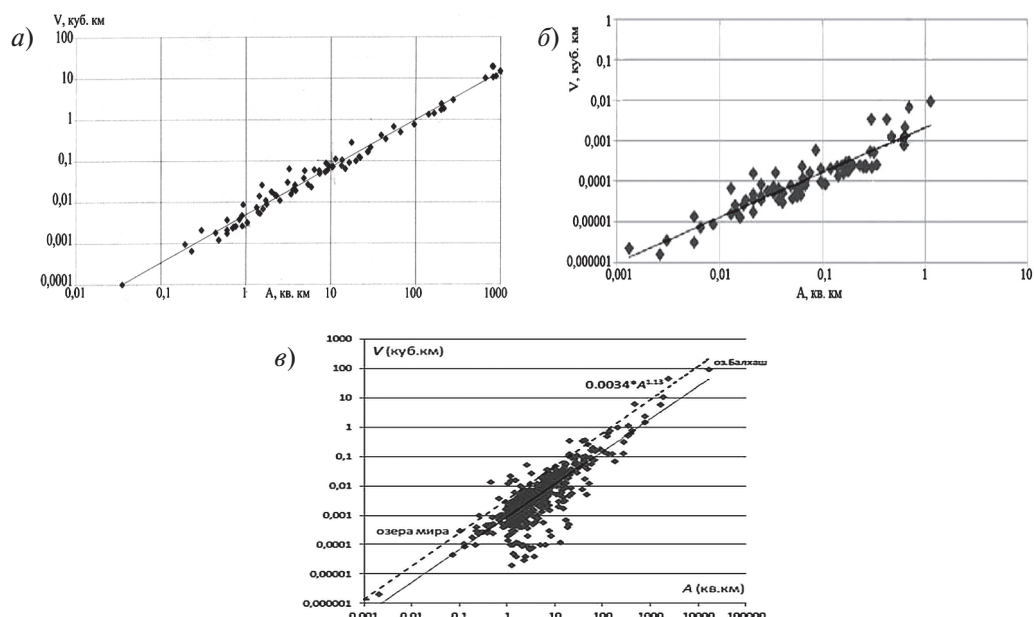


Рис. 2. Зависимости $V_o = f(A_o)$ разнотипных озер:
 а — СЗ РФ ледниково-тектонический тип; б — Якутия термокарстовый тип;
 в - Казахстан флювиальные и тектонические типы (пунктир — озера мира [16])

Числовые параметры формул определяются физико-географическими и геологическими особенностями территорий.

Водный баланс и его структура

Водный баланс, определяемый процессами прихода и расхода воды, формирующейся разными источниками, применительно к озерам представляет собой частный случай фундаментального закона естествознания — закона сохранения материи (массы). Баланс является главнейшей характеристикой гидрометеорологического режима водоемов. На основе водного баланса изучаются физические и химические процессы, происходящие в водоемах. Одновременно баланс позволяет оценить эффект хозяйственных мероприятий, связанных с использованием водных ресурсов и увидеть совокупное воздействие всех факторов, которые влияют на изменение запасов воды в озере. Водный баланс также необходим при определении стока из озера при отсутствии сведений по этой составляющей.

Интенсивность внешнего водообмена озер также теснейшим образом связана с их водным балансом. Однако при определении водообмена большую роль играют не только правильно подобранные и правильно рассчитанные элементы баланса, но и сама его структура. Например, необходимо знать, как велика доля притока воды по рекам в приходной части баланса или какова доля стока — в расходной. При этом, как

отмечено выше, часто возникает необходимость определения баланса, его структуры при отсутствии наблюдений.

Математическим выражением водного баланса является уравнение баланса. В общем виде это уравнение для многолетнего периода, представленного в объемных единицах, имеет вид:

$$V_{\text{пр}} + V_{\text{ос}} - V_{\text{ст}} - V_{\text{исп}} = \pm V_{\text{акк}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр}}$ — приток воды по рекам; $V_{\text{ос}}$ — атмосферные осадки на водную поверхность; $V_{\text{ст}}$ — сток воды из озера по реке; $V_{\text{исп}}$ — испарение с поверхности водоема; $\pm V_{\text{акк}}$ — аккумуляция воды в озерной котловине (накопление или расходование).

Элементы уравнения можно также представить в мм слоя:

$$\frac{V_{\text{пр}}}{A_o(H)} + P - \frac{V_{\text{ст}}}{A_o(H)} - E = \pm \Delta H, \quad (2)$$

где A_o — площадь водной поверхности озера; H — уровень воды в озере; P — атмосферные осадки на озеро; E — испарение с его поверхности; ΔH — приращение уровня. Для бессточных озер, которых на рассматриваемой территории много $V_{\text{ст}} = 0$. Очень часто при увеличении числа лет, за которые составляется баланс, сумма приходных составляющих равна сумме расходных, тогда $\Delta V(\Delta H) = 0$ и баланс становится равновесным.

Уравнения водного баланса (1) и (2) представлены наиболее значимыми элементами, как правило, встречающимися ежегодно при осреднении их за многолетний период. Все перечисленные элементы баланса, прежде всего, связаны с климатом (осадки, увлажнение, температура и т.п.). Важную роль при формировании элементов водного баланса играют также особенности строения озерных систем (размеры, величины удельных водосборов, формы котловин и русел вытекающих рек и др.).

Преобладание аллохтонных или автохтонных процессов в озерах во многом определяются структурой водного баланса, т.е. преобладанием тех или иных источников питания (приток по рекам, атмосферные осадки т.п.) или особенностями формирования потерь из озера (испарение, сток, фильтрация и т.п.). Особенно важно иметь представление о структуре баланса при оценке транзитно-аккумуляционных свойств водоема. Структура водного баланса озера показывает устойчивый способ связи его элементов и обеспечивает качественную определенность всей озерной системы.

Особенности режимных характеристик озера, функционирование его экосистемы также определяется преобладающими элементами баланса. Например, в приходной части баланса озера Байкал на поверхностный приток приходится 85 %, а 15 % на атмосферные осадки и подземные воды, 84 % расходной части составляет сток Ангары. Для озера Большие Чаны приток по рекам составляет 68 %, сток равен 0, а испарение 100 %. Таким образом, структура водного баланса определяется местоположением водоема, т.е. климатом и особенностями строения озерной системы.

Исходя из этого, выявлены важные условия и закономерности, определяющие соотношения элементов баланса. Такие исследования для озер различных территорий

ранее были выполнены К.К. Эдельштейном [20], А.М. Комлевым [8], А.М. Догановским, М.И. Нестеревой [6]. Перечисленные закономерности сводятся к формированию нелинейных связей между долей какой-либо составляющей в приходной или расходной частях баланса с условиями увлажнения и особенностями строения озерных систем. Для озер различных природных зон это положение можно выразить с помощью уравнения (1), представленного в мм слоя за многолетний период при $\Delta H = 0$. Согласно этому уравнению приток воды в озеро с водосбора равен:

$$h_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{A_0} = \frac{h_{\text{пр.б}} A_6}{A_0} = h_{\text{пр.б}} K, \quad (3)$$

где $h_{\text{пр.б}}$ — величина речного стока на водосборе (мм); A_6 — площадь водосбора; K — показатель удельного водосбора ($K = A_6/A_0$).

Доля речного стока в расходной части баланса (Y) равна:

$$Y = \frac{h_{\text{пр.б}} \cdot K + P - E}{h_{\text{пр.б}} \cdot K + A} \quad (4)$$

или, разделив числитель и знаменатель на P получим:

$$Y = 1 - \frac{E/P}{(h_{\text{пр.б}} \cdot K)/P + 1}, \quad (5)$$

где $E/P = \alpha_1$ коэффициент испарения, величина обратная коэффициенту увлажнения (K_y); $h_{\text{пр.б}}/P = \alpha_2$ коэффициент стока в случае равенства осадков, выпавших на поверхность озера и водосбора. Тогда

$$Y = 1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2 \cdot K + 1}. \quad (6)$$

Уравнение (6) описывает гиперболу. При этом аргументами процесса являются величины удельного водосбора (K), который изменяется от 0 до ∞ ($0 < K < \infty$), коэффициент стока ($0 < \alpha_2 < 1$) и коэффициент испарения (α_1), характеризующий географическую зону или местоположение водоема (Величины α_1 и соответствующие им географические зоны приведены в подрисуночных подписях на рис. 1). Решение уравнения (6) при разных аргументах и трех крайних их значениях выполнено согласно [3], что позволило получить семейство гипербол с закрепленными концами характеризующих изменение доли речного стока в расходной части баланса в зависимости от величин K , α_1 и α_2 . При этом величины $\alpha_2 = f(\alpha_1)$. Однако их можно заменить значениями модуля (q) или слоя (h) стока, для которых имеются карты распределения по территории обоих показателей.

Возможные варианты гипербол при разных значениях аргументов представлены на рис. 3. При этом график функции при $\alpha_1 = 1,0$ ($q = 2-3$ л/с·км²) служит границей, выше которой располагаются озера зоны избыточного увлажнения, ниже — недостаточного.

В первом случае все водоемы должны быть сточными, во втором — наличие стока определяется величиной K и в меньшей мере α_2 . Многолетние колебания водности определяют неустойчивость значений α_1 и α_2 (q) и соответственно линии под номером 3 на рис. 3. Отсюда возникает класс периодически сточных озер.

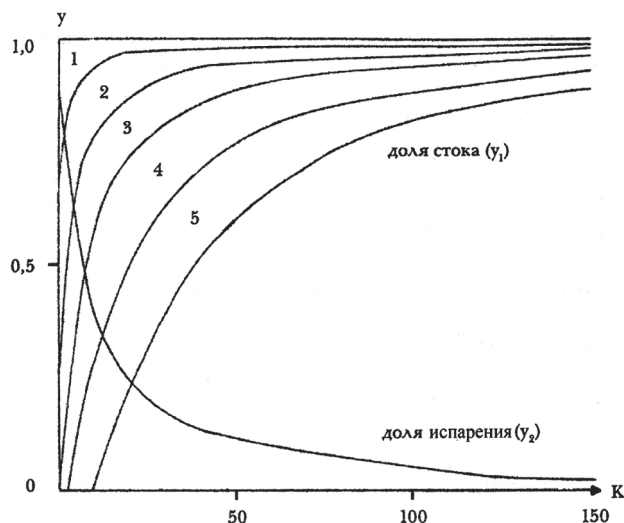


Рис. 3. Виды гипербол, характеризующих изменение доли составляющих водного баланса от определяющих факторов:
 y_1 — доля стока в расходной части баланса; y_2 — доля испарения; K — величина удельного водосбора;
 1 — модуль стока $q = 15$ л/(с·км²); 2 — $q = 10$ л/(с·км²); 3 — $q = 2-3$ л/(с·км²);
 4 — $q = 1$ л/(с·км²); 5 — $q < 1$ л/(с·км²)

Географическое распределение воднобалансовых типов озер представлено также в виде карт изолиний критических значений удельных водосборов ($K_{кр}$), выше которых озера становятся бессточными, ниже — сточными. Для определения $K_{кр}$ формул (2)–(3) получено соотношение при условии $h_{ст} = 0$.

$$K_{кр} = (E - P) / h_{пр}. \quad (7)$$

Построенные таким образом карты и их анализ приведены в работах авторов [4].

Внешний водообмен разнотипных озер

Одной из главных задач при изучении озер является разработка способов оценки времени пребывания воды в котловинах или, иначе, оценка интенсивности водообмена. В качестве количественной характеристики, отражающей этот процесс, принят коэффициент условного внешнего водообмена ($K_в$), определяемого в зависимости от задач за многолетний или любой другой период времени. Интерес также представляют изменения этого коэффициента по территории.

Вопросам изучения процесса водообмена и разработке способов его определения посвящено большое количество исследований начиная с капитальных работ С.В. Григорьева [2], С.Д. Муравейского [9], позже Б.Б. Богословского [1], И.Н. Сорокина [19], К.К. Эдельштейна [20] и др. Большой вклад в развитие изучения водообмена внес Б.Б. Богословский. При этом необходимо различать водообмен внутренний и внешний. Внутренний происходит в самих водных объектах и представляет собой процесс выравнивания физико-химических свойств водных масс. Внешний водообмен — поступление водных масс извне и выход их за пределы водоема. Количество воды, участвующее во внешнем водообмене, характеризуется водным балансом объекта.

В практике гидрологических расчетов и анализа рассматриваются два вида внешнего водообмена «по притоку» ($K'_в$) и «по стоку» ($K''_в$). Эти коэффициенты могут быть определены из уравнения водного баланса, представленного уравнением (1). В зависимости от решаемой задачи коэффициенты $K'_в$ определяются как частное от деления суммы приходных или расходных составляющих водного баланса на объем воды в озере (V_o). Однако чаще всего при оценке внутриводоемных процессов рассчитываются коэффициенты водообмена лишь по притоку или стоку:

$$K'_в = V_{пр}/V_o, \quad K''_в = V_{ст}/V_o, \quad (8)$$

где $V_{пр}$ и $V_{ст}$ — соответственно приток воды в озеро и сток из озера; V_o — объем воды в озере.

Количественная оценка внешнего водообмена при наличии необходимых исходных данных, т.е. результатов измерений, не представляет труда. Значительно сложнее определить интенсивность водообмена для неизученных объектов, а это основная задача наших исследований. Для определения $K'_в$ неизученных объектов необходимо определить площади озера и его водосбора по картам или спутниковым данным. Зная тип водоема, с помощью формул приведенных в наших работах [6, 16], а примеры их представлены в табл. 1, следует определить объем воды в озере и, привлекая карту стока, вычислить приток воды в этот водоем. Определение стока из озера осуществляется путем решения уравнения водного баланса (1) относительно $V_{ст}$.

Знание интенсивности водообмена, его изменчивости во времени позволяет решить целый ряд важных гидрологических и гидроэкологических задач. От интенсивности водообмена, определяемого величиной $K'_в$ зависит уловенный режим водоемов. Чем более замедлен водообмен, тем интенсивнее происходит накопление воды, что приводит к увеличению амплитуды колебаний уровней и возрастанию внутрирядной связанности рядов. То есть от $K'_в$ зависят параметры кривых распределения уловенных рядов. С увеличением интенсивности водообмена уменьшается биомасса планктонных сообществ, меняется тип лимногенеза.

Решая уравнение солевого баланса, которое определяется водным балансом, можно определить солеобмен водоемов. При интенсивном водообмене доминирует транзит веществ, поступающих с водосбора через водоем. При замедленном водообмене — аккумуляция веществ в водоеме. Таким образом, величина $K''_в$ определяет развитие внутренних процессов и прежде всего способов удерживать поступающие с водосбора

различные вещества, в том числе эвтрофирующие и продукты эрозии и абразии. Эти вещества влияют как на эволюционные процессы изменения самой котловины за счет седиментации, так и на формирование физико-химических свойств воды.

Коэффициент K'_b раскрывает связь озера с водосбором. Транзитно-аккумуляционные свойства озера характеризуются величиной коэффициента K''_b . Чем больше значение этого коэффициента, тем интенсивнее происходит транзит веществ, поступивших в озеро с водосбора, тем меньше их задерживается в котловине. Между транзитными и аккумуляционными процессами можно выделить промежуточные транзитно-аккумуляционные и аккумуляционно-транзитные. Наличие такого большого разброса значений K''_b позволили Б.Б. Богословскому [1] классифицировать озера по интенсивности внешнего водообмена. Эта классификация с нашими небольшими изменениями приведена в табл. 3.

Таблица 3

Классификация водоемов по внешнему водообмену

Класс	Транзитные	Транзитно-аккумуляционные	Аккумуляционно-транзитные			Аккумуляционные озера
	сильно проточные		среднепроточные озера	слабая проточность	крупные озера	бессточные
водообмен K''_b	>100	10–100	1–10	0,1–10	< 0,1	0
период обмена τ	часы, сутки	недели, месяцы	месяцы, сезоны, годы	годы, десятилетия	десятки и сотни лет	—

Приведённая классификация и принципы её построения имеют многоцелевое значение, в том числе для комплексной типизации континентальных водоёмов по их ведущим признакам, определяющим гидрологический и биологический режим озёр и водохранилищ, а также их лимнический тип. В табл. 3 представлены основные типы озёр, по внешнему водообмену различающихся интенсивностью этого процесса. Водный режим класса транзитных озёр приближается к речному и практически все поступившие в озеро вещества выносятся за его пределы. Качество воды озера приближается к речному. Транзитно-аккумуляционный класс озёр характеризуется сменой воды в течение недель — месяцев, а небольшая часть поступивших в озеро веществ задерживается в котловине. При аккумуляционно-транзитном режиме в зависимости от уменьшения величин K'_b происходит увеличение аккумуляционной составляющей, а обмен воды растягивается на десятки лет. К классу аккумуляционно транзитных водоемов можно также отнести крупные озера с коэффициентом водообмена менее 0,1, где накопление веществ растягивается на десятки и сотни лет. Класс аккумуляционных озёр — это, прежде всего, бессточные водоемы. Основной обмен воды происходит через испарение (рис. 1), а все поступающие в озеро вещества откладываются в котловине. Именно вода озёр этого класса чаще всего имеет повышенную минерализацию. При этом расчет транзита и аккумуляции веществ оценивается через величину K''_b .

Расчеты показали, что на рассматриваемой территории имеются озера всех перечисленных в таблице классов. Однако разные типы увлажнения территорий, неодинаковые геоморфологические условия предопределили неравномерное

распределение озер разных типов. Так большинство озер Северо-Запада России относятся к классу транзитно-аккумуляционных. Среди озер Якутии также много транзитно-аккумуляционных объектов, но в центральной ее части подавляющее большинство озер — аккумуляционные. Большинство озер Северного Казахстана относятся к классам флювиальных, аккумуляционных, тектонических.

Многокритериальная классификация озёр

Существующие многочисленные классификации озер, как правило, являются одномерными и частными. Они выполнены по одному из характерных признаков для решения конкретных задач. Однако они не исключают создание многомерных классификаций как основы для более прочного обоснования одномерных и их согласования между собой. Исходя из того, что наиболее долго вода задерживается в океане (водообмен 1 раз в 2500 лет), а наиболее быстрая смена воды характерна для рек (часы, сутки). Водообмен озер занимает промежуточное положение между этими крайними показателями. На основании учета основных факторов, одновременно влияющих на интенсивность водообмена озёр (морфометрических, климатических), разработана классификация озер по величине внешнего водообмена [5, 10, 11].

В свою очередь, классы оказалось возможным разделить на подклассы, определяемые в первую очередь размерами водоемов (малые, средние, большие) и особенностями их морфометрических характеристик (табл. 5).

Таблица 4

Классы озер по величине их внешнего водообмена

№ п/п	Класс	Значение в год	Период водообмена
1	Слабый	От 0,00025 до 0,1	От 1 раза в 2,5 тыс. лет до 1 раза в 10 лет
2	Умеренный	От 0,1 до 1,00	От 1 раза в 10 лет до 1 раза в год
3	Умерено-сильный	От 1,0 до 4,0	От 1 раза в год до 1 раза в сезон
4	Сильный	От 4,0 до 12,0	От 1 раза в сезон до 1 раза в месяц
5	Очень сильный	От 12,0 до 365,0	От 1 раза в месяц до 1 раза в сутки

Таблица 5

Многомерные классы озерных систем

Морфометрические характеристики	Подклассы		
	малые	средние	большие
слабый водообмен ($K_B < 0,1$)			
K	1–5	1–10	1–10
$A_{\text{взоб}}, \text{км}^2$	10–100	100–500	500–5000
$V, \text{км}^3$	0,10–1,0	1,0–10,0	>10,0
умеренный водообмен ($0,1 < K_B < 1,0$)			
K	1–25	1–25	1–25

Морфометрические характеристики	Подклассы		
	малые	средние	большие
$A_{\text{васб}}, \text{ км}^2$	10–100	100–500	500–5000
$V, \text{ км}^3$	0,01–0,10	0,10–1,0	1,0–10,0
умеренно-сильный водообмен ($1,0 < K_B < 4,0$)			
K	1–25	1–25; 25–50; >50	>50
$A_{\text{васб}}, \text{ км}^2$	10–100	100–500	500–5000
$V, \text{ км}^3$	0,001–0,01	0,01–0,1	0,1–1,0
сильный водообмен ($4,0 < K_B$)			
K	1–25	1–25; 25–75; >75	50–75; 75–150; >150
$A_{\text{васб}}, \text{ км}^2$	10–100	100–500	500–5000
$V, \text{ км}^3$	0,001	0,001–0,01	0,01–0,10

В распределении по территории озер с разным водообменом прослеживается определенная географическая закономерность. На рис. 4 представлено районирование Северо-Запада России, одного из районов рассматриваемой территории по величине комплексного индекса внешнего водообмена, обозначаемого как WEE (*water exterior exchange*). Этот индекс в явном виде учитывает влияние на водообмен морфометрических особенностей подстилающей поверхности и климатических факторов. Этапы построения указанного индекса и подробное описание выделенных районов изложено в нашей работе [5].

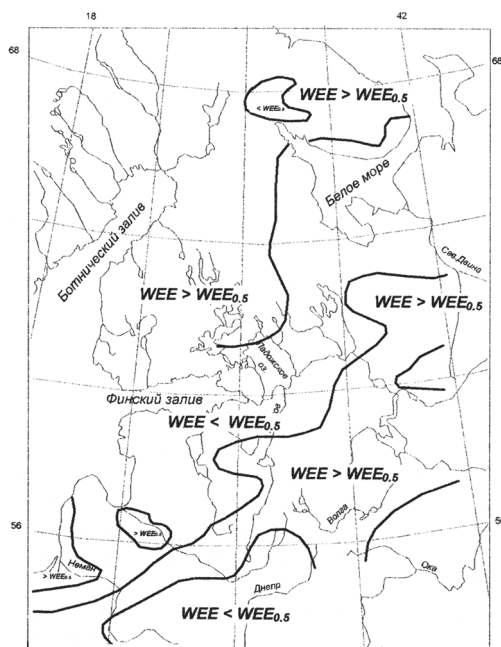


Рис. 4. Пространственное распределение индексов WEE , $WEE_{0,5}$ — медианы функций распределения $F(WEE)$

Анализ представленной карты и выделенные районы соответствуют известной схеме распределения озер Северо-Запада России Д.Д. Квасова [14]. При этом обращает на себя внимание закономерность ориентации границ районов, связанная с движением последнего Валдайского ледника.

Литература

1. Богословский Б.Б. О водообмене водоемов и водных массах водных объектов. Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. — Новосибирск: Наука, 1975, с. 270–275.
2. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озерах. // Труды Карельского филиала АН СССР, Материалы по гидрологии, Карелия, Петрозаводск, 1959, вып. 18, с. 29–45.
3. Догановский А.М. Исследование возможностей обобщения данных по водному балансу внутренних водоемов. // Сб. работ по гидрологии, 1982, № 17, с. 172–179.
4. Догановский А.М., Комаринский Д.В. Распределение по территории озер с разной степенью проточности. В сб.: Современные проблемы гидрометеорологии (Сборник посвящен памяти профессора В.Н.Адаменко). — СПб.: изд. «Астерион», 2006, с. 184–191.
5. Догановский А.М., Мякишева Н.В. Построение комплексных индексов внешнего водообмена озер в условиях неопределенности и дефицита гидрологической информации. // Водные ресурсы, 2002, т. 29, № 3, с. 284–291.
6. Догановский А.М., Нестерева М.И. Водный баланс и внешний водообмен озер Якутии. // Учёные записки РГГМУ, 2015, № 40, с. 15–30.
7. Дракцова В.Г., И.Н.Сорокин. Озеро и его водосбор — единая природная система. — Л.: «Наука», 1979. — 196 с.
8. Комлев А.М. Некоторые проблемы оценки ресурсов поверхностных вод. // Географический вестник, 2005, № 1–2, с. 68–72.
9. Муравейский С.Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер. // Вопросы географии, 1948, № 7.
10. Мякишева Н.В. Классификация озер при информационном дефиците. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. — 195 с.
11. Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. — СПб.: Гидрометеоиздат, 2009. — 153 с.
12. Мякишева Н.В., Жумангалиева З.М. Внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 27, с. 36–44.
13. Нежиховский Р.А. Объем воды в реках, озерах и водохранилищах Советского Союза. // Труды ГГИ, 1973, вып. 203. с. 239–242.
14. Последний ледниковый покров на Северо-Западе Европейской части СССР. Под ред. И.П. Герасимова. — М.: «Наука», 1969. — 322 с.
15. Прыткова М.Я. Гидрологический режим и заиление малых разнотипных водоемов Северо-Запада. — СПб.: «Наука», 2011. — 200 с.
16. Рянжин С.В. Новые оценки глобальной площади и объема воды естественных озер мира. // Докл. РАН, 2005, т. 401, № 2, с. 253–257.
17. Рянжин С.В., Мякишева Н.В., Жумангалиева З.М. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Казахстана. // Водные ресурсы, 2015, т. 42, № 5, с. 510–521.
18. Сало Ю.А., Потахин М.С., Толстиков А.В. Расчет средней глубины озер при отсутствии батиметрических данных на примере водоемов Карелии. География: Проблемы науки и образования, LXIII Герценовские чтения. — СПб., 2010, с. 410–413.
19. Сорокин И.Н. Внешний водообмен озер СССР. — Л.: «Наука», 1988. — 180 с.
20. Эдельштейн К.К. Гидрология озер и водохранилищ. — М.: изд. «Перо», 2014. — 399 с.
21. Doganovsky A.M. External water exchange of lakes as the integral indicator of water body types. // Polish Limnological society, Limnological review, 2012, vol. 12, № 1, p. 11–17.

Б. Шапрон, В. Кудрявцев, Е. Заболотских

ПРОЕКТ МЕГАГРАНТ: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

B. Chapron, V. Kudryavtsev, E. Zabolotskikh

MEGAGRANT PROJECT: GENERAL RESULTS

Приводится обзор основных результатов, полученных по проекту «Мегагрант — РГГМУ» за период 2011–2015 гг. Исследования проведены на базе лаборатории спутниковой океанографии, созданной в 2011 г. для реализации задач проекта.

Ключевые слова: спутниковая океанография и метеорология, методы обработки и анализа спутниковых данных, физическое моделирование, спутниковый информационный портал.

The paper presents the main results obtained in the frame of “Megagrant — RSHU” project in 2011–2015. The project was funded by the Russian Federation Government in the frame of the national support program for the scientific research in the Russian universities under the leadership of invited world level scientists. Presented research was carried out in the satellite oceanography laboratory, founded in 2011 for the project task implementation.

Key words: satellite oceanography and meteorology, satellite data processing and analysis, physical modeling, satellite informational portal.

Введение

В 2010 г. Правительство РФ объявило о начале программы государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования. Поддержка Правительства РФ осуществлялась через выделение Мегагранта высшему учебному заведению для создания лаборатории и проведения на ее базе фундаментальных и прикладных исследований под руководством приглашенного ученого мирового уровня.

В 2011 г. в результате жесткого конкурсного отбора заявка РГГМУ на получение Мегагранта для создания при РГГМУ Лаборатории Спутниковой Океанографии (ЛСО) под руководством французского ученого с мировым именем, доктора Бертрана Шапрона из института IFREMER, была поддержана Советом по грантам Правительства Российской Федерации (решение Совета по грантам, протокол от 21 сентября 2011 г. № 7). Основными задачами Лаборатории являлись:

- Проведение фундаментальных исследований в области физической и спутниковой океанографии и метеорологии, направленных на создание новых

подходов и методов исследования природной среды на основе совместного использования данных спутниковых измерений и моделирования.

- Разработка новых методов и алгоритмов обработки, анализа и применения спутниковых данных для исследования и оперативного мониторинга природной среды, включая опасные природные явления и их воздействие на окружающую среду.
- Создание спутникового информационного портала, обеспечивающего сбор, хранение и предоставление удобного доступа к спутниковым данным, получаемых в «онлайн» режиме из мировых центров спутниковой информации. Создание на этой основе, специализированного Арктического портала, обеспечивающего в реальном масштабе времени мониторинг гидрометеорологического состояния Арктики.
- Проведение образовательной деятельности, подготовка специалистов мирового уровня (магистры, аспиранты, кандидаты наук) в области исследования и применения спутниковых данных для исследования природной среды.

Актуальность создания ЛСО в РГГМУ была обусловлена, в первую очередь, разрывом между огромными потоками информации, поступающих с быстро развивающейся мировой спутниковой наблюдательной системы, и конечными пользователями (ученые и специалисты, студенты и аспиранты), которым адресована эта информация, но которые «не знают» о ее существовании и/или не обладают необходимым опытом ее применения для фундаментальных и прикладных гидрометеорологических исследований.

В настоящее время основную часть коллектива Лаборатории (15 человек) составляют молодые ученые, программисты, аспиранты и студенты. К работе в Лаборатории на временной основе также привлекаются сотрудники, аспиранты и студенты РГГМУ. Исследования Лаборатории осуществляются в тесном сотрудничестве с российскими и западными учеными. За относительно короткий срок существования Лаборатории получен ряд важных научных результатов, которые опубликованы в высокорейтинговых международных и российских журналах (включая 27 статей, входящих в базу данных Web of Science и SCOPUS), и доложены на 52 международных конференциях и семинарах. Лабораторией создан спутниковый информационный портал SATIN (<http://satin.rshu.ru>), предоставляющий удобный доступ к разнообразным спутниковым данным по Мировому океану, и Арктический online портал SIOWS («Storm – Ice – Oil – Watch – System», <http://arctic.solab.rshu.ru/>), нацеленный на «онлайн» мониторинг гидрометеорологического состояния Арктического региона на основе спутниковых и модельных данных. Ниже приводится обзор основных научных результатов, полученных сотрудниками ЛСО в рамках проекта Мегагрант.

Развитие новых методов и моделирование

Моделирование микроволнового излучения

Спутниковые радиометрические измерения характеризуются возможностью получения регулярной оперативной информации об атмосфере и подстилающей поверхности в глобальном масштабе и, дополняя комплекс традиционных

гидрометеорологических наблюдений (контактных и дистанционных наземных), вносят существенный вклад в улучшение анализа погодообразующих процессов и климата. Все пассивные микроволновые исследования в рамках Мегагранта базировались на физико-математическом моделировании радиоярких температур уходящего излучения системы океан – атмосфера. Моделирование проводилось для характеристик каналов радиометров Advanced Microwave Sounding Radiometer – Earth Observing System (AMSR-E) на спутнике Aqua, AMSR2 на спутнике GCOM-W1 и Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS) на спутнике Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Геофизическая модельная функция состоит из эмпирических моделей излучения океана и упрощенных моделей атмосферного поглощения, учитывающих наличие излучения и поглощения кислорода, водяного пара и жидко-капельной влаги облаков. Модель ограничена условиями отсутствия рассеяния, т.е. для частот Ka -, K - и Ku -диапазона применима в условиях отсутствия осадков, а для частот C - и X -диапазона и для условий дождя с интенсивностью, не превышающей 20 мм/ч. На основании сравнения результатов моделирования с измерениями спутниковых радиометров при использовании нескольких моделей спектров поглощения атмосферных газов, позволяющих рассчитать излучение атмосферы, и моделей излучения океана, основанных на новых экспериментальных данных, опубликованных в научных изданиях в последние годы, выбрана оптимальная комбинация моделей, обеспечивающая наименьшую среднеквадратичную разность между радиометрическими измерениями и модельными расчетами [31, 16].

Калибровка измерений спутниковых микроволновых радиометров

Преимущества данных пассивных микроволновых инструментов, связанные с возможностью их использования для количественных оценок геофизических параметров, реализуются только при обеспечении калибровки измерений. Особую значимость решение проблем калибровки приобретает для климатических исследований, базирующихся на длинных временных рядах данных, полученных различными инструментами. Однородность рядов радиоярких температур обеспечивается как интеркалибровкой спутниковых инструментов, так и калибровочными работами, основанными на моделировании радиоярких температур и выполнении расчетов с использованием наземных измерений параметров океана и атмосферы, определяющих уходящее излучение. В рамках проекта Мегагрант было проведено сравнение расчетных значений радиоярких температур с измеренными с целью определить систематический (средний) корректирующий сдвиг между результатами вычислений и измерениями для последующего использования в качестве настроечной поправки.

Полученные поправки к радиоярким температурам в соответствующих каналах спутниковых микроволновых радиометров вместе с разработанной геофизической моделью могут быть использованы в дальнейшем при разработке алгоритмов оценки параметров, основанных на результатах модельных расчетов. С использованием корректирующих поправок к радиоярким температурам, которые интегрально компенсируют неточности модели и ошибки внутренней калибровки продуктов уровня Level 1B, можно проводить любые исследования, связанные с разработкой

алгоритмов восстановления параметров океана и атмосферы по данным радиометров AMSR-E и SSMIS [30, 16].

Развитие новых алгоритмов восстановления гидрометеорологических параметров

Возможность оценки геофизических параметров по данным спутникового микроволнового зондирования зависит от чувствительности радиояркостной температуры к изменениям параметров. Эта возможность реализуется преимущественно для параметров атмосферы над поверхностью океана и для самих параметров океана, а также для сплошности морского льда.

Используя подход, основанный на физическом моделировании радиояркостных температур уходящего излучения и последующей корректировки модельных значений радиояркостных температур, в рамках проекта были разработаны новые алгоритмы восстановления интегрального содержания влажности в атмосфере (влагозапаса атмосферы), интегрального содержания жидкокапельной влаги облаков (водозапаса атмосферы), температуры поверхности океана, скорости приводного ветра, интенсивности дождя и интегрального поглощения микроволнового излучения в атмосфере на частоте 10,65 ГГц по данным как исторического спутникового радиометра AMSR-E на спутнике Aqua, так и действующего радиометра AMSR2 на спутнике GCOM-W1. Новые методы были созданы на основе использования Нейронных Сетей в качестве метода решения обратной задачи. Все методы имеют повышенные точности в условиях тропических и внетропических циклонов и поллярных ураганов [10, 17].

Метод оценки интенсивности дождя был верифицирован на основании сравнения результатов применения метода к данным радиометра AMSR2 с несколькими готовыми спутниковыми продуктами по интенсивности дождя, созданными в оперативном центре хранения и обработки информации Remote Sensing Systems (RSS) по данным TMI и AMSR2 [22].

Для скорости приводного ветра было разработано два алгоритма: высокочастотный и низкочастотный. Оба алгоритма были протестированы с использованием базы данных японского аэрокосмического агентства, содержащей более 5000 измерений морских буев, полей ветра по данным скаттерометра MetOp-A ASCAT для базы данных внетропических циклонов в Северной Атлантике и измерений с морских платформ в Северном и Норвежском морях [17]. Результаты применения высокочастотного алгоритма для изучения поля ветра во внетропическом циклоне в Тихом океане, в сравнении с полем ветра оперативного продукта Японского Космического Агентства JAXA, приведены на рис. 1.

Поля ветра по данным AMSR2, обладающие сравнительно высоким пространственным разрешением и высокой точностью, могут быть успешно использованы как в качестве исходных данных при моделировании различных процессов в атмосферном погранслое, так и для оценки качества прогноза [24].

В рамках проекта был также создан новый метод идентификации радиочастотных помех С- и Х-диапазона над океанами, основанный на анализе соотношений модельных значений радиояркостных температур для всего диапазона изменчивости естественных условий, реализующихся в океане и атмосфере [21].

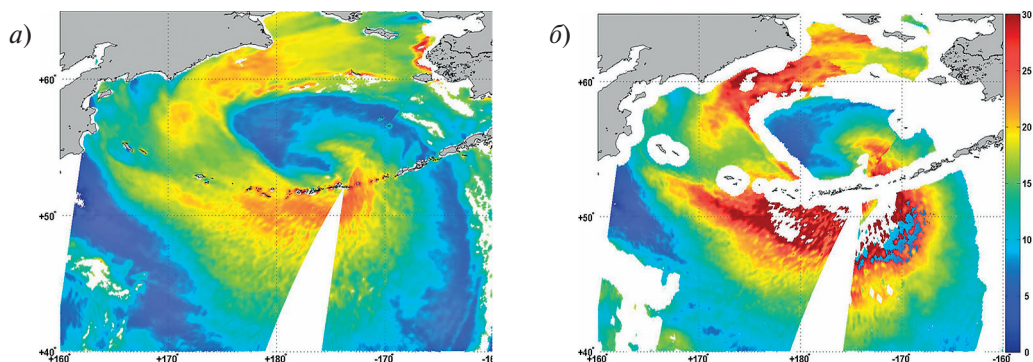


Рис. 1. Поля ветра во внетропическом циклоне в Тихом океане 15 ноября 2013 г., восстановленные по данным спутникового микроволнового радиометра AMSR2: *а* — с использованием нового алгоритма; *б* — оперативный продукт по скорости ветра JAXA

Разработка новых схем ассимиляции данных спутниковых микроволновых измерений при моделировании эволюции полярных циклонов

В рамках исследований, направленных на усовершенствование методов совместного использования спутниковых данных и методов численного моделирования, решалась задача прогнозирования таких опасных погодных явлений, как полярные циклоны. Для моделирования была использована Advanced Research WRF модель WRF-ARW, базирующаяся на негидростатических уравнениях для сжимаемой жидкости. На основе анализа исходных данных, которыми являлись данные обработки спутниковых наблюдений было выявлено две области Баренцева моря, где в холодное время года в период 2009–2011 г. наблюдалось максимальное количество полярных циклонов. Оцененные по данным AMSR-E параметры были не только использованы в качестве начальных полей при гидродинамическом моделировании полярных циклонов, но и ассимилированы с использованием новой 4D-var схемы ассимиляции, что позволило улучшить качество прогноза эволюции полей геофизических параметров. Анализ результатов численных экспериментов показал, что при ассимиляции данных спутникового зондирования гидродинамическая мезомасштабная модель WRF хорошо воспроизводит атмосферные процессы в этих областях и позволяет изучать процессы, происходящие в арктической атмосфере (рис. 2) [42].

Мульти поляризационные PCA измерения

Современные спутниковые радиолокационные (РЛ) системы являются радиолокаторами с синтезированной апертурой (PCA), работающими на ко- (BB и ГГ) и кросс поляризациях (ВГ), например, RADARSAT-2 (Канадское космическое агентство), TerraSAR-X (Германское космическое агентство), Sentinel-1 (Европейское космическое агентство), PALSAR-2 (Японское космическое агентство). Наличие ко- и/или кросс поляризационных каналов измерений открывает новые возможности для исследования морской поверхности и поверхностных проявлений океанических процессов.

Основная идея нового подхода анализа ко поляризационных РСА измерений сформулирована в работе [7]. Удельная эффективная площадь радиолокационного рассеяния (УЭПР) на ГГ и ВВ поляризациях представляются в виде суммы поляризованного рассеяния, связанного с традиционным двух масштабным Брэгговским рассеянием, и неполяризованными отражениями от обрушений волн. Существенный вклад неполяризованного рассеяния в УЭПР поверхности океана была подтверждена в ряде натурных экспериментов. Как предложено в работе [8], РСА изображения на ВВ и ГГ поляризациях могут быть преобразованы в два новых изображения, несущих информацию о коротких (Брэгговских) ветровых волнах (поляризационная разность), и обрушениях волн, формирующих неполяризованную составляющую РЛ рассеяния. Поскольку Брэгговские волны (их длина порядка нескольких см) обладают малым масштабом релаксации (порядка 10 м), то поляризационная разность должна описывать изменчивость приводного ветра и наличие сликов. Второе, неполяризованное, изображение формируется обрушениями волн, которые чувствительны к градиентам поверхностных течений. Таким образом, предложенный подход позволяет разложить исходные ВВ и ГГ РСА изображения на два новых, которые несут информацию о разных физических процессах на морской поверхности. Этот подход позволяет существенно повысить информационные возможности РСА измерений для исследования океанской среды. Пример анализа ВВ и ГГ РСА изображений с применением нового подхода показан на рис. 3.

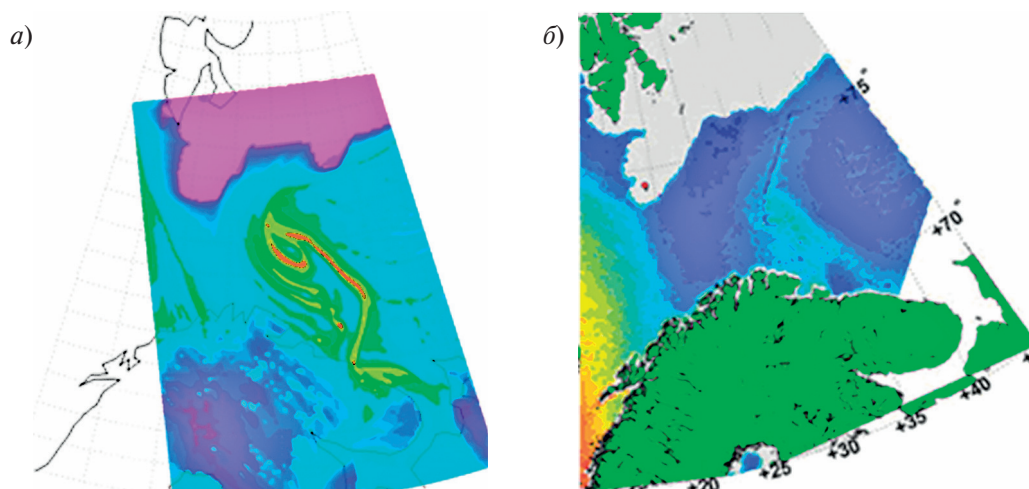


Рис. 2. Поля влагозапаса атмосферы в полярном циклоне в Баренцевом море 8 января 2009 г.:
 а — 24-часовой численный прогноз; б — восстановленное по данным спутникового микроволнового радиометра AMSR2

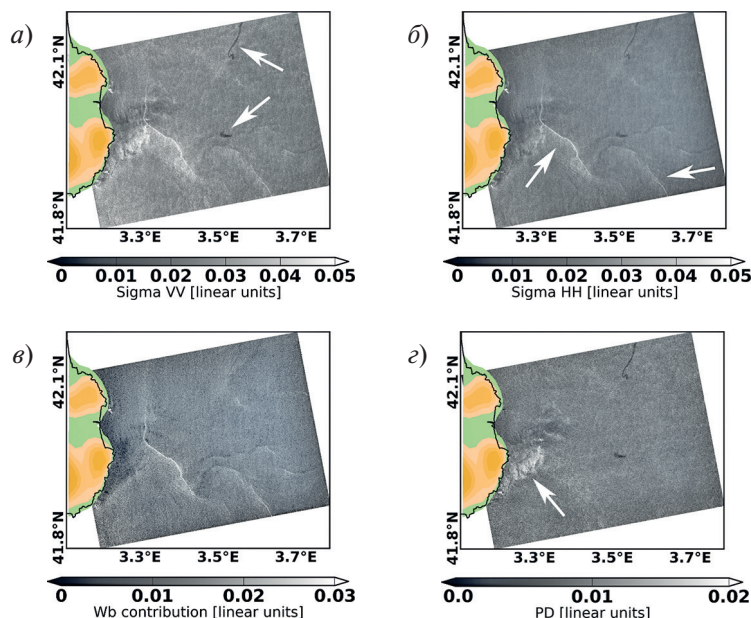


Рис. 3. RADARSAT-2 PCA изображение прибрежной зоны в Средиземном море, 17:40 UTC 18 Декабря 2010:

a — PCA на ВВ-поляризации; *б* — PCA на ГГ-поляризации;

в — вклад неполяризованного рассеяния; *г* — поляризационная разность.

Стрелками показаны проявления:

a — поверхностных сликов; *б* — поверхностного течения; *г* — особенностей изменчивости ветрового поля

Влияние ТПО на восстановление скорости ветра по данным спутниковых скаттерометров

Спутниковые скаттерометры являются основным инструментом исследования полей скорости ветра из космоса. Метод восстановления скорости ветра основан на зависимости РЛ рассеяния от интенсивности шероховатости морской поверхности, которая, в свою очередь, зависит от ветровых напряжений. В высоких широтах (где температура океана близка к нулю) температура поверхности океана (ТПО) может влиять на уровень спектра шероховатости за счет влияния на плотность воды и воздуха, а также вязкость воды. Эти эффекты не были ранее включены в стандартные алгоритмы восстановления ветра по скаттерометрическим измерениям (алгоритмы типа CMOD). В работе [4] предложено обобщение стандартных алгоритмов за счет использования физической модели спектра волн, учитывающей влияния ТПО на короткие волны, в модели радиолокационного рассеяния в применении к анализу данных измерений скаттерометров QuikScat Ku-band и ASCAT C-band. Показано, что учет эффекта ТПО на обратное рассеяние, позволяет объяснить наблюдаемое расхождение между восстановленным ветром и данными измерений, которое достигает 0,5 м/с. Введение ТПО коррекции в стандартные алгоритмы позволяет улучшить точность измерения скорости ветра спутниковыми скаттерометрами в высоких широтах.

Восстановление характеристик ледяного покрова по данным спутниковых скаттерометров

Активные микроволновые измерения являются одним из наиболее эффективных инструментов исследования ледяного покрова в Арктике в условиях почти постоянного присутствия облачности и дефицита освещенности. Помимо своего прямого назначения (измерения скорости ветра), спутниковая скаттерометрия позволяет также определять границы и структуру ледового покрова. В работе [41] предложен метод идентификации ледяного покрова по данным спутникового скаттерометра ASCAT, установленного на спутниках серии MetOP. Метод основан на различии особенностей рассеяния радиоволн на морской поверхности и поверхности, покрытой льдом. Эти различия включают:

- азимутальную зависимость рассеяния (поверхность льда азимутально изотропна)
- зависимость рассеяния от угла падения (для ледового покрова эта зависимость более слабая, чем над водной поверхностью);
- изменчивость рассеяния на повторяющихся витках спутниковых измерений (в отличие от морской поверхности, рассеяние на поверхности льда не изменяется при повторяющихся измерениях).

В результате предложен новый эффективный метод идентификации границ ледового покрова по данным спутниковых скаттерометрических измерений. Показано, что контрасты УЭПР ледового покрова в Арктике обладают значительной пространственной изменчивостью, ассоциируемой с пространственными изменениями структуры ледового покрова, уровнем торосистости и наличием полыней. Поле контрастов УЭПР, иллюстрирующее неоднородность ледяного покрова, полученное в результате суточного цикла измерений представлено на рис. 4. Применение предложенного метода позволяет также исследовать пространственно-временную эволюцию ледового покрова, и оценивать его скорость дрейфа и деформацию.

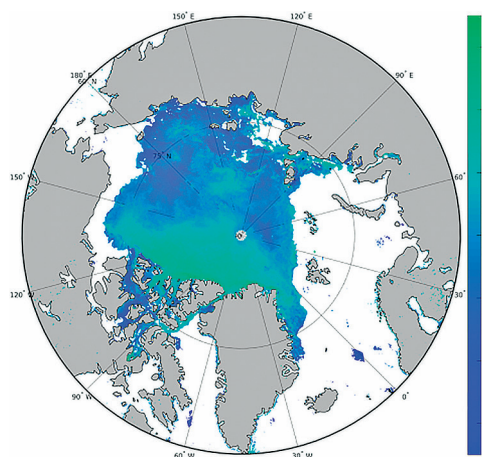


Рис. 4. Нормированное поле УЭПР ледяного покрова в Арктике по данным спутникового скаттерометра ASCAT за 15 ноября 2013 г. Изменения УЭПР связано со структурой ледового покрова, уровнем торосистости и наличием полыней. Белый цвет показывает области поверхности океана, свободные ото льда

Моделирование влияния волн и течений на Допплеровский сдвиг частоты РСА сигнала

РСА сигнал содержит информацию как об интенсивности шероховатости морской поверхности, рассеивающей радиоволны, так и скорости ее движения (через Доплеровский сдвиг частоты сигнала). Доплеровский сдвиг содержит информацию не только о скорости поверхностного течения, но в большей степени зависит от орбитальных скоростей длинных (энергонесущих) поверхностных волн, которые несут на себе и модулируют короткие волны (шероховатость), рассеивающие радиоволны. В работе [2] предложена модель, описывающая влияние ветровых волн и их обрушений на сдвиг Доплера частоты при различных условиях РСА наблюдений (азимут, угол падения, поляризация, длина радиоволны). Модель учитывает влияние различных механизмов рассеяния (резонансное Брэгговское, зеркальные отражения, отражения от гребней обрушающихся волн) на доплеровскую частоту. Модель тестирована на данных измерений УЭПР и доплеровской частоты РСА Envisat ASAR и продемонстрировала свою адекватность. Модель использовалась для анализа полей доплеровских сдвигов и УЭПР у побережья Бретани (Франция) в Атлантическом океане, характеризуемом интенсивными приливными течениями. Показана существенная роль модуляции УЭПР на формирование поле Допплеровских течений. Модель может быть использована в качестве инструмента анализа спутниковых РСА измерений доплеровского сигнала, позволяя исключить влияние волн, и восстановить поля поверхностных течений, являющихся основным объектом исследования [2].

Взаимодействие океана и атмосферы

Исследования в области взаимодействия океана и атмосферы позволяют создать физический базис для развития новых методов обработки и анализа спутниковых измерений.

Спектры коротких ветровых волн и обрушения

В работе [9] предложена новая модель спектра коротких ветровых волн (в диапазоне длин волн от миллиметра до десятка метров). Модель спектра основана на решении уравнения баланса энергии волн, учитывающей притоки энергии ветра, диссипацию энергии за счет обрушений и вязкости, генерацию волн микро обрушениями (генерация паразитных капилляров) и обрушениями волн метрового диапазона. Модель тестирована на данных натурных измерений спектров волн оптической стереосистемой и измерениях обрушений волн (см. рис. 5).

Модель спектра волн включена в модель радиолокационного рассеяния, что позволило существенно улучшить качество анализа и интерпретации РСА измерений различных океанографических явлений. В частности, эта модель использована для анализа РСА наблюдений нефтяных и биологических сликов [26]. Установлено, что поверхностные пленки подавляют не только короткие волны, но и обрушения ветровых волн дециметрового — метрового диапазона. Этот факт открывает новые возможности идентификации нефтяных загрязнений и их выделения на фоне биологических сликов и штилевых зон.

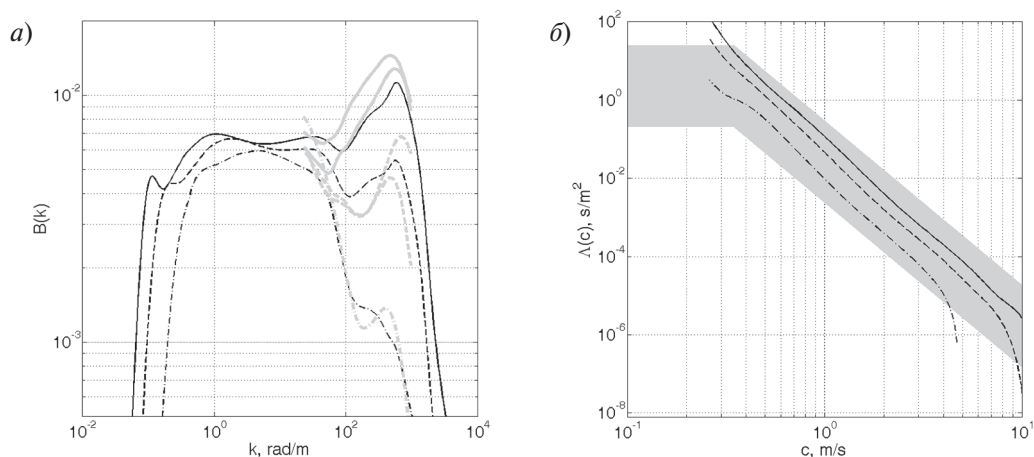


Рис. 5. *a* — спектры насыщения ветровых волн; темные сплошные линии — модельные расчеты при скорости ветра 5 м/с (штрих-пунктир), 10 м/с (штрих), и 15 м/с (сплошная); серые линии — измерения при скорости ветра 4,6 м/с (штрих-пунктир), 10,3 м/с и 10,2 м/с (штрих), и при 14,4 м/с и 15,9 м/с (сплошная); *б* — длина гребней обрушающихся волн как функция скорости их движения при скорости ветра 5 м/с (штрих-пунктир, 10 м/с (штрих) и 15 м/с (сплошная). Заштрихованная область — измерения

Потоки тепла и импульса и их связь с ветровыми волнами

Волны генерируются ветром и тем самым осуществляют сопротивление морской поверхности воздушному потоку. Сопротивление осуществляется также за счет отрывов воздушного потока от гребней обрушающихся волн. Описание сопротивления морской поверхности, а так же тепло- и влагообмена на поверхности является одной из основных задач взаимодействия океана и атмосферы. В работе [13] предложена модель атмосферного пограничного слоя взаимосвязанного с ветровыми волнами. Модель дает взаимосогласованное описание характеристик турбулентного потока и параметров ветрового волнения, включающих обрушения волн.

Параметризация процессов обмена на поверхности при сильных ветрах для усвоения в численных моделях

Одной из целей модели являлось построение физически обоснованных параметризаций процессов обмена теплом и импульсом на морской поверхности для последующего использования в численных моделях эволюции и прогноза тропических и полярных циклонов. Пример усвоения новой параметризации в моделях эволюции тропических циклонов приведен в работе [23], где показано, что более точное описание взаимодействия ветра и волн при сильных ветрах и его влияния на потоки тепла и импульса приводит к значительному улучшению качества численного моделирования динамики ураганов.

Приложение к оценке ветроэнергетического потенциала акваторий.

Основными достоинствами РСА являются высокое пространственное разрешение (порядка 10 м) и возможность измерения ветра в непосредственной близости к береговой черте, что позволяет проанализировать особенности пространственной структуры ветровых полей в прибрежных зонах. Особенности поля ветра связаны с эффектами

затенения и разгона ветрового потока при смене подстилающей поверхности с суши на воду. При установке ветрогенераторов в прибрежных областях необходимо учитывать эти эффекты. В лаборатории проведено исследование особенностей поля ветра и даны оценки ветроэнергетического потенциала в прибрежной зоне (в приложении к Финскому заливу) на основе данных спутниковых измерений РСА [32]. Дана оценка ветроэнергетического потенциала Финского залива и его сезонная изменчивость, а также дана оценка числа ветро энергетических установок, замещающих «типичные» электрогенерирующие станции [23].

Применение спутниковых данных для исследования геофизических явлений

Исследования ураганов

Несмотря на обширную сеть измерений с буйев и специально организованных самолетных измерений скорости ветра в тропических циклонах, поля ветра можно получить только с использованием данных спутниковых измерений. Для пассивных микроволновых измерений отделение ветрового сигнала от дождевого представляет собой большую проблему. В рамках проекта был предложен оригинальный метод восстановления скорости ветра в ураганах, основанный на разделении вкладов в излучение дождя и системы океан–атмосфера без дождя, основанный на анализе полей радиояркостных температур над районами интенсивных осадков в ураганах [20].

Разработанный метод позволяет восстанавливать поля ветра в ураганах по данным радиометра AMSR2. Рис. 6 демонстрирует пример применения разработанного метода для восстановления поля скорости приводного ветра в 3-х тропических циклонах в Атлантическом океане.

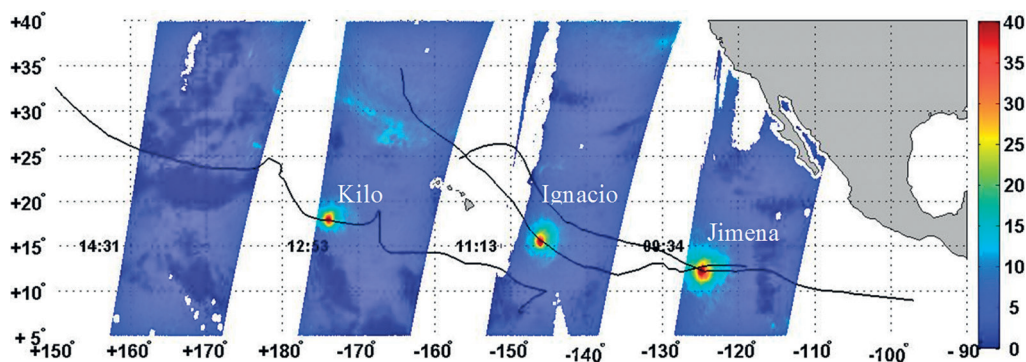


Рис. 6. Поля скорости приводного ветра, восстановленные по данным спутникового микроволнового радиометра AMSR2, для системы из трех циклонов в Тихом океане 29 августа 2015 г. Белые области замаскированы с использованием метода идентификации радиочастотных помех

Измерения спутниковых микроволновых радиометров могут быть использованы для оценки температуры и солености океана и изучения пространственно-временной изменчивости следов ураганов [3]. За счет ураганной скорости ветра, развиваемой в

тропических циклонах, двигаясь над океаном, они оставляют за собой след, температура поверхности океана в котором на несколько градусов ниже, чем в не затронутых циклоном областях. Падение температуры происходит за счет вовлечения более холодных вод в верхний перемешанный слой океана вследствие эрозии термоклина, вызванной активным турбулентным и волновым перемешиванием под воздействием ураганных ветров. Подобные аномалии температуры поверхности океана смещены вправо от траектории циклона относительно направления его движения (в Северном полушарии). Традиционно, это объясняется тем, что в правом секторе циклона скорость ветра выше за счет добавления скорости передвижения самого циклона. Однако существует и другое объяснение, основанное на наблюдаемом значительном усилении волн в правом секторе урагана. Это явление было исследовано в проекте экспериментально и теоретически.

Волны в ураганах

Данные измерений волн спутниковыми альтиметрами Jason-1, Jason-2, CryoSat-2 и SARAL/AltiKa были использованы для исследования особенностей генерации волн ураганами/тайфунами. Для этого была создана база измерений высот волн альтиметрами, пересекающих тайфун через область максимального ветра (глаз циклона) в направлении с переднего-правого сектора в левый-задний сектор, где ожидается наибольшее и наименьшая высоты волн соответственно. Пример подобного измерения представлен на рис. 7. Во всех случаях измерений отмечалась значительная асимметрия высот волн между левым и правым секторами тропического циклона. Показано, что в большинстве случаев эта асимметрия не может быть объяснена асимметрией поля скорости ветра в циклоне. Это означает, что необходимо учитывать иной механизм генерации, объясняющий аномальную генерацию волн в правом относительно направления движения циклона секторе, где направление ветра совпадает с направлением движения циклона. Для объяснения наблюдаемого феномена предложена аналитическая модель генерации волн движущимся ураганом, основанная на обобщении теории подобия для ветровых волн. Показано, что усиление волн в правом секторе ураганов/тайфунов объясняется эффектами захвата ветровых волн. Сопоставлены результаты модели и альтиметрических измерений, сделан вывод об адекватности модели и ее способности воспроизводить наблюдаемую асимметрию высот волн в левом и правом секторах циклона за счет учета эффекта «захвата волн». Результат исследования представлены в работе [25]).

Полярные циклоны

Полярные циклоны (ПЦ) представляют собой кратковременные, но очень интенсивные атмосферные вихревые образования, которые развиваются над морской поверхностью, имеют характерный масштаб до 1000 км и характеризуются штормовыми скоростями ветра. Время жизни таких мезоциклонов не превышает, как правило, 1–2 дней, что, совместно со сравнительно небольшими размерами, затрудняет их обнаружение и изучение. Поля интегральной влажности атмосферы, восстановленные по данным спутниковых микроволновых радиометров, могут быть успешно использованы для детектирования полярных циклонов. С использованием этих полей за период 1995–2009 гг. построена новая климатология ПЦ над морями Северо-Европейского

бассейна [19]. За этот период обнаружено 637 ПЦ, рис. 8а. Распределение наблюдаемых ПЦ по месяцам показано на рис. 8б.

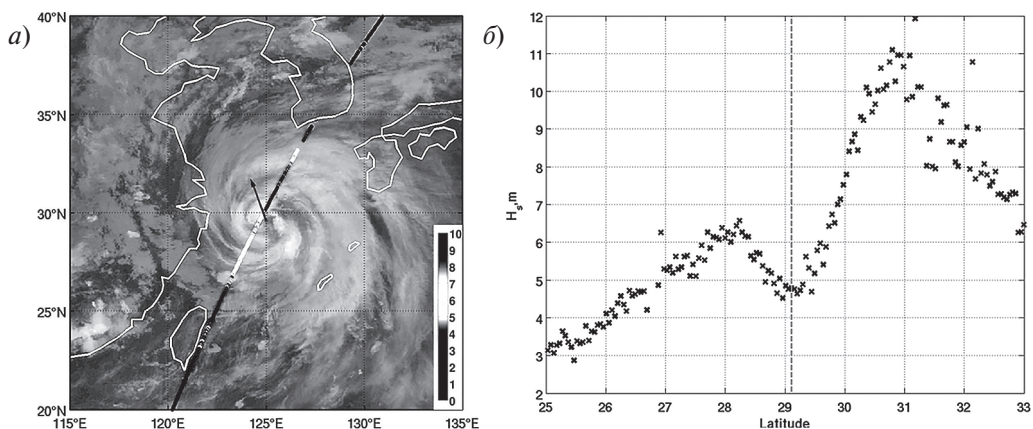


Рис. 7. *а* — инфракрасное изображение тайфуна Muifa с геостационарного спутника MTSAT-2 за 6 августа 2011 г. 12:30 UTC, стрелка в центре циклона указывает направление его движения; показан трек альтиметра, проходящий через тропический циклон в 12:19 UTC, цвет соответствует значениям высоты значимых волн по шкале, показанной в нижнем правом углу (значения в метрах);
б — значения высоты значимых волн вдоль трека альтиметра

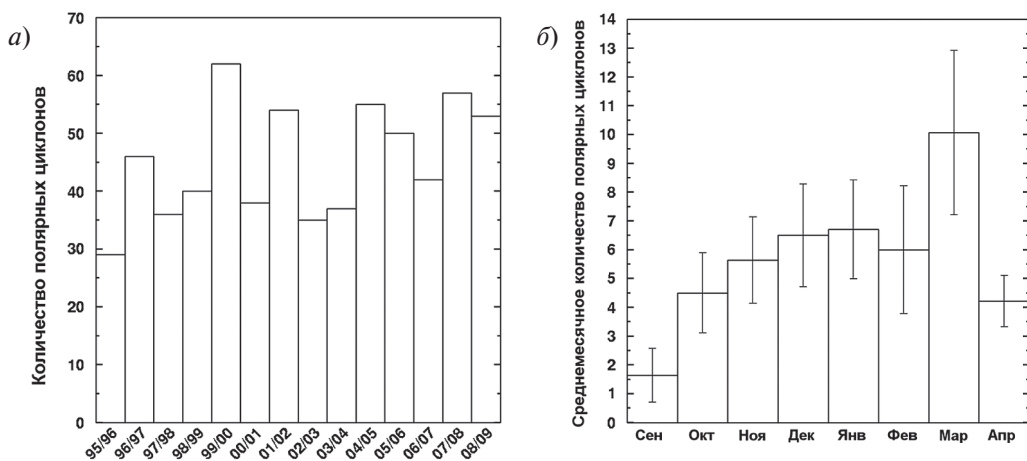


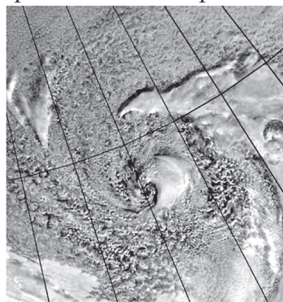
Рис. 8. Сезонное (*а*) и среднеемесячное (*б*) количество обнаруженных полярных циклонов за период с 1995 по 2009 г. над морями Северо-Европейского бассейна

Анализ новых статистических данных позволил сделать вывод о существовании небольшой тенденции (2,6 %) к увеличению количества ПЦ над морями Северо-Европейского бассейна. В отличие от других работ, в которых максимальное количество

ПЦ наблюдалось в январе, наши исследования показали, что максимальное количество ПЦ генерируется в марте.

Анализ спутниковых изображений облачности и восстановленных полей параметров океана и атмосферы позволил сделать вывод о возникновении новых районов распространения мезомасштабных циклонов в российских морях Арктики связи с потеплением климата и уменьшением площади ледяного покрова. Детальное рассмотрение нескольких случаев мезоциклонов позволило определить типичные условия их формирования и выявить общие закономерности развития. Восточноарктические мезоциклоны в основном образуются вблизи кромки льда или в центральной части старых окклюдированных циклонов. При благоприятных синоптических ситуациях и под влиянием орографии МЦ возникают вблизи островов и побережья материка [38]. В восточной Арктике преобладают мезоциклоны со спиральной формой облачной системы (рис. 9).

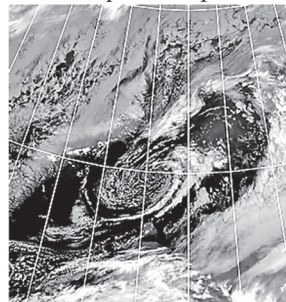
Север Восточно-Сибирского моря



Aqua MODIS

05.09.2007 00:05 UTC

Карское море



Terra MODIS

29.09.2012 08:00 UTC

Рис. 9. Примеры облачных систем мезомасштабных циклонов над восточной Арктикой

Волны в Арктике

Данные спутниковых альтиметров Envisat RA-2 и SARAL/AltiKa были применены для исследования ветрового волнения в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях за период 2002–2013 гг. Для анализа были отобраны полностью изолированные свободные ото льда области. Поиск подобных областей осуществлялся с использованием данных о концентрации льда, полученных спутниковыми микроволновыми радиометрами. Проведение анализа в изолированных свободных ото льда областях позволило рассматривать ветровое волнение без присутствия зыби. Анализ проводился в рамках теории подобия развития ветрового волнения. Высота значимых волн и площадь свободной ото льда области были масштабированы с использованием скорости ветра и ускорения свободного падения для получения безразмерных переменных. Получены зависимости безразмерных высоты значимых волн и длины волны от безразмерной площади свободной ото льда области. Проведено сопоставление полученных зависимостей с известными эмпирическими законами развития ветрового волнения при ограниченных разгонах [11].

Применение РСА для исследования суб- и мезо масштабных явлений

Уникальная возможность спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) наблюдать морскую поверхность с высоким пространственным разрешением вне зависимости от погодных условий определила их высокую эффективность при исследовании внутренних волн, течений, фронтальных разделов и поверхностных загрязнений.

Внутренние волны в Арктике

На основе анализа спутниковых РСА изображений исследованы характеристики поля нелинейных внутренних волн в арктических морях России. В результате анализа было проведено районирование короткопериодных внутренних волн в арктических морях [35], выделены основные районы их генерации и распространения (рис. 10), а также очаги наблюдения крупно масштабных внутренних волн [35, 40, 12]. Результаты анализа проиллюстрированы на рис. 10, где показано, что основные зоны наблюдения внутренних волн находятся над областями континентального склона Баренцева моря в районе арх. Шпицберген и арх. Земля Франца-Иосифа, прибрежной области вдоль Кольского п-ва, в проливах Горло Белого моря и Карские Ворота, а также в глубоководных районах моря над желобом Св. Анны, Новоземельской впадиной и вблизи мыса Желания.

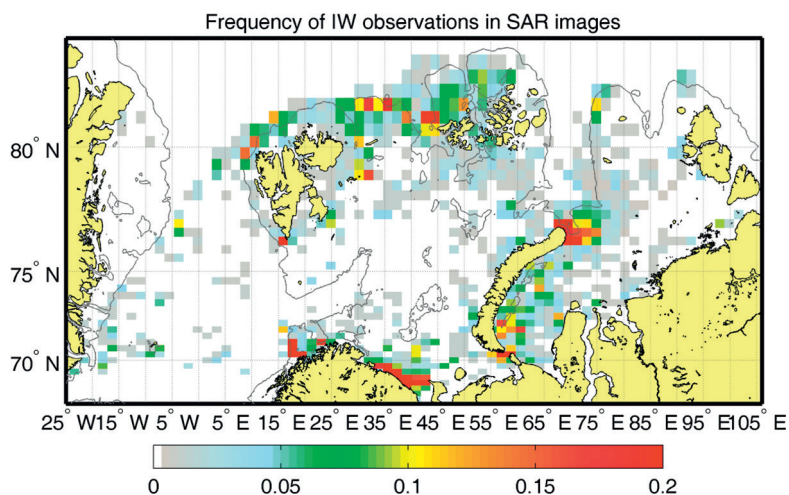


Рис. 10. Пространственное распределение частоты встречаемости пакетов внутренних волн для акватории морей Гренландского, Баренцева и Карского по данным спутниковых РСА измерений

На основе РСА наблюдений за кинематикой пакетов внутренних волн была проведена оценка «массосодержания» верхнего слоя Баренцева моря и его внутрисезонной изменчивости [35]. Сопоставление спутниковых наблюдений с результатами судовых измерений и численного моделирования выявило особенности вертикальной структуры наблюдаемых внутренних волн [34], механизмы их генерации и распространения [12, 39].

Мезомасштабные течения

Предложен новый метод анализа мульти поляризационных РСА изображений [8, 14, 25], который позволяет исследовать поле мезомасштабных течений в океане. В ходе анализа было установлено, что определяющим механизмом проявления течений в РСА изображениях является рассеяние радиоволн на обрушениях ветровых волн, которые сильно модулируются при взаимодействии ветровых волн и течений; роль Брэгговского рассеяния в формировании РЛ контрастов незначительна. Предложенный в этих работах метод декомпозиции 4-поляризационных РСА измерений показал возможность идентификации поверхностных течений, внутренних волн и фронтальных разделов на фоне пространственно-неоднородного поля ветра (рис. 11).

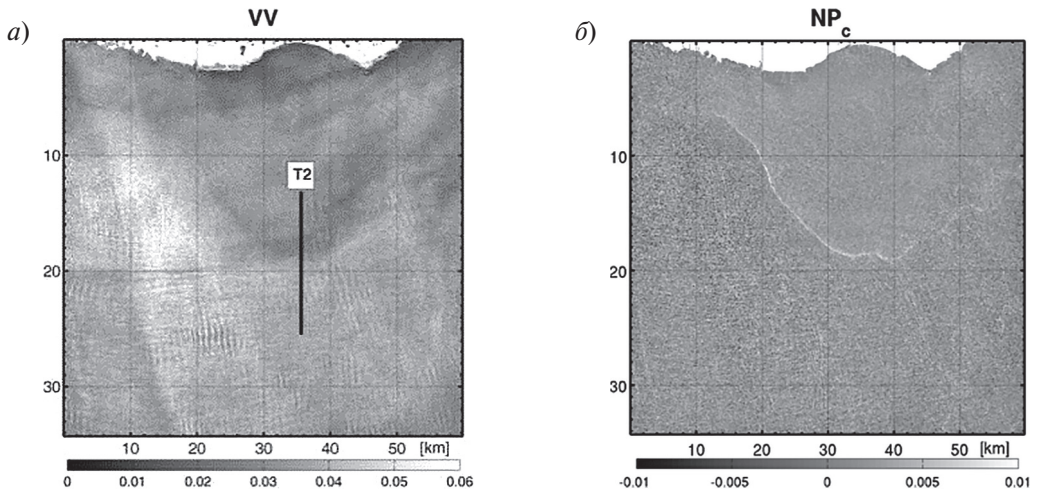


Рис. 11. РСА изображения RADARSAT-2 за 1 августа 2012 г.
с проявлением структурного фронта в юго-восточной части Горла Белого моря:
а — исходное изображение на ВВ-поляризации;

б — новая компонента поля обрушений волн, обусловленная взаимодействием волн и течений
и полученная в ходе применения метода декомпозиции РСА изображений [14]

Апвеллинг

РСА также является эффективным инструментом наблюдения прибрежных апвеллингов. Это продемонстрировано на примере совместного анализа спутниковых РСА и ИК изображений апвеллинга в Балтийском море [7]. Проявление прибрежного апвеллинга в спутниковых измерениях показано на рис. 12. Результаты анализа показали, что проявление фронта апвеллинга в РСА изображениях обусловлено изменением режима стратификации атмосферного погранслоя над фронтом и гашением ветровой ряби пленками поверхностно-активных веществ в зонах конвергенции поверхностных течений. Величина РЛ контрастов фронта является универсальной функцией безразмерного параметра стратификации, зависящего от перепада ТПМ через фронт и скорости ветра.

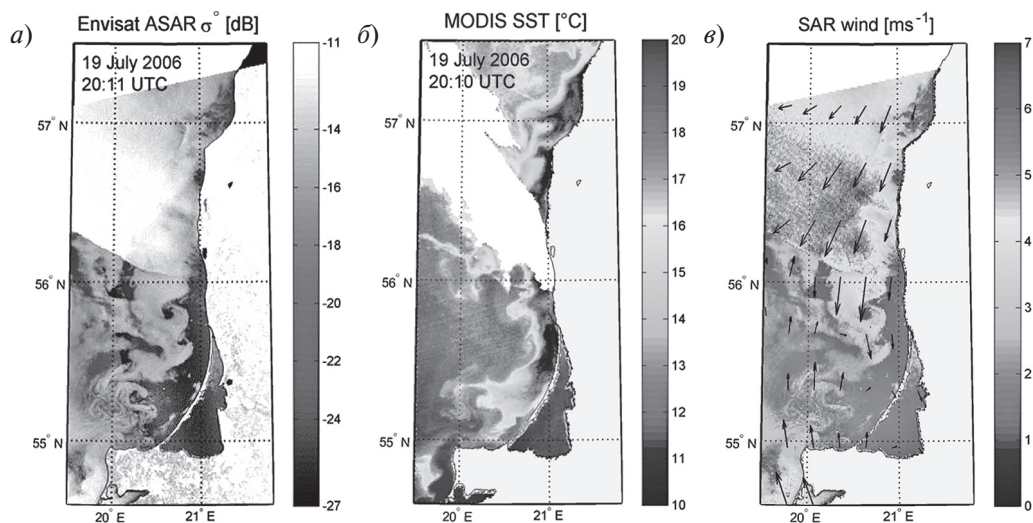


Рис. 12. Проявление прибрежного апвеллинга в спутниковых измерениях 19 июля 2006 г.:

а — PCA изображение Envisat ASAR (20:11 UTC); *б* — поле ТПМ MODIS Terra (20:10 UTC); *в* — поле скорости приводного ветра, восстановленное по PCA изображению (*а*).

Стрелками отмечено направление ветра по модели NCEP, © ESA © NASA

Синергетика PCA и оптических измерений для исследования мезомасштабной изменчивости и поверхностных загрязнений

Совместный анализ дистанционных измерений в различных спектральных диапазонах и с применением различных методов зондирования существенно расширяет информационные возможности спутниковых данных для исследования океана. В рамках проекта предложен новый подход исследования океана на основе использования оптических и радиолокационных данных. Комбинация именно этих данных обусловлено развитостью системы наблюдения Земли оптическими сканерами (например, сканеры MODIS на спутниках Terra и Aqua, радиометры AVHRR на серии спутников NOAA) и PCA системами, например, RADARSAT-2, Sentinel-1, PALSAR-2.

Основное применение оптических сканеров — изучение «цвета» океана (фитопланктона, взвеси, растворенного органического вещества) по данным измерений в видимом диапазоне и температуры поверхности океана (ТПО) по измерениям в ИК диапазоне. При этом солнечная радиация, отраженная от морской поверхности, является шумом. Однако в областях солнечного блика (составляющих около 30 % данных) отражённая радиация составляет значительную часть регистрируемого излучения, что исключает возможность применения алгоритмов восстановления «цвета» океана. В проекте разработан метод восстановления пространственных вариаций среднеквадратичного наклона (СКН) морской поверхности по солнечному блику, регистрируемому оптическими сканерами из космоса. Вариации СКН могут быть связаны с поверхностными проявлениями различных процессов, происходящих в верхнем слое океана, например, нефтяные и биологические slicks, внутренние волны, границы мезо масштабных течений и фронтальные

разделы [1, 5]. С этой точки зрения предложенный метод является дополнительным (наряду с РСА измерениями) источников измерений шероховатости поверхности.

Мезомасштабная изменчивость

Реализация подхода синергетического анализа данных, предложенного в работе [5], позволяет получить из оптических и РСА измерений следующий набор геофизических параметров:

- а) поле ТПО (по ИК измерениям);
- б) поля ветра и дрейфовых течений (по РСА);
- в) поле геострофических течений (по ТПО);
- г) поле вторичной агеострофической циркуляции, поля конвергенции и дивергенции течений (как результат взаимодействия геострофических и дрейфовых течений);
- д) поле аномалий поверхностной шероховатости (обрушения волн, СКН), трассирующее неоднородности течений (по РСА и солнечному блику);
- е) поля оптико-биологических параметров (по каналам видимого диапазона).

Результаты применения синергетического подхода на примере исследования течения мыса Игольного приведены на рис. 13, 14.

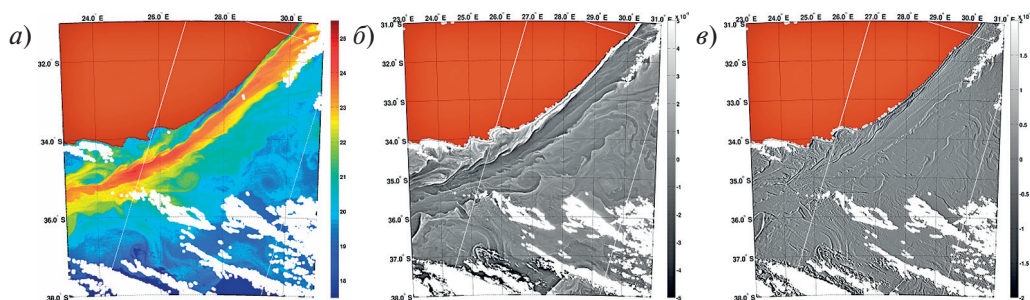


Рис. 13. Поле ТПО (а), поле завихренности геострофических течений (б), поле дивергенции течений (в).

Поле завихренности получено по полю ТПО с использованием уравнения сохранения планетарной завихренности. Дивергенция течений является результатов взаимодействия дрейфового течения с геострофическим

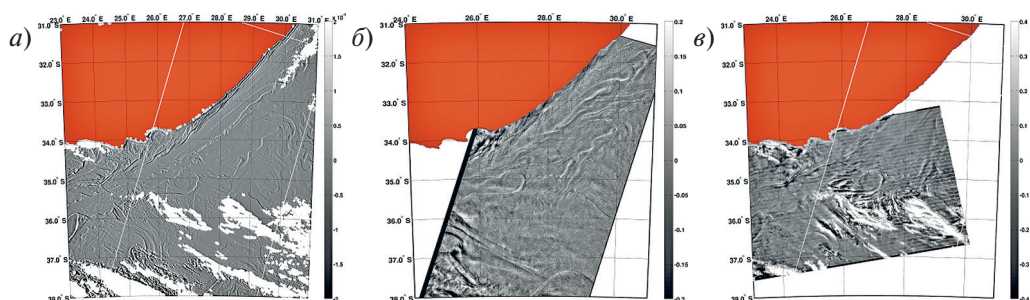


Рис. 14. Поле дивергенции (а) и поля аномалий ветрового волнения, трассирующие дивергенцию течений: обрушения волн по данным РСА (б) и СКН по данным оптического сканера (в).

Зоны конвергенции течений соответствуют ярким областям, а дивергенции — темным

В работе показано, что поля контрастов шероховатости морской поверхности (обрушений волн и СКН) совпадают в пространстве с зонами конвергенции течений, привязанных к фронтальным областям. Этот экспериментальный факт открывает новую возможность применения спутниковых измерений для идентификации зон конвергенции и дивергенции, являющихся зонами повышенной биологической продуктивности и зонами промысловых скоплений рыб.

Нефтяные загрязнения

Предложенный синергетический подход может быть также эффективно применен для мониторинга поверхностных загрязнений [1]. В качестве иллюстрации на рис. 15 приведен пример анализа поверхностных проявлений катастрофического нефтяного загрязнения в Мексиканском заливе. В результате анализа обработанных спутниковых изображений показано, что предложенный метод восстановления СКН дает возможность оценить пространственное распределение поверхностных загрязнений и контрасты СКН. Совместный анализ контрастов снимков в СКН и в параметрах РСА сигнала позволяет определить физико-химические свойства поверхностной пленки, сформировавшей сним, и определить, является этот сним природным или имеет антропогенное происхождение.

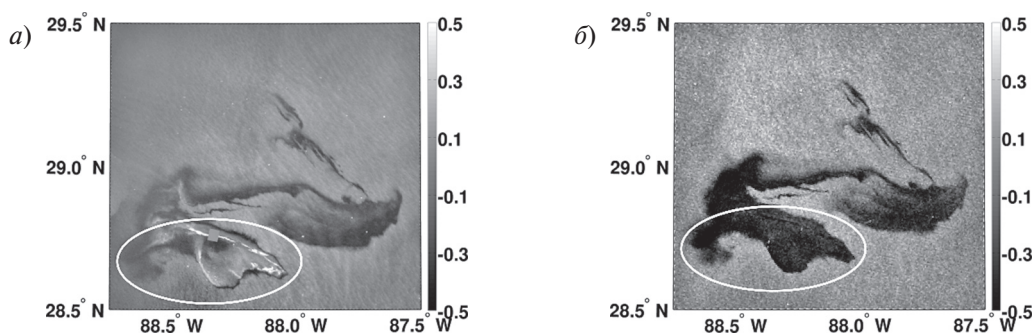


Рис. 15. Фрагмент изображений сканнера MERIS (15:56 GMT) (а) и ASAR (15:58 GMT) (б) в районе нефтяной платформы Мексиканского разлива Дипвотер Хорайзон (англ. Deepwater Horizon). Изображения содержат нефтяной разлив и представлены в терминах удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР) в линейных единицах и контрастов СКН

Системы распространения и анализа спутниковых данных

Работа со спутниковыми данными сопряжена с рядом проблем для пользователей, которые часто лишены возможности более широкого использования этих данных из-за больших объёмов, сложностей с доступом к данным, большого разнообразия форматов и типов данных. Создание информационной системы, обеспечивающей быстрый и удобный доступ к разнородным спутниковым продуктам, являлось одной из основных целей проекта Меггрант. Для этого в ЛСО разработан спутниковый информационный портал SATIN (<http://satin.rshu.ru>), обеспечивающий сбор, хранение и распространение данных, поступающих в online режиме из мировых центров данных,

и специализированный Арктический портал SIOWS («Storm – Ice – Oil – Watch – System», <http://arctic.solab.rshu.ru/>), являющийся инструментом мониторинга окружающей среды в Арктическом регионе на основе спутниковых данных. Ниже приводится описание этих информационных систем.

Инфраструктура

Инфраструктура системы распространения и анализа спутниковых данных состоит из следующих систем (рис. 16):

- система загрузки и хранения данных;
- система обработки данных (POSADA);
- система индексации и хранения метаданных, каталог данных (SATIN);
- API каталога;
- система мониторинга (ODYSSEY);
- арктический портал.

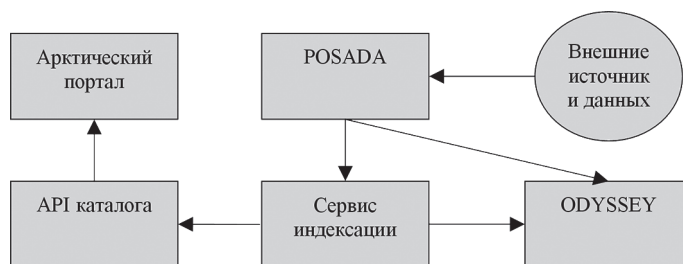


Рис. 16. Инфраструктура системы распространения и анализа спутниковых данных

Спутниковый информационный портал SATIN (<http://satin.rshu.ru>)

Для поиска, получения, отображения, распространения и хранения данных дистанционного зондирования на базе программно-математического комплекса NAIAD, разработанного в центре CERSAT/IFREMER, в ЛСО РГГМУ реализован спутниковый информационный портал SATIN (от англ. SATellite Data Search and Manage INformation Portal). Главная цель спутникового информационного портала SATIN — решить основные проблемы, возникающие при работе со спутниковыми данными, и предоставить пользователям быстрый и гибкий инструмент для поиска и извлечения готовых продуктов из большого числа архивов спутниковых данных, которые точно соответствуют его потребностям и интересам.

Возможности SATIN:

1. Каталог с предварительными изображениями: пользователь должен иметь возможность просматривать данные без их предварительной загрузки и обработки. Данные должны аннотироваться сопутствующей мета-информацией (номер орбиты, дата измерений и т.д.), а также ссылками на описание продукт.
2. Гибкий и интуитивный семантический поиск.
3. Загрузка отфильтрованной выборки или отдельного файла спутниковых данных через ряд различных протоколов доступа к данным: OPeNDAP, FTP, HTTP.

4. Персонализация, включая создание наборов фильтров, ведения истории поиска.
5. Помимо всего, будет присутствовать социальная составляющая: комментарии пользователей, тэги, избранные и популярные спутниковые снимки.
6. Предъявляются требования к мультиязычности: поддержка русского и английского языков с возможностью добавления новых локализаций.

Арктический портал

Арктический портал SIOWS («Storm – Ice – Oil – Watch – System», <http://arctic.solab.rshu.ru/>) — проект, нацеленный на удобное представление и агрегацию различных спутниковых данных (а также данных *in situ* и моделей) об Арктическом регионе (рис. 17). Ключевой особенностью данного проекта является возможность синергетического анализа на основе продуктов, представленных на портале.

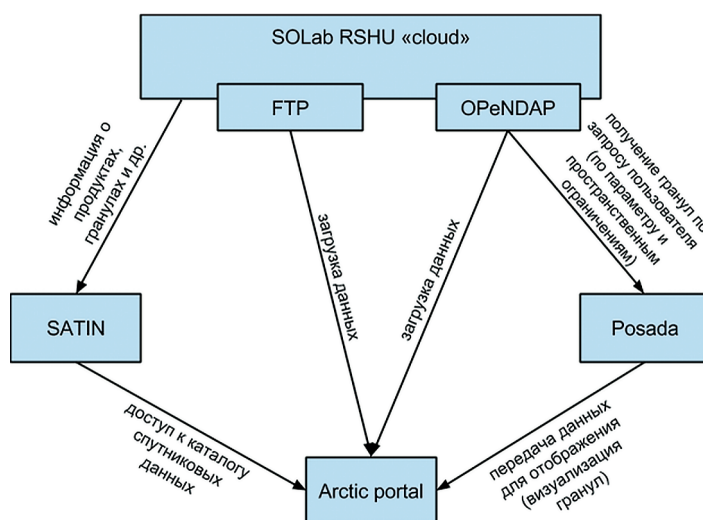


Рис. 17. Взаимодействие Арктического портала с основными модулями системы распространения и анализа спутниковых данных

Основные функции Арктического портала:

- выбор слоёв с регулируемой прозрачностью и доступностью в зависимости от уровня масштабирования. Слоями могут быть: навигационные карты, морские радары, карты нефтеразливов и льда, местоположения судов по данным радаров с синтезированной апертурой (PCA), таких как RS2 и Cosmo SkyMed и Автоматической идентификационной системы, а также огромное количество другой вспомогательной спутниковой и метеорологической информации (температура поверхности океана, облачность и др.);
- интерактивные элементы для доступа к детализированной информации (покрытие спутниковыми данными, карты судов, нефтяных разливов, льда, *in situ* измерений и др.);

— возможность доступа к архивным данным, для визуализации прошлых ситуаций. Арктический портал располагается по адресу <http://arctic.solab.rshu.ru/>. Некоторые из представленных на портале данных являются продуктами работы алгоритмов, разработанных в ЛСО, а именно: восстановленные по данным оптических сканеров MODIS и MERIS контрасты среднеквадратичного наклона (на англ. MSS).

Основные публикации ЛСО по проекту:

Статьи, входящие в базу данных Web of Science и SCOPUS

1. Kudryavtsev V., Myasoedov A., Chapron B., Johannessen J., Collard F. Joint sun-glitter and radar imagery of surface slicks. // *Remote Sensing of Environment*, 2012, vol. 120, pp. 123–132.
2. Hansen M.W., Kudryavtsev V., Chapron B., Johannessen J., Collard F., Dagestad K.-F., Mouche A. Simulation of radar backscatter and Doppler shifts of wave-current interaction in the presence of strong tidal current. // *Remote Sensing of Environment*, 2012, vol. 120, pp. 113–122.
3. Grodsky S.A., Reul N., Reverdin G., Carton J.A., Chapron B., Quilfen Y., Kudryavtsev V. N., Lagerloef G. Haline hurricane wake in the Amazon/Orinoco plume: AQUARIUS/SACD and SMOS observations. // *Geophysical Research Letters*, 2012, vol. 39, L20603. — DOI:10.1029/2012GL053335.
4. Grodsky S., Kudryavtsev V., Bentamy A., Carton J., Chapron B. Does direct impact of SST on short wind waves matter for scatterometry? // *Geophysical Research Letters*, 2012, vol. 39, L12602. — DOI:10.1029/2012GL052091.
5. Kudryavtsev V., Myasoedov A., Chapron B., Johannessen J., Collard F. Imaging meso-scale upper ocean dynamics using SAR and optical data. // *Journal of Geophysical Research*, 2012, vol. 117, C04029. — DOI:10.1029/2011JC007492.
6. Kozlov I., Dailidienė I., Korosov A., Klemas V., Mingélaite T. MODIS-based sea surface temperature of the Baltic Sea Curonian Lagoon. // *Journal of Marine Systems*, 2012, vol. 129, pp. 157–165.
7. Kozlov I., V. Kudryavtsev, Johannessen J., Chapron B., Dailidienė I., Myasoedov A. ASAR imaging for coastal upwelling in the Baltic Sea. // *J. Adv. Space Res.*, 2012, vol. 50, iss. 8, pp. 1125–1137.
8. Kudryavtsev V., Chapron B., Myasoedov A., Collard F., Johannessen J. On dual co-polarized SAR measurements of the Ocean surface. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2013, vol. 10, iss. 4, pp. 761–765.
9. Yurovskaya M. Yu., Dulov V.A., Chapron B., Kudryavtsev V.N. Directional Short Wind Wave Spectra Derived from the Sea Surface Photography. // *Journal of Geophysical Research*, 2013, vol. 118, p. 1–15.
10. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing. // *Geophysical Research Letters*, 2013, vol. 40, iss. 13, pp. 3347–3350.
11. Golubkin P.A., Chapron B., Kudryavtsev V. N. Wind waves in the Arctic seas: Envisat and AltiKa data analysis. // *Marine Geodesy*, 2014. — DOI:10.1080/01490419.2014.990592.
12. Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B. SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea. // *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 147, pp. 99–107.
13. Kudryavtsev V., Chapron B., Makin V. Impact of wind waves on the air-sea fluxes: A coupled model. // *Journal of Geophysical Research*, 2014, vol. 119, pp. 1217–1236.
14. Kudryavtsev V., Kozlov I., Chapron B., Johannessen J.A. Quad-polarization SAR features of ocean currents. // *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2014, vol. 119, iss. 9, pp. 6046–6065.
15. Reul N., Quilfen Y., Chapron B., Fournier S., Kudryavtsev V., Sabia R. Multi-Sensor Observations of the Amazon-Orinoco River Plume Interactions with Hurricanes. // *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2014, vol. 119, iss. 12, pp. 8271–8295.
16. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. An updated geophysical model for AMSR-E and SSMIS brightness temperature simulations over oceans. // *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 147, pp. 2317–2342.
17. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic. // *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 147, pp. 89–98.
18. Skrunes S., Brekke C., Eltoft T., Kudryavtsev V. Comparing Near Coincident C- and X-band SAR Acquisitions of Marine Oil Spills. // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, vol. 53, iss. 4, pp. 1958–1975.
19. Smirnova J.E., Golubkin P.A., Bobylev L.P., Zabolotskikh E.V., Chapron B. Polar low climatology over the Nordic and Barents seas based on satellite passive microwave data. // *Geophysical Research Letters*, 2015, vol. 42, iss. 13, pp. 5603–5609.

20. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Reul N., Chapron B. New possibilities for geophysical parameter retrievals opened by GCOM-W1 AMSR2. // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS), 2015, iss. 99, pp. 1–14.
21. Zabolotskikh E.V., Mitnik L.M., Chapron B. Radio frequency interference identification over oceans for C and X band AMSR2 channels. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (GRSL), 2015, vol. 12, iss. 8, pp. 1705–1709.
22. Zabolotskikh E.V., Chapron B. Validation of the new algorithm for rain rate retrieval from AMSR2 data using TMI rain rate product. // Advances in Meteorology, 2015, vol. 2015, pp. 1–12.
23. Zweers N., Makin V., de Vries H., Kudryavtsev V. The Impact of Spray-Mediated Enhanced Enthalpy and Reduced Drag Coefficients in the Modelling of Tropical Cyclones. // Boundary-Layer Meteorology, 2015, vol. 155, iss. 3, pp. 501–514.
24. Чечин Д.Г., Заболотских Е.В., Репина И.А., Шапрон Б. Влияние бароклинности в атмосферном пограничном слое и экмановского трения на приземную скорость ветра во время холодных вторжений в Арктике. // Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 2015, т. 51, № 2, с. 146–157.
25. Kudryavtsev V., Golubkin P., Chapron B. A simplified wave enhancement criterion for moving extreme events. // Journal of Geophysical Research, 2015, vol. 120. — DOI:10.1002/2015JC011284.
26. Hansen M., Kudryavtsev V., Chapron B., Brekke C., Johannessen J. Wave breaking in slicks: impacts on C-band quad-polarized SAR measurements. // IEEE, Geoscience and Remote Sensing letters, 2015.
27. Монзикова А., Кудрявцев В., Мясоедов А., Шапрон Б., Зилитинкевич С. Об особенностях поля ветра над морской поверхностью в прибрежной зоне. // Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 2015.

Статьи, опубликованные в журналах из списка ВАК:

28. Зимин А.В., Родионов А.А., Шапрон Б., Романенков Д.А., Здоровеннов Р.Э., Козлов И.Е., Мясоедов А.Г., Шевчук О.И. Работы с научно-исследовательского судна «Эколог» по проекту «МЕГАГРАНТ» в Белом море, выполненные в июле-августе 2012 г. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 281–285.
29. Голубкин П.А., Заболотских Е.В., Шапрон Б., Кудрявцев В.Н. О следах тропических циклонов в полях температуры поверхности океана по спутниковым данным. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 32, с. 107–113.
30. Заболотских Е.В., Митник Л.М., Шапрон Б., Анискина О.Г., Дикинис А.В., Смирнова Ю.Е. Валидация модели переноса излучения на частотах микроволновых радиометров SSMIS и AMSR-E и её применение при анализе морских погодных систем с использованием усовершенствованных алгоритмов. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 146–160.
31. Заболотских Е.В., Митник Л.М., Шапрон Б., Анискина О.Г., Смирнова Ю.Е., Дикинис А.В. Улучшенные модели поглощения атмосферы и излучения океана в диапазоне 5–100 ГГц для расчёта яркостных температур системы океан-атмосфера. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 169–182.
32. Монзикова А.К., Кудрявцев В.Н., Ларсен Сорен Е., Шапрон Б. Оценка ветроэнергетического потенциала Финского залива. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 30, с. 116–133.
33. Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В. Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013, т. 10, № 3, с. 135–141.
34. Зимин А.В., Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Мясоедов А.Г., Коллар Ф. Короткопериодные внутренние волны в Белом море: Оперативный подспутниковый эксперимент летом 2012 г. // Исследование Земли из космоса, 2014, № 3, с. 41–55.
35. Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Зубкова Е.В., Атаджанова О.А., Зимин А.В., Романенков Д.А., Шапрон Б., Мясоедов А.Г. Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, т. 11, № 4, с. 338–345.
36. Родионов А.А., Романенков Д.А., Зимин А.В., Козлов И.Е., Шапрон Б. Субмезомасштабные структуры вод Белого моря и их динамика. Состояние и направления исследований. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014, т. 7, № 3, с. 29–41.
37. Голубкин П.А., Кудрявцев В.Н., Шапрон Б. Поле ветрового волнения в Арктике по данным спутниковой альтиметрии. // Исследование Земли из космоса, 2015, № 4, с. 25–29.
38. Заболотских Е. В., Гурвич И.А., Шапрон Б. Новые районы распространения полярных циклонов в Арктике как результат сокращения площади ледяного покрова. // Исследование Земли из космоса, 2015, № 2, с. 64–77.

39. *Зимин А.В., Козлов И.Е., Атаджанова О.А., Шапрон Б.* Мониторинг короткопериодных внутренних волн в Белом море. // Исследование Земли из космоса, 2015 № 5, с. 51–61.
40. *Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Зубкова Е.В., Зимин А.В., Шапрон Б.* Характеристики поля короткопериодных внутренних волн в Карском море по данным спутниковых радиолокационных измерений. // Исследование Земли из космоса, 2015, № 4, с. 44–59.
41. *Муртазин А.Ф., Евграфова К.Г., Кудрявцев В.Н.* Применение данных скаттерометра ASCAT для исследования ледового покрова в Арктике. // Учёные записки РГГМУ, 2015, № 40, с. 160–173.
42. *Анискина О.Г., Заболотских Е.В., Шапрон Б.* Моделирование эволюции полярных циклонов с использованием данных спутниковой микроволновой радиометрии. // Исследование Земли из космоса, 2015, № 6.

Заключение

Проект финансировался Правительством РФ в рамках программы государственной поддержки научных исследований, проводимых в российских университетах под руководством приглашенных ученых мирового уровня. В результате реализации проекта Мегагрант в РГГМУ создана Лаборатория спутниковой океанографии, представляющей коллектив молодых ученых и программистов, работающих на высоком современном уровне. Успех деятельности Лаборатории подтвержден многочисленными публикациями в ведущих зарубежных и российских журналах, входящих в базу данных Web of Science, Scopus, РИНЦ, которые приведены в списке статей Лаборатории выше. Основная идея выделения Мегагрантов Правительством РФ состояла в том, что после окончания проекта созданная за счет Мегагранта Лаборатория должна осуществлять «самостоятельное» функционирование, привлекая необходимое финансирование за счет участия в различных научных и коммерческих проектах. На данный момент лаборатория спутниковой океанографии, участвуя в различных конкурсах (РФФИ, ФЦП МинОбрНауки, РНФ) и заключая хозяйственных договоров с другими организациями, обеспечила финансовую стабильность своего функционирования после окончания проекта (2015) на период до 2018 г., в полном соответствии с идеей и целью Правительства РФ о выделении мегагрантов учебным учреждениям.

В.Н. Малинин

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МИРОВОГО ОКЕАНА И КЛИМАТА

V.N. Malinin

GLOBAL SEA LEVEL AND CLIMATE VARIATION

Обсуждаются результаты выполненных в РГГМУ исследований по изучению уровня Мирового океана как индикатора изменений глобального климата. Рассматриваются закономерности межгодовой изменчивости уровня Мирового океана, даются оценки вкладов различных факторов в колебания уровня Мирового океана, приводятся методы его сверхдолгосрочного прогноза и предложена концепция формирования тренда глобальной температуры воздуха в современных изменениях климата.

Ключевые слова: уровень Мирового океана, пресноводный баланс, испарение, осадки, материковый сток, изменения климата, глобальная температура воздуха, парниковый эффект, влагосодержание атмосферы.

The results of research carried out in RSHU on global sea level study as an indicator of global climate change are discussed. The regularities of interannual variability of global sea level are considered, the estimates of different factors contribution to global sea level fluctuations are given, the methods of its very-long-term forecast are provided and the concept of global air temperature trend formation under modern climate change is proposed.

Key words: global sea level, freshwater balance, evaporation, precipitation, continental discharge, climate change, global air temperature, greenhouse effect, atmospheric moisture content.

Введение

Важнейшим индикатором глобального климата является уровень Мирового океана (УМО), изменения которого определяют как многие гидродинамические процессы в самом океане, так и характер его взаимодействия с атмосферой. Известно, что в течение XX в. происходил довольно быстрый рост уровня Мирового океана со скоростью примерно 1,7–1,8 мм/год. Однако в последние два десятилетия на основе альтиметрических данных установлено, что рост УМО заметно повысился и составляет уже 3,2 мм/год. К концу XXI в., по разным прогностическим оценкам, он может повыситься на 40–100 см по сравнению с его началом.

Естественно, если такое развитие изменений климата станет реальностью, то это грозит катастрофическим ущербом для инфраструктуры побережья океанов и морей, ибо именно эта пограничная зона между землей и океаном характеризуется особенно разнообразными экосистемами и именно на её территории предпочитает жить человек. Восемь из десяти крупнейших городов мира находятся на низменных прибрежных территориях, в том числе Нью-Йорк и Токио, а темпы роста численности населения в таких зонах в два раза превышают среднемировой показатель. К концу

XXI в. в прибрежных зонах не выше 1 м над уровнем моря будут проживать примерно 130 млн, а в зонах не выше 5 м — 410 млн человек. При росте уровня океана становится неизбежным затопление равнинных прибрежных территорий таких стран, как Бангладеш, Индонезия, Индия и др. Например, повышение уровня моря только на 40 см в Бенгальском заливе приведет к затоплению 11 % прибрежной зоны Бангладеш и переселению 7–10 млн беженцев. А всего потребуется переселение многих десятков миллионов человек. Кроме того, вполне возможно, что в зоне возможных наводнений могут оказаться дополнительно от 20 до 300 млн человек ежегодно [19].

В связи с этим проблему изучения долговременных колебаний уровня Мирового океана и особенно построения методов его долгосрочного прогноза, следует отнести к числу важнейших проблем современной гидрометеорологии. Во многих странах, особенно в США, на исследование данной проблемы тратятся огромные финансовые ресурсы. В России до последнего времени исследования морского уровня в основном выполнялись в региональном масштабе. Исключение составляют вышедшая еще в 1985 г. монография Р.К. Клиге [4], в которой по футшточным наблюдениям реконструирован глобальный уровень за столетний период (1881–1981), осуществлен прогноз глобального уровня на основе его корреляционной связи с температурой воздуха Северного полушария на 1982–1995 гг. и даны оценки вкладов различных факторов в колебания УМО, а также изданная в 1998 г. фундаментальная монография «История гидросферы» [5], в которой на основе многочисленных геологических и палеоклиматических данных восстановлен глобальный уровень океана за исторический период.

Во второй половине «нулевых» годов текущего столетия в РГГМУ в рамках различных грантов и ведомственных программ начались работы по изучению закономерностей межгодовых колебаний УМО на основе инструментальных наблюдений, выявлению их генезиса, оценке вклада различных «уровнеобразующих» факторов в формирование тренда УМО, построению комплекса физико-статистических моделей долгосрочного прогноза УМО с различной заблаговременностью. Результатом их стал цикл публикаций в периодической печати и издание двух монографий [6, 7], причем многие научные результаты получены впервые.

Межгодовая изменчивость уровня Мирового океана

В настоящее время существуют две принципиально различные системы наблюдений за морским уровнем. Это метод спутниковой альтиметрии, который позволяет получить оценки уровня поверхности океана практически на всей его акватории и береговые футшточные (мареографные) измерения уровня, имеющие довольно длительную историю. Безусловное достоинство береговых наблюдений — это наличие длительных серий наблюдений, а принципиальный недостаток — невозможность измерения уровня вне береговой черты. Поэтому изучение длительных колебаний УМО возможно только на основе береговых наблюдений. На основе пошагового метода множественной регрессии в РГГМУ впервые разработана статистическая модель [18], обеспечивающая минимальную ошибку восстановления межгодовых колебаний УМО по данным 5 береговых станций наблюдений с погрешностью 6,6 мм/год. Это

позволило реконструировать колебания УМО за период инструментальных наблюдений с 1861 по 2005 г., т.е. за 145 лет (рис. 1).

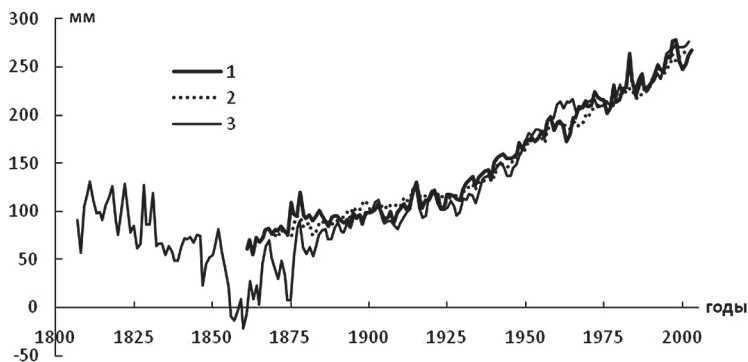


Рис. 1. Сопоставление временных рядов УМО, рассчитанных разными авторами:
1 — модель РГГМУ [18]; 2 — данные [20]; 3 — данные [24]

Средняя скорость роста уровня Мирового океана за рассматриваемый период времени составляет около 1,4 мм/год, причем тренд описывает 94 % дисперсии исходного ряда. Таким образом, наличие мощного линейного тренда является главной закономерностью межгодовых колебаний УМО. На фоне основного тренда в ходе УМО довольно отчетливо выделяется несколько периодов с различным характером изменений уровня, для которых локальные тренды различны. Это довольно быстрый рост УМО в 1861–1877 гг. ($Tr = 2,0$ мм/год), затем в течение 1879–1923 гг. уровень практически не менялся, т.е. наблюдалась фаза почти стояния уровня ($Tr = 0,4$ мм/год), после этого вплоть до настоящего времени он опять быстро растет ($Tr = 2,0$ мм/год). В течение XX столетия величина тренда достигала почти 1,8 мм/год. Сравнение ряда УМО, рассчитанного по статистической модели, с полученным по альтиметрическим данным за период 1993–2005 гг. показывает почти полное равенство линейных трендов. После исключения линейного тренда и дальнейших расчетов было выявлено, что из оставшихся 6 % дисперсии 61 % приходится на нелинейный тренд, а 20 % — на 60-летний цикл, который в рамках вейвлет-анализа является значимым.

Как видно из рис. 1, статистическая модель расчета УМО полностью совместима с аналогичными реконструкциями УМО других авторов [20, 24], полученными, в том числе, с использованием более 1000 станций глобального архива футшточных наблюдений PSMSL. Определенные преимущества ее перед западными аналогами заключаются в том, что, не уступая им в точности, для расчета УМО требуется минимум исходной информации, а именно, данные только нескольких стационарных береговых станций.

Установлено, что формирование тренда в годовых значениях уровня УМО можно рассматривать в виде статистической модели по типу «случайного блуждания» [11]. Суть ее состоит в последовательном суммировании внутригодовых приращений уровня (Δh_M), представляющего собой стационарный случайный процесс, развивающийся в виде модели «красный шум». Тренд этого нового ряда полностью идентичен тренду

среднегодовых значений УМО, т.е. $Tr(\Sigma \Delta h_M) = Tr(h_M)$. Физический смысл данного результата состоит в том, что при оценке вклада разных факторов в формирование тренда УМО представляется возможным использовать уравнения пресноводного баланса океана и изменений баланса вод в гидросфере.

Достаточно подробный спутниковый мониторинг изменений уровня Мирового океана проводится в Центре по хранению, верификации и интерпретации спутниковых океанографических данных во Франции (AVISO или Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Аналогичный мониторинг УМО выполняется также в университете Колорадо, США. Естественно, представляет интерес сравнение результатов мониторинга, выполненных в разных центрах по различающимся методикам. На рис. 2 приводятся декадные значения УМО за период 1993–2008 гг. по данным AVISO [25] и colorado.edu [26], сглаженные 60-дневным фильтром. Можно отметить хорошее соответствие между этими рядами, особенно после 1998 г. Линейные тренды уровня также хорошо согласуются, однако тренд по данным colorado.edu (3,2 мм/год) несколько выше, чем по данным AVISO (3,0 мм/год). Корреляция между указанными рядами составляет $r = 0,993$, но после исключения тренда она значительно уменьшается ($r = 0,73$).

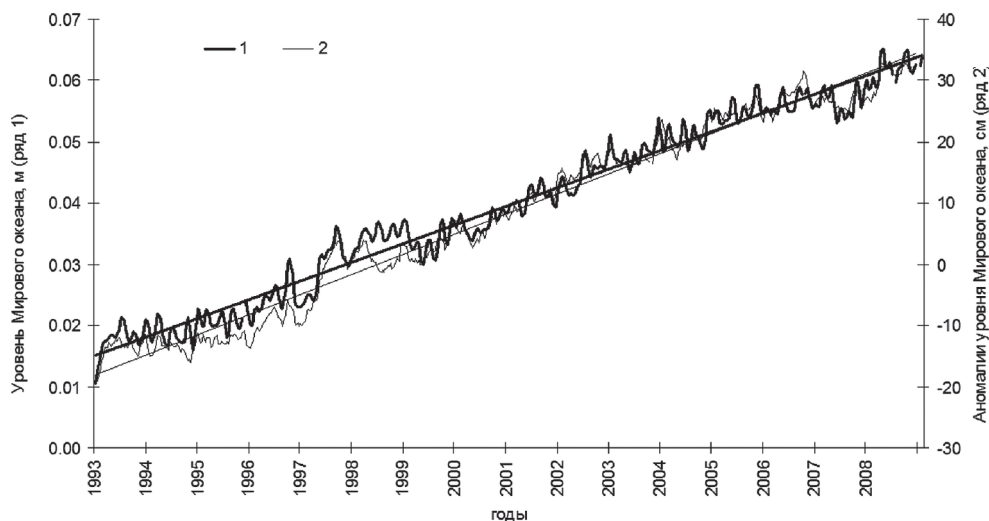


Рис. 2. Средний уровень Мирового океана по оценкам спутниковой альтиметрии за 1993–2008 гг.:
1 — по данным AVISO [25]; 2 — по данным colorado.edu [26]

Сопоставление годовых значений УМО по спутниковым и береговым данным, полученным разными авторами, показало, что дисперсия колебаний уровня, рассчитанного по береговым станциям, существенно выше. Это связано с тем, что пространственное осреднение альтиметрических данных охватывает практически всю акваторию МО, в то время как осреднение футшточных наблюдений проводится по ограниченному числу береговых станций.

*Оценка вкладов различных факторов
в межгодовую изменчивость уровня Мирового океана*

В общем случае на уровенную поверхность океана действует большое число различных по своей природе факторов, которые можно объединить в три большие группы: космогеофизические силы, геолого-геодинамические процессы, гидрометеорологические процессы. При глобальном осреднении в межгодовом масштабе времени в современных условиях влиянием космогеофизических сил и геолого-геодинамических процессов (вертикальных движений земной коры и донным осадконакоплением) на УМО можно пренебречь вследствие их малости [4, 6]. В результате определяющими являются гидрометеорологические процессы, вызывающие объемные изменения уровня океана. Это эвстатические колебания, возникающие за счет составляющих пресноводного баланса (испарение, осадки, речной и айсберговый сток) и стерические колебания, обусловленные изменениями плотности морской воды. Таким образом, межгодовые изменения УМО можно записать как:

$$\Delta h_M = \Delta h_{\text{Э}} + \Delta h_{\text{стер}}. \quad (1)$$

Поскольку эвстатические и стерические колебания УМО обусловлены изменениями климата и, прежде всего, глобальной температурой воздуха, то межгодовые колебания УМО можно рассматривать как интегральный индикатор глобального климата. Одновременно с этим можно утверждать, что поскольку эвстатические колебания УМО перераспределяют воды гидросферы между отдельными оболочками Земли, т.е. между водами литосферы и криосферы, то они представляют собой показатель глобального водообмена природных вод.

Изучение генезиса межгодовых колебаний УМО возможно на основе двух основных подходов. Исходя из уравнения баланса вод в гидросфере, представляющей собой систему взаимодействующих резервуаров, состоящих из океана, атмосферы, криосферы и вод суши, изменения УМО можно представить в виде:

$$\Delta h_M = A_M^{-1} (-\Delta V_K - \Delta V_{\text{Л}} + \Delta V_{\text{стер}}), \quad (2)$$

где Δh_M — внутригодовые изменения УМО; A_M — площадь Мирового океана (МО); ΔV_K — изменения массы воды криосферы; $\Delta V_{\text{Л}}$ — изменения запасов поверхностных и подземных вод суши.

Именно данное уравнение используется в зарубежных исследованиях по оценке вкладов разных факторов в изменения УМО. Обобщение полученных результатов приводится в Оценочных отчетах межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), а также представлено в коллективной монографии [27].

Другой подход, развиваемый в РГГМУ, состоит в том, что оценка вкладов различных факторов осуществляется с использованием уравнения пресноводного баланса Мирового океана как сумма эвстатических и стерического факторов. Исходя из этого, имеем:

$$\Delta h_M = A_M^{-1} (P_{MO} + M + I - E_{MO} + \Delta V_{стер}), \quad (3)$$

где P_{MO} — осадки, выпадающие на акваторию МО; M — материковый (поверхностный и подземный) сток в МО; I — ледниковый сток в МО; E_{MO} — испарение с акватории МО.

Первый подход использует метод трендов, т.е. выполняется расчет за различные промежутки времени линейных трендов уровнеобразующих факторов и проводится последующее сравнение их суммы с фактическим трендом УМО. Понятно, что метод трендов адекватен лишь для монотонных рядов и позволяет весьма приблизительно судить о вкладе отдельных факторов, ибо сильно зависит от величины тренда и вклада коэффициента детерминации тренда в дисперсию исходного процесса. Известно, что для коротких рядов величина тренда зависит от их длины и при ее изменении всего лишь на одно значение она может сильно меняться и даже изменять знак.

Обратимся теперь к обобщающим результатам многочисленных исследований по оценке вкладов различных факторов в тренд УМО, представленных в отчетах МГЭИК. Как видно из табл. 1, в XX столетии (1910–1990) суммарный вклад уровнеобразующих факторов (с учетом горных ледников) составил от $-0,8$ до $2,2$ мм/год при средней оценке $0,7$ мм/год [23]. Если же исключить из суммарного вклада оценку таяния горных ледников, то он вообще уменьшится до $0,4$ мм/год. Очевидно, эксперты МГЭИК допускают принципиальную ошибку, рассматривая таяние горных ледников в качестве вклада в изменения УМО. Таяние горных ледников, которое действительно весьма существенно, может давать непосредственный вклад в изменения УМО только с ледников, расположенных на островах в Северном Ледовитом океане, и возможно частично с территории Аляски, поэтому их вклад в рост УМО не превышает $0,1$ мм/год. Горные ледники, находящиеся в Европе, Азии, Африке и Ю. Америке, могут влиять на УМО, очевидно, только через приток речных вод к океану. Поэтому вряд ли следует непосредственно учитывать их вклад в тренд УМО. Так как реальный рост УМО, по данным наблюдений, составлял $Tr = 1,5$ мм/год, то имеем огромную невязку (дисбаланс) между рассчитанными и фактическими значениями тренда в УМО, превышающую вклад любого уровнеобразующего фактора.

Таблица 1

Вклады различных факторов в формирование тренда уровня Мирового океана по данным оценочных отчетов МГЭИК

Факторы, влияющие на УМО	Оценки тренда, мм/год			
	1910–1990 гг. [23]	1961–2003 гг. [22]	1993–2003 гг. [22]	1993–2010 гг. [21]
Термическое расширение	$0,51 \pm 0,20$	$0,42 \pm 0,12$	$1,6 \pm 0,5$	$1,1 (0,8–1,4)$
Ледники и ледниковые шапки	$0,30 \pm 0,09$	$0,5 \pm 0,18$	$0,77 \pm 0,22$	$0,76 (0,39–1,13)$
Гренландский ледниковый щит	$0,06 \pm 0,05$	$0,05 \pm 0,12$	$0,21 \pm 0,07$	$0,33 (0,25–0,41)$
Антарктический ледниковый щит	$-0,09 \pm 0,10$	$0,14 \pm 0,41$	$0,21 \pm 0,35$	$0,27 (0,16–0,38)$
Влагозапасы суши	$-0,07 \pm 0,78$	–	–	$0,38 (0,26–0,49)$
Сумма	$0,70 \pm 0,82$	$1,1 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,7$	$2,8 (2,3–3,4)$
Наблюдаемый уровень	$1,5 \pm 0,50$	$1,8 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,7$	$3,2 (2,8–3,6)$

Такими же значительными оказываются невязки и за другие промежутки времени. За период 1961–2003 гг. невязка без учета горных ледников составляет 1,0 мм/год, а для 1993–2003 гг. — 0,9 мм/год [22], за 1993–2010 гг. — 1,2 мм/год [21], причем по абсолютной величине они превышают вклад любого фактора формирования УМО. Большие сомнения вызывает и оценка значительного уменьшения запасов поверхностных и подземных вод на суше, вклад которых за 1993–2010 гг. в тренд УМО, по данным [21], составил 0,38 мм/год и превышает даже вклад ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии. Это обязательно должно проявляться в резком росте материкового стока в МО. Однако исследования отечественных ученых данный факт не подтверждают [1, 3]. Поэтому мы можем уверенно утверждать, что использование зарубежными исследователями уравнения баланса массы воды в гидросфере для оценки тренда УМО вряд ли оправданно, ибо требует знания большого числа разных весьма трудно определяемых факторов, точность величин которых во многих случаях даже невозможно проконтролировать.

По мнению автора, для оценки роли разных факторов в формировании тренда УМО следует использовать уравнение (3), компоненты которого определить проще, чем компоненты уравнения (2), причем точность их можно проконтролировать [8]. В работе [17] выполнена оценка межгодовой изменчивости испарения, осадков, их разности на основе данных реанализа CDAS (Climate Data Assimilation System) за период глобального потепления (1980–2006). Для временных рядов осадков и испарения характерен ярко выраженный положительный тренд, описывающий более 50 % дисперсии (табл. 2). Величина тренда для осадков над Мировым океаном составляет $Tr = 4,2$ мм/год, а для испарения $Tr = 3,6$ мм/год, соответственно тренд в эффективном испарении оказывается отрицательным. Вследствие этого в течение 1980–2005 гг. происходил рост УМО со скоростью 0,6 мм/год, что соответствует $217 \text{ км}^3/\text{год}$. Корреляция рядов испарения и осадков с глобальной температурой воздуха составляет соответственно $r = 0,82$ и $r = 0,80$.

Таблица 2

Характеристики линейного тренда в межгодовых колебаниях испарения и осадков над отдельными океанами и Мировым океаном в целом за период 1980–2005 гг. по данным [17]

Океан	Площадь, 10^6 км^2	Испарение		Осадки		Эффективное испарение	
		R^2	Tr , мм/год	R^2	Tr , мм/год	R^2	Tr , мм/год
Атлантический	42	0,56	3,5	0,58	4,4	0,11	–0,9
Индийский	75	0,58	4,5	0,55	5,3	0,10	–0,9
Тихий	180	0,63	3,3	0,47	3,7	0,03	–0,4
Мировой	362	0,78	3,6	0,79	4,2	0,16	–0,6

На рис. 3 представлен глобальный приток речных вод к МО. В целом за период 1921–2005 гг. отмечается рост суммарного стока речных вод со скоростью $17 \text{ км}^3/\text{год}$. Однако до 1980 г. тренд практически отсутствовал и только начиная с 1980 г. отмечается рост притока речных вод, равный $55 \text{ км}^3/\text{год}$ или в пересчете на УМО — $0,15 \text{ мм/год}$. Рост материкового стока в период интенсивного потепления объясняется интенсивным таянием горных ледников и пополнением речного стока их талыми водами. Если бы

отмечалось сильное уменьшение запасов вод суши (см. табл. 1), то рост стока должен быть значительно больше.

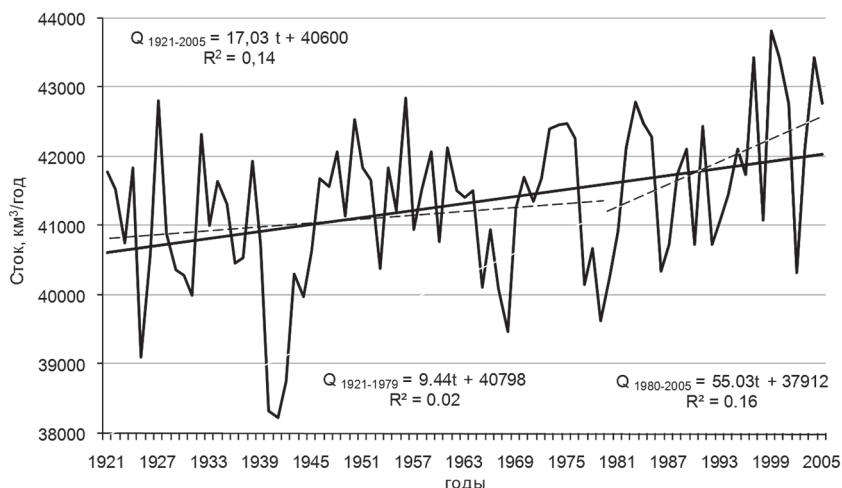


Рис. 3. Межгодовой приток речных вод к Мировому океану за 1921–2005 гг. по данным [1]

Для оценки ледового стока использовались результаты спутникового мониторинга антарктических айсбергов, осуществляемого Национальным Ледовым Центром США за период с 1978 по 2005 г. Было установлено, что число откалывающихся от ледникового щита Антарктиды айсбергов увеличилось примерно в 5 раз, т.е. скорость роста числа айсбергов составляет 1,7 в год. Это соответствует тренду в межгодовых колебаниях объема воды в ледниковом стоке равному $Tr = 77,5 \text{ км}^3/\text{год}$ или в пересчете на уровень океана — 0,22 мм/год.

Выполненные в РГГМУ исследования различных уровнеобразующих факторов позволили осуществить сравнение фактического и вычисленного тренда УМО для двух промежутков времени (1980–2005 и 1993–2003 гг.), которое представлено в табл. 3. При этом вычисленный тренд УМО определялся в виде суммы трендов эвстатической и стерической компонент. Нетрудно видеть, что невязка в расчетах составляет соответственно 0,21 и 0,22 мм/год. Это более чем в три раза меньше, чем в отчетах МГЭИК, если в последних не учитывать вклад горных ледников.

Очевидно, оценки трендов факторов, обуславливающих изменения УМО, целесообразно разделить на три категории. Относительно точные оценки трендов могут быть получены для суммарного притока пресных вод с материков, айсбергового стока с материковых щитов Антарктиды и Гренландии на основе дистанционных измерений с ИСЗ. С меньшей точностью рассчитываются тренды в характеристиках вертикального влагообмена. Наконец, наиболее сложными и в то же время вызывающими наименьшую степень доверия являются тренды в стерических колебаниях уровня, вклад которых в колебания УМО в современных условиях потепления климата весьма значителен. Отметим, что в РГГМУ разработана не имеющая аналогов физико-статистическая

модель оценки стерических колебаний УМО по ограниченному числу точек температуры поверхностного слоя океана [2, 12].

Таблица 3

Оценки вклада различных факторов в формирование тренда УМО за 1980–2005 и 1993–2003 гг. с использованием уравнения пресноводного баланса Мирового океана, мм/год

Источник роста УМО	1980–2005 гг.	1993–2003 гг.
Стерические колебания уровня океана	0,30	1,60
Суммарный сток с Гренландии	0,14	0,22
Твердый сток с Антарктиды	0,24	0,44
Приток материковых вод	0,16	0,19
Вертикальный влагообмен (осадки минус испарение)	0,62	0,43
Суммарный вклад факторов	1,56	2,88
Рост УМО по данным наблюдений	1,79	3,10
Дисбаланс (невязка)	0,23	0,22

Более точным способом оценки вкладов уровнеобразующих факторов в изменчивость УМО является дисперсионный анализ на основе модели множественной линейной регрессии (МЛР), который кроме тренда дополнительно учитывает циклические и случайные колебания. Запишем модель МЛР в виде:

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где y_i — приращение УМО в i -й год (Δh_{M_i}); x_{ij} — значение j -й компоненты уравнения (2) или (3) в i -й год; m — число компонент; ε_i — ошибка (невязка) модели (4), которая определяется как разность между фактическими и вычисленными по уравнениям (2) или (3) значениями Δh_{M_i} в i -й год. В этом случае сумма слагаемых в правой части (4) всегда будет равна фактической величине Δh_M . Далее методом наименьших квадратов рассчитываются все параметры модели МЛР. В результате получаем коэффициент детерминации модели равный $R^2 = 1$. Перейдем от коэффициентов регрессии b_j к их стандартизованным аналогам β_j , определяемым по формуле $\beta_j = b_j(\sigma_x/\sigma_y)$, где σ_x — стандартное отклонение переменной x_j , а σ_y — стандартное отклонение переменной y_j . В этом случае стандартизованное уравнение МЛР примет вид:

$$z_y = \beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_m z_m = \sum \beta_j z_j, \quad (5)$$

где z_y , β_j , z_j — стандартизованные значения функции отклика, коэффициентов регрессии и предикторов соответственно. Коэффициент детерминации функции отклика может быть представлен как:

$$R^2 = \sum \beta_j r_{yj} = \beta_1 r_{y1} + \beta_2 r_{y2} + \dots + \beta_m r_{ym}, \quad (6)$$

где r_{yj} — парный коэффициент корреляции между предиктантом и j -м предиктором.

Отсюда следует, что произведение $\beta_j r_{ij}$ представляет собой вклад каждого из предикторов X_j в описание изменчивости функции отклика. Отметим, что данный способ оценивания вкладов уровнеобразующих факторов ранее в расчетах использовался только для Каспийского моря [9].

Рассмотрим теперь использование предложенного подхода применительно к уравнению (3). Зададим значения Δh_{M_i} в виде разности между январскими значениями УМО последующего и текущего годов, т.е. $\Delta h_{M_i} = h_{M1(i+1)} - h_{M1i}$. Результаты выполненных расчетов за период 1980–2005 гг. приводятся в табл. 4. Отметим, что величина невязки характеризует суммарный вклад ошибок отдельных факторов и неучитываемых в уравнении (3) слагаемых. Как следует из табл. 4 коэффициент β_j по абсолютной величине преобладает в компонентах вертикального влагообмена, причем роль осадков в колебаниях УМО заметно выше испарения. Вклад невязки более чем в два раза меньше компонент вертикального влагообмена. Практически не оказывают влияние на изменчивость УМО остальные факторы. Однако если рассматривать вклад факторов в долях от дисперсии УМО, то получаем несколько иную картину. Вклад эффективного испарения составляет 34 %, невязки — 38 %, стерических колебаний — 15 %, притока речных вод — 9 %, айсбергового стока с Антарктиды — 4 %. Итак, по сравнению с анализом трендов, который позволяет оценить лишь *средние* вклады отдельных уровнеобразующих факторов, статистическая модель непосредственно описывает *изменчивость* исходного процесса.

Таблица 4

Оценки стандартизованных коэффициентов β_j и вклада отдельных факторов в описание изменчивости функции отклика z_j

Компонента	Оценка коэффициента β_j модели (5)	Вклад в изменчивость УМО, %
Испарение	–4,88	–60
Осадки	5,42	94
Приток речных вод	0,48	09
Айсберговый сток с Антарктиды	0,31	04
Стерические колебания	0,36	15
Невязка	2,02	38

О возможных изменениях уровня Мирового океана

В РГГМУ впервые разработан комплекс методов долгосрочного прогноза УМО: на длительную перспективу (столетие), на ближнюю перспективу (несколько десятилетий) и на текущий период (несколько лет). Такое деление обусловлено, с одной стороны, физическими закономерностями колебаний УМО и влиянием на них уровнеформирующих факторов, а с другой — практическими запросами потребителей. На длительную перспективу (на конец XXI в.) предложена простая статистическая модель прогноза УМО [19]. Она основана на использовании результатов моделирования глобальной температуры воздуха (ГТВ) с помощью комплекса численных моделей

общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В результате сравнения за период 1960–2008 гг. глобальных оценок аномалий ГТВ и значений УМО, рассчитанного по футшточным (береговым) наблюдениям, было показано наличие между ними хорошо выраженной линейной зависимости. Это позволило рассчитать линейную статистическую модель, которая описывает 73 % дисперсии УМО.

Для 6 основных сценариев изменений климата при задании по комплексу из 16 климатических моделей вероятного диапазона роста температуры на конец 2090–2099 гг. [22] по статистической модели определен вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг. Сравнение прогнозных данных УМО на конец XXI в. по статистической модели и по комплексу МОЦАО показало почти полное соответствие (табл. 5). Очевидное ее достоинство состоит в том, что она требует минимум исходной информации, но при этом не уступает в точности сложным и дорогостоящим МОЦАО. Это означает, что в приближенных прогностических расчетах УМО на перспективу вполне обоснованно можно обойтись без использования МОЦАО.

Таблица 5

Возможные оценки изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха и уровня Мирового океана на конец XXI в. (2090–2099) по сравнению с концом XX в. (1980–1999)

Сценарий выбросов СДСВ	Ансамбль из 16 моделей общей циркуляции атмосферы и океана [22]		Статистическая модель [19]
	Вероятный диапазон роста температуры на конец 2090–2099 гг., °C	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м
Сценарий В1	1,1–2,9	0,18–0,38	0,12–0,31
Сценарий А1Т	1,4–3,8	0,30–0,45	0,15–0,41
Сценарий В2	1,4–3,8	0,20–0,43	0,15–0,41
Сценарий А1В	1,7–4,4	0,21–0,48	0,18–0,47
Сценарий А2	2,0–5,4	0,23–0,51	0,21–0,58
Сценарий А1F1	2,4–6,4	0,26–0,59	0,26–0,68

Впервые предложена и разработана также не имеющая аналогов в зарубежных исследованиях физико-статистическая модель межгодовых колебаний уровня Мирового океана в целях его долгосрочного прогноза с заблаговременностью два десятилетия [16]. В ее основе лежит сформулированная выше концепция, что именно изменения ГТВ являются важнейшим определяющим фактором колебаний УМО. Было экспериментально установлено наличие длительного запаздывания (20 и 30 лет) колебаний УМО относительно изменений ГТВ. Это позволяет использовать процедуру сдвиговой пошаговой множественной регрессии для определения оптимальных моделей колебаний УМО в зависимости от значений температуры воздуха, заданных в узлах сеточной области над океаном. По зависимой выборке (1901–1999) рассчитан полный комплекс пошаговых моделей для сдвигов от $\tau = 0$ до $\tau = 33$ лет методом включения переменных до 15 предикторов, в результате чего общее число моделей составило более 500. Их анализ позволил установить сдвиг $\tau = 21$ год, для которого влияние ГТВ на колебания УМО проявляется максимальным образом. В результате этого оказалось

возможным выполнить расчет прогностических оценок УМО до 2028 г. (рис. 4). Величина тренда за указанный период составляет $Tr = 3,0$ мм/год, что удовлетворительно соответствует альтиметрической оценке тренда УМО (2,9–3,0 мм/год) для начала XXI в. Проверка полученных результатов была осуществлена путем построения аналогичных физико-статистических моделей для временных рядов УМО, взятых из работ [20, 24], которая показала их хорошее соответствие.

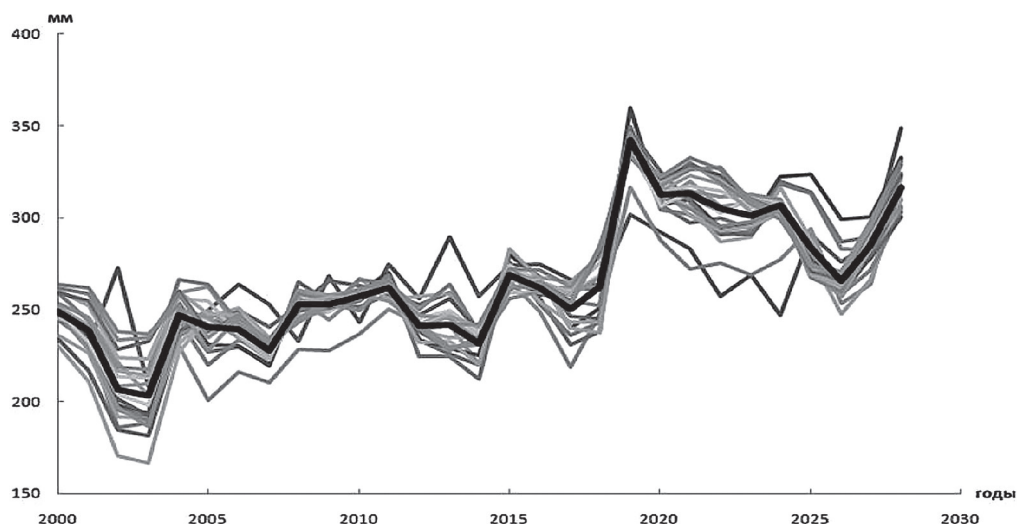


Рис. 4. Прогностические значения УМО за период 2000–2028 гг., рассчитанные по статистической модели для различного числа переменных от $m = 1$ до $m = 19$ [16] (жирная линия — осредненная кривая по 19 значениям УМО за каждый год)

Формирование тренда в современных изменениях глобальной температуры воздуха

По мнению экспертов МГЭИК «в высшей степени вероятно (*extremely likely*, 95–100 %), что влияние человека является доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины XX-го столетия» [21]. Однако с этим выводом трудно согласиться. В общем случае межгодовую изменчивость глобальной температуры воздуха можно рассматривать в виде аддитивной модели, состоящей из линейного тренда, циклических компонент и случайных колебаний, т.е.

$$ГТВ = Tr_{ГТВ} + C_{ГТВ} + P_{ГТВ}. \quad (7)$$

По сути, именно тренд идентифицируется как глобальное потепление. Исходя из данных архива реанализа HadCRUT и приняв за начало отсчета 1880 г., в работе [14] был выделен мощный линейный тренд, а с помощью вейвлет-анализа — 60-летний, 20-летний и 9–11-летний циклы. Дисперсионный анализ позволил оценить их вклад в дисперсию исходного временного ряда глобальной температуры $D(ГТВ)$.

В результате получаем уравнение (7) в дисперсионном виде:

$$D(\text{ГТВ}) = D(\text{Tr}) + D(C_{60}) + D(C_{20}) + D(C_{10}) + D(P) = 0,64 + 0,12 + 0,03 + 0,02 + 0,19.$$

Итак, вклад тренда, который идентифицируется как глобальное потепление, составляет 64 %, 60-летнего цикла — 12 %, на долю случайных колебаний приходится 19 %.

Безусловно, 60-летний цикл требует к себе внимания и не может быть проигнорирован. К сожалению, вопрос о его происхождении до настоящего времени остается дискуссионным. Более того, со статистической точки зрения данный цикл может быть признан недостоверным, ибо укладывается в длину ряда всего дважды, что позволяет формально его интерпретировать как результат наложения случайных колебаний друг на друга. Однако межгодовой ход ГТВ в настоящее время подтверждает существование 60-летнего цикла. Если в 2000 г. отмечался его очередной максимум, то тогда в 2030 г. следует ожидать минимум. Некоторый спад ГТВ после 2000 г. свидетельствует в пользу этого цикла [15].

Как известно, парниковый эффект (ПЭ) можно считать важнейшим фактором современных изменений глобального климата. Также известно, что главным парниковым газом является водяной пар. В среднем вклад влагосодержания атмосферы (ВА) в ПЭ составляет примерно 50 %, облачности — 25 %, углекислого газа — только 20 %. Суммарный вклад всех остальных газов в ПЭ не превышает 5 %. Таким образом, на долю атмосферной влаги приходится 75 % вклад в ПЭ. Несмотря на, казалось бы, очевидные вещи, с подачи МГЭИК происходит игнорирование роли ВА в современных изменениях климата и считается, что ВА является только их *откликом*.

На рис. 5 приводится межгодовой ход влагосодержания атмосферы над Мировым океаном, вычисленный по спутниковым данным за период 1988–2012 гг. [13]. Нетрудно видеть постепенный рост ВА, который характеризуется положительным линейным трендом $Tr = 0,33$ мм/10 лет. В колебаниях глобальной температуры воздуха и других параметрах климата также присутствуют хорошо выраженные тренды. Возникает вопрос их сравнимости. В работе [13] для этой цели вводится индекс тренда, представляющий собой безразмерное отношение размаха тренда к его среднему значению и выражаемый в процентах, т.е.

$$I_{Tr} = \frac{a_1 \cdot n}{\bar{x}} 100\%,$$

где a_1 — угловой коэффициент (величина) тренда; n — длина временного ряда ($n = 25$ лет); $\bar{x}$ — среднее значение тренда.

По сути, индекс тренда — некий аналог коэффициента вариации, используемого для сравнения изменчивости характеристик, имеющих разную размерность. В результате расчетов было показано, что для ВА индекс тренда составляет 2,82 %, в то время как для температуры воздуха над Мировым океаном — 1,23 %, т.е. он выше более чем в 2 раза. Поэтому утверждения экспертов МГЭИК о малой изменчивости водяного пара в атмосфере безосновательны. При этом главным фактором формирования межгодовых колебаний ВА являются процессы вертикального влагообмена океана

с атмосферой, влияние которых на формирование тренда во ВА существенно выше температуры воздуха.

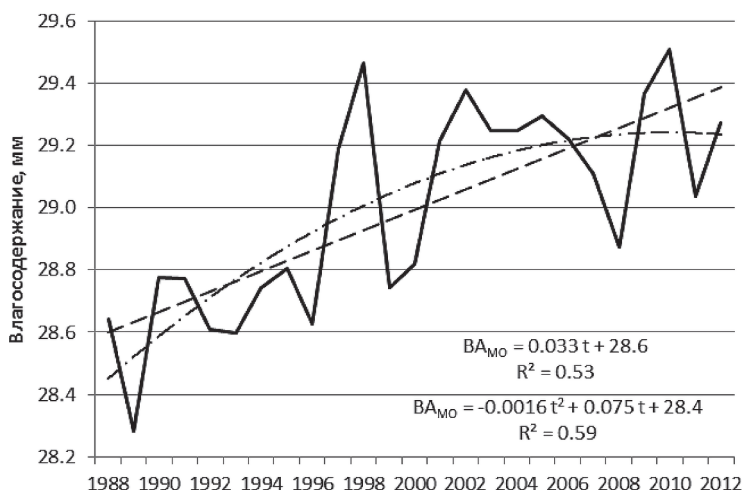


Рис. 5. Межгодовая изменчивость усредненного над Мировым океаном влагосодержания атмосферы за период 1988–2012 гг. и его линейный и нелинейный тренды по данным [13]

Кроме того, в работе [13] предложена простая статистическая модель, позволяющая рассчитывать ГТВ по влагосодержанию атмосферы над Мировым океаном. Расчет по этой модели тренда ГТВ показал, что он полностью согласуется с фактическим трендом ГТВ. Однако принимая во внимание положительную обратную связь между ВА и ГТВ сложно утверждать, что является причиной, а что следствием. Очевидно, при повышении температуры воздуха происходит увеличение влагосодержания, что, в свою очередь, через парниковый эффект ведет к росту температуры. Отсюда следует определенный дуализм в «поведении» атмосферного водяного пара, который является не только откликом на изменения климата, но и непосредственно *климатообразующим фактором*.

На наш взгляд, формирование глобального потепления обусловлено процессами крупномасштабного взаимодействия между океаном и атмосферой и регулируется системой положительных и отрицательных обратных связей, причем положительные связи преобладают. Довольно подробный их анализ дается в работе [6]. Так, положительные обратные связи существуют у глобальной температуры воздуха с температурой поверхности Мирового океана, его теплосодержанием, испарением, влагосодержанием атмосферы, содержанием в атмосфере углекислого газа и др. Отрицательная обратная связь отмечается между температурой воздуха и ледовитостью Арктического бассейна. При повышении температуры ледовитость уменьшается, что приводит к уменьшению альбедо, увеличению площади чистой воды, свободной ото льда, увеличению эмиссии парникового газа метана в шельфовой зоне океана. В свою очередь, это способствует повышению температуры воздуха.

Допустим, например, что под действием каких-либо климатообразующих факторов первоначальный положительный импульс получает температура воздуха. Это неминуемо сказывается на повышении поверхностной температуры воды океана и его теплоемкости, повышении уровня Мирового океана, повышении испарения, увеличении влагосодержания атмосферы, дополнительной эмиссии CO_2 в атмосферу, уменьшении ледовитости Северного Ледовитого океана и понижении его альбедо, таяния ледников и вечной мерзлоты, вследствие чего в атмосферу выделяется метан, который во много раз более сильный парниковый газ, чем CO_2 . Все это, в конечном счете, определяет последующее нагревание атмосферы. Если климатообразующие факторы носят циклический характер, то по мере получения температурой воздуха отрицательного импульса процессы крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы начнут развиваться в обратном направлении и будет происходить похолодание климата.

Однако если климатообразующий фактор действует монотонно в одном направлении, причем постоянно усиливается, то он, естественно, будет влиять на формирование трендовой составляющей в изменениях климата. Таким фактором является совокупность всех видов антропогенной деятельности, наиболее важным из которых служит сжигание ископаемого топлива и выбросы в атмосферу парниковых газов и, прежде всего, CO_2 . Атмосферное «покрывало» из парниковых газов стимулирует рост температуры через механизмы прямых и обратных связей в системе океан—атмосфера. По сути, человеческую деятельность можно рассматривать в виде своеобразного спускового механизма мощных процессов в системе океан—атмосфера, который приводит их в действие и одновременно не допускает самокомпенсации. Однако это не означает, что она играет преобладающую роль в глобальном потеплении. Более правильно сказать, что она является его стимулятором [10].

Таким образом, формирование современного глобального потепления обусловлено процессами крупномасштабного взаимодействия между МО и атмосферой и регулируется системой положительных и отрицательных обратных связей, причем положительные связи преобладают. Главенствующая роль в этом принадлежит положительной обратной связи между температурой воздуха и влагосодержанием атмосферы. С одной стороны, с повышением глобальной температуры воздуха происходит некоторый рост ВА, с другой — рост ВА через парниковый эффект ведет к росту температуры. Поэтому одностороннее совместное действие крупномасштабного взаимодействия процессов в системе океан—атмосфера и антропогенного фактора — это, возможно, наиболее реальный механизм современного потепления климата, т.е. формирования тренда в глобальной температуре воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-05-00837).

Литература

1. Бабкин В.И., Клиге Р.К. Приток речных вод в Мировой океан. // Учёные записки РГГМУ, 2009, № 13, с. 17–20.
2. Глок Н.И., Малинин В.Н. Статистический анализ стерических колебаний уровня Мирового океана. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 21, с. 126–136.
3. Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. — М.: «ГЕОС», 2011. — 660 с.

4. *Клиге Р.К.* Изменения глобального водообмена. — М.: «Наука», 1985. — 247 с.
5. *Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н.* История гидросферы. — М.: «Научный мир», 1998. — 368 с.
6. *Малинин В.Н.* Уровень океана: настоящее и будущее. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 260 с.
7. *Малинин В.Н.* Глобальный водный баланс. — Lambert Academic Publishing, 2011. — 158 p.
8. *Малинин В.Н.* Влагообмен в системе океан—атмосфера. — Л.: Гидрометеиздат, 1994. — 197 с.
9. *Малинин В.Н.* Проблема прогноза уровня Каспийского моря. — СПб.: РГГМУ, 1994. — 160 с.
10. *Малинин В.Н.* К анализу тренда в уровне Мирового океана. // Изв. РГО, 2010, № 142, вып. 5, с. 1–9.
11. *Малинин В.Н., Глок Н.И.* Использование спутниковых данных о поверхностной температуре воды для оценки стерических колебаний уровня Мирового океана. // Исследование Земли из космоса, 2014, № 3, с. 27–32.
12. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Изменчивость влагосодержания атмосферы над океаном по спутниковым данным. // Исследование Земли из космоса, 2015, № 1, с. 3–11.
13. *Малинин В.Н.* Влагосодержание атмосферы и парниковый эффект. // Общество. Среда. Развитие, 2014, № 3, с. 139–145.
14. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* О современных изменениях глобальной температуры воздуха. // Общество. Среда. Развитие, 2011, № 2, с. 215–221.
15. *Малинин В.Н., Шевчук О.И.* Об изменениях глобального климата в начале 21-го столетия. // Учёные записки РГГМУ, 2010, № 15, с. 150–154.
16. *Малинин В.Н., Шевчук О.И.* О возможных изменениях уровня Мирового океана в ближайшие десятилетия. // Общество. Среда. Развитие, 2009, № 2, с. 172–180.
17. *Малинин В.Н., Шевчук О.И.* Эвстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях. // Изв. РГО, 2008, т. 140, вып. 4, с. 20–30.
18. *Малинин В.Н., Гордеева С.М., Шевчук О.И.* Изменчивость уровня Мирового океана за последние 140 лет. // Учёные записки РГГМУ, 2007, № 4, с. 125–132.
19. *Малинина Ю.В.* К оценке возможного ущерба от возможного повышения уровня океана в XXI столетии. // Учёные записки РГГМУ, 2010, № 14, с. 162–176.
20. *Church J.A., White N.J.* A 20th century acceleration in global sea-level rise. // Geophysical Res. Letters, 2006, vol. 33, no. 1. L01602.
21. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. T.F. Stocker et al. — Cambridge (UK), N. Y., Cambridge University Press, 2013. — 1535 p.
22. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007. Eds. L. Bernstein et al. — Cambridge, New York, Cambridge University Press, 2007. — 940 p.
23. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. J.T. Houghton et al. — Cambridge, New York, Cambridge University Press, 2001. — 881 p.
24. *Jevrejeva S., Grinsted A., Moore J.C., Holgate S.* Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records. // J. Geophys. Res., 2006, vol. 111, no. C9. C09012.
25. Mean Sea Level as seen by other techniques. AVISO. — Электронный ресурс: [<http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/ocean-indicators/mean-sea-level/other-techniques/index.html>].
26. Sea Level change. University of Colorado at Boulder. — Электронный ресурс: [<http://sealevel.colorado.edu>].
27. Understanding Sea-level Rise and Variability. Eds. J.A. Church, P.L. Woodworth, T. Aarup, W.S. Wilson. — Wiley-Blackwell, 2010. — 456 p.

А.В. Зимин, Д.А. Романенков, О.А. Атаджанова, А.А. Родионов, А.В. Моисеев

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ
СТРУКТУР В БЕЛОМ МОРЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ АПРОБАЦИИ
ЛЕТОМ 2014 Г.**

A.V. Zimin, D.A. Romanenkov, O.A. Atadzhanova, A.A. Rodionov, A.V. Moiseev

**EXPERIENCE OF THE SYSTEM DEVELOPMENT FOR MONITORING
OF SHORT-PERIOD PROCESSES AND SUBMESOSCALE STRUCTURES
IN THE WHITE SEA AND RESULTS OF ITS APPROBATION
IN THE SUMMER OF 2014**

В статье представлены подход к созданию системы наблюдений (мониторинга) за короткопериодной изменчивостью гидрофизических полей и процессов в приливном арктическом море и экспериментальные данные по отработке ее элементов, полученные в ходе экспедиционных работ в различных по гидрологическим условиям районах Белого моря в июле 2014 г.

Ключевые слова: наблюдения, внутренняя волна, вихрь, фронт, прилив, мониторинг, Белое море.

The paper outlines a notion of system observing the short-term variability of hydro-physical fields and monitoring the submesoscale structure in an arctic tidal sea and the results of experimental data to test elements of the system. The data were obtained in July 2014 during field work in the areas of the White Sea with various hydrological conditions.

Key words: observations, internal wave, eddy, front, tide, monitoring, the White Sea.

Океанологические наблюдения последних десятилетий позволили обнаружить значительную изменчивость полей течений, температуры и солености на временных масштабах от минут до нескольких часов, которую обычно связывают с такими явлениями и процессами, как тонкая структура вод, короткопериодные внутренние волны (ВВ), малые (субмезомасштабные) вихревые и струйные структуры, локальная динамика фронтальных разделов. Например, в Белом море неоднократно регистрировались интенсивные колебания гидрофизических полей и аномалии вертикального и горизонтального перемешивания, вызванные короткопериодными ВВ [5, 7, 9, 18] и субмезомасштабными вихрями [16]. В связи с незначительным пространственным масштабом (~0,1–10 км) и малым временем жизни таких структур, их регулярное наблюдение затруднительно. Вместе с тем, научный интерес к исследованию процессов и явлений в субмезомасштабном интервале изменчивости обусловлен тем, что они являются связующим звеном в цепи преобразования энергии движений от синоптических и мезомасштабных процессов к микроструктуре океана. С практической точки зрения для эксплуатации подводной техники и удовлетворения потребностей подводной навигации и акустики необходимо знать не только средние параметры

гидрофизических полей, но и характеристики их короткопериодной изменчивости. Такая информация может использоваться также для совершенствования численных гидродинамических моделей в интересах оперативной океанологии.

Существующие системы наблюдений в различных регионах и морях Мирового океана [1] ориентированы главным образом на слежение за изменчивостью, определяемой процессами и явлениями большего масштаба, чем те, о которых говорилось выше. В значительной степени эти системы опираются на регулярные измерения на стандартных горизонтах и с пространственно-временной дискретностью априори недостаточной для мониторинга короткопериодных и субмезомасштабных процессов и явлений.

Считается, что рациональным путем изучения короткопериодной изменчивости гидрофизических полей океана является выполнение многочасовых (многосуточных) наблюдений в ряде типичных в динамическом отношении точек [15]. Для полноты картины необходимо, чтобы исследования охватывали все типичные акватории моря и велись на регулярной основе. При этом возникают естественные вопросы об экономической эффективности работ, выборе районов и сроков наблюдений. Ответы на эти вопросы приводят к идее системы наблюдений на базе спутниковой и морской подсистем [16]. Она объединяет результаты спутниковых измерений высокого разрешения, охватывающих значительные акватории моря, и учащенные по времени и подробные по пространству морские (полигонные) наблюдения в отдельных районах моря.

По мере накопления результатов морских и спутниковых наблюдений за короткопериодной изменчивостью океанологических характеристик и интерпретации исходной информации должны создаваться базы данных собственно процессов и явлений, определяющих эту изменчивость, которая зависит как от внешних влияющих факторов, так и от типа фоновых гидрологических условий в районе наблюдений. Применительно к Белому морю с доминирующим влиянием приливной динамики на короткопериодную изменчивость такие базы данных должны лежать в основе построения системы мониторинга процессов и явлений соответствующего масштаба с привязкой к хорошо прогнозируемым приливным колебаниям уровня [16]. Задачей системы мониторинга короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и процессов является сбор, систематизация и анализ гидрометеорологической информации, форма и содержание которой обеспечивают ее использование для получения количественных оценок приливной и внутриприливной изменчивости гидрофизических полей, тонкой структуры вод и процессов перемешивания, обусловленных короткопериодными ВВ, субмезомасштабными вихрями и мезомасштабной фронтальной динамикой.

Спутниковая подсистема наблюдений дает возможность использовать архивные и оперативные данные со сканеров ASAR (ENVISAT), SAR (RADARSAT-1,2) и MODIS (Terra/Aqua). Комплексный спутниковый мониторинг для непривливаемых морей детально разработан [14]. Значительный объем спутниковых данных в Белом море позволил получить представления о пространственном распределении и некоторых характеристиках короткопериодных ВВ [10, 13, 20], субмезомасштабных вихревых структур [2], фронтальных разделов и их динамике на акватории всего моря [16]. На этой основе выбирались районы для проведения морских наблюдений [11].

Морская подсистема мониторинга базируется на наблюдениях с помощью повторяющихся нестационарных океанографических полигонов и разрезов по методике,

защищенной авторским свидетельством [8]. На полигонах выполняются: квазисинхронные мелкомасштабные океанографические съемки и измерения на буйковых станциях, дополненные данными учащенных океанографических станций (сканирований) с заякоренного в районе полигона судна. Измерения на полигонах из буйковых станций должны охватывать несколько циклов доминирующей в приливе гармонике M_2 .

Мелкомасштабные океанографические съемки выполняются в разные фазы приливного цикла; каждая съемка состоит из нескольких разрезов. Наблюдения за температурой и солёностью производятся с помощью СТД-зондов с дискретностью по вертикали не менее одного метра. На полигонах из буйковых станций измерения проводятся профилирующей аппаратурой с частотой измерения, близкой к частоте Вайсяля-Брента, в течение несколько циклов полусуточного прилива. Одновременно выполняются вертикальные сканирования с борта судна с дискретностью 1–3 мин в зависимости от глубины места.

Предлагаемая методика, согласно [17], может быть отнесена к классу специализированных океанографических наблюдений, методика, состав и продолжительность которых зависят от задач исследования. Например, российскими специалистами были выполнены эксперименты в Черном море [12, 14, 19] и в Белом море [10], которые показали необходимость сочетания высокоразрешающих спутниковых данных и наблюдений *in situ* для изучения характеристик субмезомасштабных структур.

Отдельные элементы системы мониторинга были отработаны и испытаны в ходе ежегодных экспедиционных работ 2006–2013 гг. в Белом море и на этапах анализа результатов обработки архивов спутниковой информации [6, 7, 10, 20]. Элементы морской подсистемы мониторинга апробировались в ходе экспедиционных работ, проводившихся с борта НИС «Эколог» в Восточной Соловецкой салме, Двинском заливе и Бассейне Белого моря в июле 2014 г. (рис. 1). Работы выполнялись Санкт-Петербургским филиалом Института океанологии РАН при участии Российского государственного гидрометеорологического университета и Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

Экспедиционные исследования на первом этапе включали постановку донной буйковой станции в проливе Восточная Соловецкая салма, на втором этапе — постановку полигона автономных буйковых станций, а также выполнение разрезов и микрополигонных съемок в проливе Восточная Соловецкая салма, в центральной части Двинского залива и в районе, находящемся на стыке Бассейна, Горла и Двинского залива (см. рис. 1). Указанные районы были определены на подготовительном этапе по результатам обработки радиолокационных изображений ENVISAT ASAR (2007–2012) и данных по полям температуры поверхности моря с прибора MODIS спутников Aqua и Terra (2010, 2014). В этих районах [3, 16] было зарегистрировано значительное количество поверхностных проявлений пакетов короткопериодных ВВ (полигон № 1, 2), существенная локальная изменчивость положения фронтальных разделов (полигон № 2, 3), частые поверхностные проявления аномалий, связанных с субмезомасштабными вихревыми образованиями (полигон № 3). Однако эти данные не позволили оценить характеристики короткопериодной изменчивости гидрофизических полей, высоты и скорости распространения ВВ, время жизни субмезомасштабных вихрей. Эти сведения были получены в дополнение к спутниковым данным по наблюдениям при производстве морских работ.

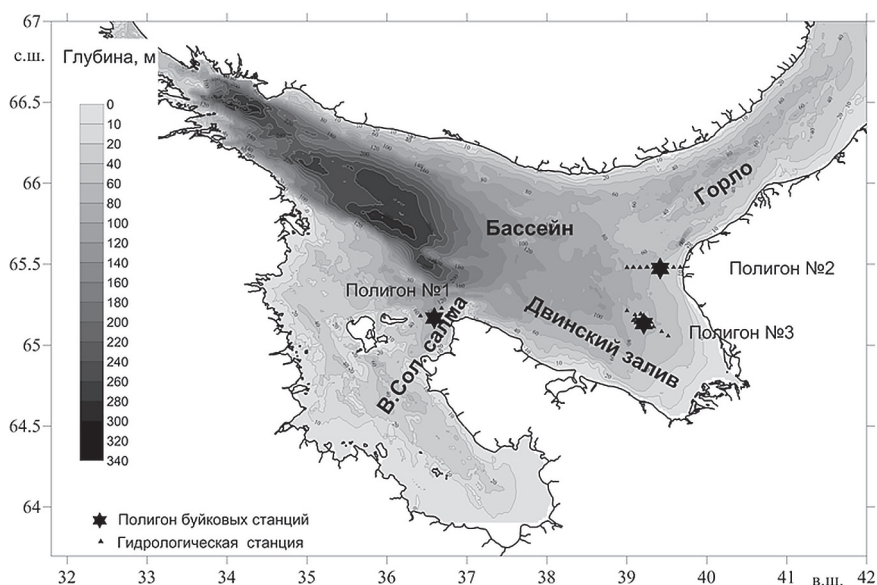


Рис. 1. Расположение районов работ и схема станций, выполненных с борта НИС «Эколог» с 8 по 9 июля и с 22 по 27 июля 2014 г.

Данные сканирующих измерений можно рассматривать как двумерную картину изменения полей температуры и солёности по вертикали и времени, которая дает наглядное представление об изменчивости процессов. В качестве примера на рис. 2 приводится распределение температуры и солёности, полученное по данным непрерывного сканирования в течение 16 ч 20 мин с дискретностью 2 мин на полигоне № 1 в июле 2014 г., а также колебания уровня моря по датчику давления.

На представленном рисунке четко прослеживается меняющаяся во времени квазидвухслойная структура вод. Согласно имеющимся представлениям [4], эти слои можно интерпретировать как летние поверхностную и промежуточную водные массы Бассейна Белого моря. Поверхностная водная масса в период работ характеризовалась температурой 7–10 °С и солёностью 26,5–27,0 ‰, а промежуточная водная масса — температурой 0–4 °С и солёностью 27,4–28,4 ‰. При этом глубина залегания и объёмы водных масс в плоскости разреза испытывают значительные колебания. Ход уровня моря демонстрирует правильный полусуточный характер прилива в районе измерений. При падении уровня моря увеличивается объём вод, занимаемых промежуточной водной массой, а в период роста уровня её объём уменьшается. На эти полусуточные приливные колебания термохалинных характеристик накладываются возмущения меньших периодов, связанные с прохождением цугов короткопериодных ВВ. На отдельных горизонтах колебания могут достигать 2–3 °С и 0,5–0,75 ‰ за 10–20 мин. По результатам аналогичных сканирований, выполненных в различных районах Белого моря [5, 7], выявлено, что короткопериодные колебания термохалинных полей широко распространены по акватории моря. Изменчивость, обусловленная

короткопериодными колебаниями, не может быть выявлена в рамках стандартных мониторинговых гидрологических наблюдений. Для иллюстрации сказанного сопоставим результаты наблюдений по применяемой методике с теми результатами, которые были бы получены с использованием классических методов наблюдений.

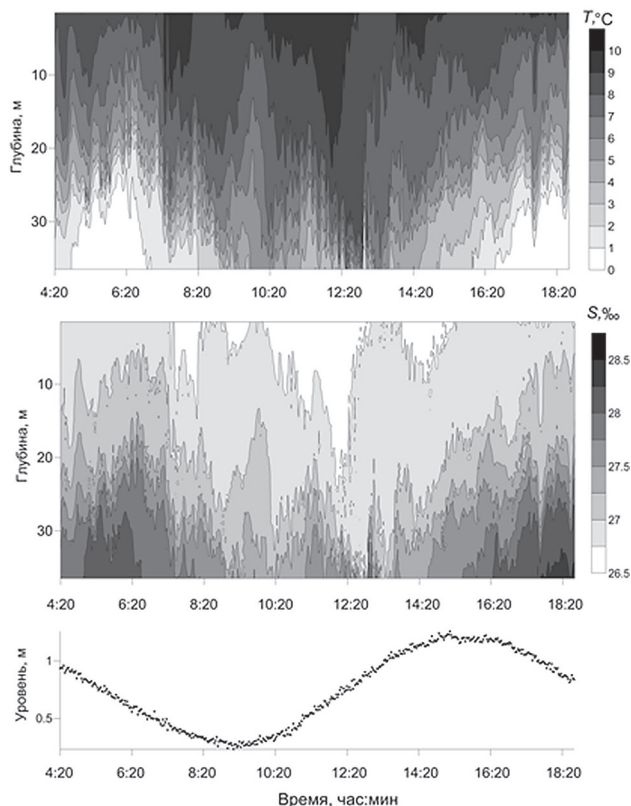


Рис. 2. Фрагмент временной изменчивости температуры и солёности по данным сканирования на суточной станции с заякоренного судна на полигоне № 1 (Восточная Соловецкая салма) с 4:20 до 18:20 23.07.2014 и колебания уровня по показаниям датчика давления ADCP WHS 300, установленного на дно рядом с судном

На основании сканирующих измерений сформируем два массива данных. Массивы высокого (по глубине и времени) и стандартного (соответствующего требованиям [17]) разрешений. Данные высокого разрешения — это данные с дискретностью 1 м по вертикали и 1–4 мин по времени (в зависимости от глубины места на полигоне). Данные стандартного разрешения — это данные измерений на стандартных горизонтах с дискретностью два часа. В первом случае исходные данные позволяли учесть эффекты, связанные с короткопериодными колебаниями (порядка десятки минут), а во втором случае их исключали.

Анализируя значения среднего за приливной период и стандартного отклонений для распределений температуры и солёности, оценим, насколько наблюдаемые характеристики изменчивости зависят от детальности произведенных измерений. Сравнение результатов обработки наблюдений, полученных с использованием стандартной и применяемой методик, приведено на рис. 3. Из рисунка видно значительное различие не только в дисперсии, но и в средних оценках температуры и солёности на различных горизонтах. Очевидно, что это скажется и на оценках параметров ВВ.

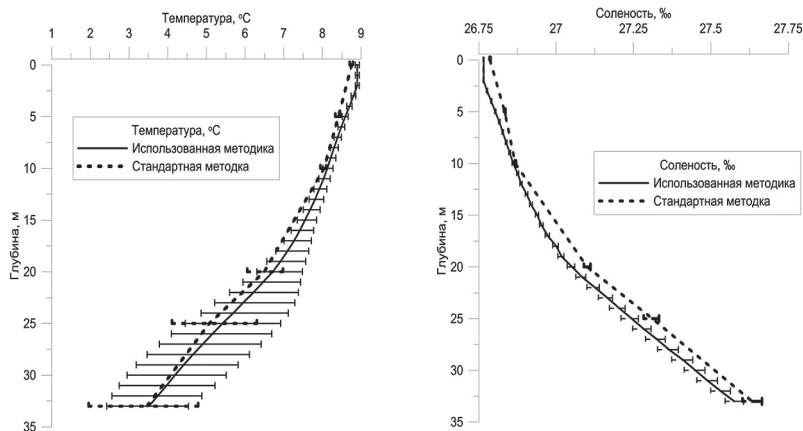


Рис. 3. Средние профили температуры и солёности (линии) и их стандартное отклонение (отрезки) по данным на полигоне № 1 с использованием разных методик наблюдений

Характеристики короткопериодных ВВ (амплитуда h и период τ) оценивались по результатам сканирований, а остальные измерения использовались для учета гидрологических условий в районе проведения работ и определения направления распространения ВВ в соответствии с работой [9]. Длина волны λ может быть найдена как $\lambda = c \cdot \tau$, где c и τ — фазовая скорость и период волны соответственно. Фазовая скорость может быть оценена с использованием дисперсионного соотношения (1) для внутренних волн в приближении двухслойной среды [10]:

$$C = \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{d \cdot (D - d)}{d + (D - d)}}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения; ρ — средняя по глубине плотность; D — глубина; d — толщина верхнего слоя; $\Delta \rho$ — разность плотности верхнего и нижнего слоя. Характеристики слоев берутся как средние их значения за приливной период, а граница между слоями определяется по глубине залегания характерной изопикны.

Общее время сканирования водной толщи за период экспедиционных работ составило 57,6 ч, а обобщенные результаты анализа характеристик короткопериодных

ВВ, даны в таблице, в которой приведены среднее, максимальное и модовое значения высот волн и их средние длины, периоды и фазовые скорости. Средняя по всем полигонам амплитуда ВВ составила 2,5 м, средний период — 19 мин, средняя скорость — 0,39 м/с, а длина — 794 м.

Как видно из таблицы, интенсивность внутреннего волнения была различна на полигонах, первые два из которых располагались в зонах сильных приливных течений со скоростями до 80 см/с. Наиболее высокие и короткопериодные волны наблюдались на полигоне № 1, располагавшемся в зоне пролива и характеризовавшемся значительной изменчивостью фоновой стратификации под влиянием приливных процессов (см. рис. 2). Полигон № 2 оказался более спокойным, причем ВВ регистрировались в основном в фазу отлива, когда в районе работ, по данным полигонной съемки, наблюдался язык стокового Двинского течения в 10-метровом верхнем слое, хотя фоновая стратификация сохранялась весь период сканирования. На полигоне № 3, где приливные течения относительно слабы (до 40 см/с), было зарегистрировано всего несколько невыраженных ВВ, что свидетельствует о незначительном вкладе ВВ в изменчивость термохалинных характеристик в этом районе, по крайней мере в период наблюдений.

Таблица

Характеристики короткопериодных ВВ по данным экспедиционных наблюдений 2014 г.

Полигон	Время сканирования, ч	Характеристики волнения						
		$h_{\text{ср}}, \text{ м}$	$h_{\text{max}}, \text{ м}$	$h_{\text{мод}}, \text{ м}$	$\lambda_{\text{ср}}, \text{ м}$	$\tau_{\text{ср}}, \text{ мин}$	$C_{\text{ф ср}}, \text{ м/с}$	Кол-во
1	24,6	4,5	14,5	2,9	377	14	0,26	72
2	25	1,8	7	2,4	625	16	0,38	42
3	8	0,5	0,6	0,5	1381	26	0,53	7

Местоположение полигона № 3 в Двинском заливе (см. рис. 1) выбиралось по данным поискового гидрологического разреза, выполненного в центральной части Двинского залива и пересекающего зону стокового Двинского фронта. Ранее, на основании результатов спутниковых радиолокационных наблюдений было установлено, что вихри являются распространенным явлением на акватории Двинского залива [2]. Всего на спутниковых снимках 2009–2012 гг. Двинского залива было обнаружено 8 антициклонических и 34 циклонических вихревых образования, типичные радиусы которых составляли от 4 до 6 км. Вихри циклонического вращения чаще наблюдались в восточной части залива, а антициклонического — в его северной и центральной частях.

На полигоне № 3, расположенном в 10 км к юго-востоку от фронтальной зоны, отмечалась ярко выраженная двухслойная структура вод, где в отличие от полигона № 1 верхний слой ассоциируется с распресненными водами, образующимися под действием стока р. Северная Двина. Пикноклин располагался на глубинах от 10 до 20 м. Как было установлено, изменчивость термохалинных характеристик в районе работ была связана с динамикой небольшого вихревого образования, о чем свидетельствуют приведенные на рис. 4 горизонтальные поля температуры на глубине 10 м по результатам трех микромасштабных съемок, выполненных 26 и 27 июля.

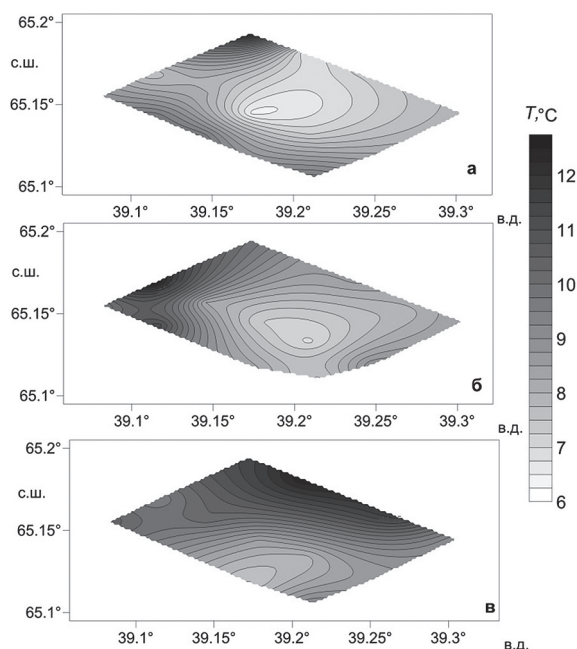


Рис. 4. Распределение температуры на горизонте 10 м по данным микрополигональных океанографических съемок: а — с 10:40 до 13:40 26.07.2014; б — с 14:30 до 17:30 26.07.2014; в — с 8:00 до 11:20 27.07.2014

На горизонте 10 м на этой небольшой акватории температура менялась на 5°C (см. рис. 4а), соленость — на $0,7\text{‰}$. При этом максимальный горизонтальный градиент гидрологических характеристик прослеживается в центральной части полигона. По результатам первой съемки (с 10:40 по 13:40 26 июля) в центре полигона наблюдалась ядро холодных и соленых вод диаметром около 3 км, что вероятно связано с подъемом вод в циклоническом субмезомасштабном вихре. Он прослеживался до глубины 13,5 м. Вторая съемка выполнялась через час после завершения первой (с 14:30 по 17:30 26 июля). По ее результатам видно, что циклонический вихрь смещается к югу, а его характеристики (кроме вертикального размера) в целом сохраняются. На третьей съемке, выполнявшейся через 13 ч после второй, вихрь в пределах полигона уже не прослеживается (не наблюдается замкнутой изотермы).

Дальнейший анализ данных экспедиционных наблюдений, требующий привлечения дополнительной метеорологической и доступной спутниковой информации вместе с результатами моделирования приливной динамики, выходит за рамки данной статьи.

В ходе экспедиционных работ в Белом море были отработаны элементы методики мониторинга короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и пополнены базы данных о гидрофизических характеристиках и их изменчивости в некоторых районах моря. Районы работ 2014 г. выбирались в соответствии с предполагаемым расположением зон повышенной внутриволновой и/или вихревой активности, что

определялось путем предварительного анализа данных предыдущих экспедиций и архивной спутниковой информации. В целом сделанные предположения оправдались, и в выбранных районах были получены новые данные о короткопериодной и субмезомасштабной изменчивости. В проливе с сильными приливными течениями, расположенном к западу от о-вов Соловецкого архипелага, изменчивость термохалинных характеристик определялась преимущественно приливными колебаниями и интенсивными короткопериодными ВВ. В северо-восточной части Двинского залива вблизи Горла эта изменчивость была связана не только с влиянием ВВ, но и с динамикой гидрологического фронта под влиянием прилива. В центральной части залива, где приливные течения относительно слабы, был обнаружен нестационарный циклонический вихрь с диаметром около 3 км и временем существования не меньше половины приливного периода. Динамика этого вихря существенно трансформировала характеристики вод в небольшой области вблизи фронтальной зоны.

Данная работа частично была выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 15-05-04639_а.

Литература

1. *Абузаров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С.* Оперативное океанографическое обслуживание. — М.-Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. — 287 с.
2. *Атаджанова О.А., Зимин А.В., Козлов И.Е.* Статистический анализ субмезомасштабных вихрей Белого моря по радиолокационным изображениям. // Труды XII Всероссийской конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». — СПб.: «Нестор-История», 2014, с. 215–217.
3. *Атаджанова О.А., Жегулин Г.В., Зимин А.В., Зубкова Е.В., Козлов И.Е., Родионов А.А., Романенков Д.А.* Пространственно-временная изменчивость характеристик короткопериодных внутренних волн на акватории Белого моря. // Труды XII Всероссийской конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». — СПб.: «Нестор-История», 2014, с. 36–40.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Под ред. Б.Х. Глуховского. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 240 с.
5. *Зимин А.В.* Внутренние волны на шельфе Белого моря по данным натурных наблюдений. // Океанология, 2012, т. 52, № 1, с. 16–25.
6. *Зимин А.В., Родионов А.А., Шапрон Б., Романенков Д.А., Здоровеннов Р.Э., Козлов И.Е., Мясоедов А.Г., Шевчук О.И.* Работы с научно-исследовательского судна «Эколог» по проекту «МЕГАГРАНТ» в Белом море, выполненные в июле-августе 2012 г. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 281–285.
7. *Зимин А.В.* Короткопериодная изменчивость гидрофизических полей и характеристик внутреннего волнения в течение полусуточного приливного цикла в шельфовых районах Белого моря. // Океанология, 2013, т. 53, № 3, с. 293–303.
8. *Зимин А.В.* Методика выполнения натурных экспериментов по исследованию короткопериодных внутренних волн в морях Северо-Европейского бассейна. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013621214 от 24.09.2013.
9. *Зимин А.В., Родионов А.А., Жегулин Г.В.* Короткопериодные внутренние волны на шельфе Белого моря: сравнительный анализ наблюдений в различных районах. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2013, т. 6, № 3, с. 19–33.
10. *Зимин А.В., Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Мясоедов А.Г., Коллар Ф.* Короткопериодные внутренние волны в Белом море: оперативный подспутниковый эксперимент летом 2012 г. // Исследование Земли из космоса, 2014, № 3, с. 41–55.
11. *Зимин А.В., Романенков Д.А., Родионов А.А., Жегулин Г.В., Родионов М.А.* Экспедиционные исследования короткопериодной изменчивости гидрофизических полей Белого моря в августе 2013 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014, т. 7, № 1, с. 85–92.

12. Карлин Л.Н., Чанцев В.Ю., Хаймина О.В., Данышина А.В., Исаев А.В. Особенности динамической структуры вод прибрежной зоны Туапсе. // Учёные записки РГГМУ, 2009, № 11, с. 113–122.
13. Козлов И.Е., Кудрявцев В.Н., Зубкова Е.В., Атаджанова О.А., Зимин А.В. и др. Районы генерации нелинейных внутренних волн в Баренцевом, Карском и Белом морях по данным спутниковых РСА измерений. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, т. 11, № 4, с. 338–345.
14. Лаврова О.А. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. — М.: ИКИ РАН, 2011. — 480 с.
15. Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 262 с.
16. Родионов А.А., Романенков Д.А., Зимин А.В., Козлов И.Е., Шапрон Б. Субмезомасштабные структуры вод Белого моря и их динамика. Состояние и направления исследований. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014, т. 7, № 3, с. 29–41.
17. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 725 с.
18. Серебряный А.Н., Пака В.Т., Корж А.О. Исследование с помощью ADCP течений и внутренних волн в Белом море. // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. — М.: «ГЕОС», 2009, с. 245–250.
19. Чанцев В.Ю., Данышина А.В. Субмезомасштабная структура динамики прибрежных вод в районе Туапсе. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 153–163.
20. Kozlov I., Romanenkov D., Zimin A., Chapron B. SAR observing large-scale nonlinear internal waves in the White Sea. // Remote Sensing of Environment, 2014, vol. 147, pp. 99–107. — DOI:10.1016/j.rse.2014.02.017.

С.М. Гордеева, А.А. Соколов

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНОГО БАЛАНСА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

S.M. Gordeeva, A.A. Sokolov

THE CLIMATOLOGICAL ESTIMATE OF WATER BALANCE OF THE NORWEGIAN SEA

Рассматриваются средние оценки интегральных по площади потоков воды на горизонтальных и вертикальных границах бассейна Норвежского моря до глубины 579 м за период 1980–2008 гг. Показано, что Северо-Атлантическое течение поступает в бассейн Норвежского моря преимущественно через южную и западную открытые границы, а уходит через восточную и северную границы. Отмечается недостаток воды, который отражается в пониженном относительно Мирового океана уровне поверхности моря. Невязка водного баланса мала и составляет 1,5 %, что отражает хорошее качество модели реанализа CARTON-GIESE SODA, из которой взяты исходные данные, и показывает адекватность этой базы данных на региональном уровне.

Ключевые слова: водный баланс, Норвежское море, Северо-Атлантическое течение, потоки массы, CARTON-GIESE SODA Reanalysis.

The averaged area integrated water flux estimates on horizontal and vertical boundaries of the Norwegian Sea basin limited by 579 m depth for the period 1980–2008 are considered. It was found that the North Atlantic Current flows into the basin mainly through the southern and western open boundaries and goes out through the eastern and northern boundaries. Water deficiency was noticed in the mass balance of the basin, which is reflected in reduced level of the sea surface compared to the World Ocean. The water balance residual is small and amounts to 1,5 %, which reflects decent quality of the CARTON-GIESE SODA reanalysis model, which was used as an original data source, and proves the database adequacy at the regional scale.

Key words: water balance, Norwegian Sea, North-Atlantic current, mass fluxes, CARTON-GIESE SODA Reanalysis.

Введение

Норвежское море — один из наиболее интересных в динамическом отношении районов Мирового океана. Это, прежде всего, связано с транзитом через него Северо-Атлантического течения, которое является ключевым звеном механизма формирования климата в Северной Атлантике и Европе [1]. Кроме того, изменчивость характеристик поверхности моря, связанная с динамикой Северо-Атлантического течения, оказывает непосредственное влияние на изменение количества испарившейся влаги в атмосферу, которая в дальнейшем под действием западных ветров с циклонами переносится на Европейскую часть России и формирует погоду в этом регионе [6]. Поэтому

оценка водного баланса Норвежского моря, который здесь в основном определяется адвекцией массы через бассейн, несомненно, является интересной задачей.

Уравнение водного баланса Норвежского моря с открытыми внешними границами можно представить в следующем виде [3]:

$$\Delta V = U + W + E_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где ΔV — изменение объема моря за конкретный период времени; U — горизонтальные потоки массы по периметру бассейна; W — вертикальный поток массы через нижнюю границу; $E_{\text{эф}}$ — эффективное испарение с поверхности, равное разности испарения E и осадков P .

Водный баланс кроме объемной характеристики можно выразить через приращение слоя воды (уровня) ΔH на поверхности моря, так как

$$\Delta V = \Delta H \cdot S, \quad (2)$$

где S — площадь поверхности бассейна.

Цель данной работы состоит в оценке этих составляющих водного баланса в среднем за период с 1980 по 2008 г.

Район и материалы исследования

Район исследования в Норвежском море представляет собой трапецию в крайних географических координатах 60–70° с.ш. и 5° в.д. — 15° з.д. Площадь района составляет $1,06 \times 10^6$ км², периметр — 3628 км.

Исходные данные взяты из базы данных CARTON-GIESE Simple Ocean Data Assimilation (SODA) Reanalysis Международного Исследовательского Института Климата и Общества Колумбийского университета города Нью-Йорк (США) (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>). Основной массив среднемесячных данных о температуре и солености базы данных SODA состоит примерно из 7×10^6 глубоководных профилей, две трети из которых были получены из Атласа Мирового океана 2001 с обновлением до декабря 2004 г. Этот массив данных был расширен с помощью наблюдений оперативных профилей температуры архива the National Oceanographic Data Center/NOAA, в том числе наблюдений из TAO/Triton и ARGO-дрифтеров, а также дополнен альтиметрическими наблюдениями за уровнем моря. Также в базе данных SODA Reanalysis представлены значения скоростей течений на отдельных горизонтах во всей толще воды, рассчитанные по модели на основе глубоководных наблюдений [14]. Из базы выбирались горизонтальные скорости течения на 4-х разрезах по периметру района: северный — по параллели 70° с.ш., южный — по параллели 60° с.ш., западный — по меридиану 15° з.д. и восточный — по меридиану 5° в.д.

После исследования вертикального распределения горизонтальных составляющих скоростей течений на разрезах оказалось, что интенсивные потоки воды располагаются

в приповерхностном слое и на глубине ниже 500 м их скорость практически везде не превышает 4 см/с. Это соответствует и наблюдениям других авторов [9, 21]. Поэтому за нижнюю границу динамического слоя был принят горизонт 579 м (1900 футов), ближайший, на котором представлены данные архива SODA. Значения горизонтальных составляющих скоростей течений на разрезах были выбраны на 20 горизонтах от поверхности до этой глубины. Кроме того, по площади района в пространственной сетке через $0,5^\circ$ выбирались вертикальные скорости течений на нижнем горизонте (579 м), а также значения уровня поверхности моря по альтиметрическим наблюдениям.

Для замыкания уравнения водного баланса использовались компоненты пресного баланса: осадки (P) и испарение (E), выбранные из архива реанализа CDAS (Climate Data Assimilation System), который является частью глобальной базы гидрометеорологических данных NOAA NCEP/NCAR Reanalysis-1 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/>) [20]. Этот архив содержит разнообразные среднемесячные данные с 1949 г. в узлах широтно-долготной сетки $1,875 \times 1,905^\circ$ и оперативно пополняется с очень небольшим запаздыванием во времени. По разности испарения и осадков рассчитывалось эффективное испарение $E_{\text{эф}}$.

Все данные, с 1980 по 2008 г. были усреднены за этот период ($n = 29$ лет) и рассматриваются как климатические. Следует отметить, что при таком усреднении не учитываются макротурбулентные потоки воды, вклад которых в данном районе не может быть малым, учитывая присутствие такого интенсивного течения, как Северо-Атлантическое.

По значениям скоростей течений были рассчитаны с учетом площадей интегральные потоки через нижнюю и боковые поверхности объема бассейна. Все компоненты водного баланса выражались как в объемных единицах (Свердрупях, $1 \text{ Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$, или $\text{км}^3/\text{мес}$), так и в величинах слоя воды, отнесенной к площади поверхности акватории ($\text{мм}/\text{с}$ или $\text{м}/\text{мес}$).

Обсуждение результатов

Внимание к водообмену Норвежского моря с Северной Атлантикой обычно направлено на естественные границы моря: Фареро-Исландский порог и Фареро-Шетландский канал. Учитывая, что через Фареро-Шетландский канал проходит вековой океанографический разрез, 100-летие которого отмечалось в 1993 г. [11], этот район очень хорошо обеспечен информацией о потоках воды через эту границу. Оценки величины этих потоков рассматриваются в многочисленных научных исследованиях, например [2, 8, 10, 17, 19, 21, 22, 25], некоторые из них приведены в табл. 1. Нужно отметить, что в последние годы измерения производятся на новой приборной базе: измерителями ADCP [13, 18], глайдерами [12], а также на основе альтиметрических данных [16, 17].

Как отмечено в [22] и видно из табл. 1, оценки суммарного переноса через южную границу моря разных исследователей достаточно сильно различаются, от 2 до 8 Св. Это, прежде всего, объясняется различной приборной базой и различными периодами времени исследований. Однако можно отметить, что в последние годы величина потоков оценивается несколько большей, чем ранее, что может быть связано с улучшением качества наблюдений.

Таблица 1

Оценки потоков воды на границах Норвежского моря

Границы бассейна	Величина потока, Св
Южная (данная работа)	5,0
Северная (данная работа)	4,3
Западная (данная работа)	3,2
Восточная (данная работа)	4,8
Фареро-Исландский порог [25]	2,3
Фареро-Шетландский канал (1988–1989) [23]	1,2–1,6
Фареро-Шетландский пролив (модель ИВМ РАН на основе климатических данных) [8]	1,5±2,3
Фареро-Шетландский пролив (1994–2005) [18]	3,3±4,0
Фареро-Шетландский пролив (1998–2008) [13]	3,0±2,0
Фареро-Шетландский пролив (1995–2007) [15]	1,7±0,2
Фареро-Исландский порог [24]	3,8
Фареро-Шетландский канал [24]	3,8
Фареро-Исландский порог (1993–2011) [19]	3,5
Фареро-Шетландский канал (1993–2011) [19]	4,1

Полученное в данной работе распределение интегральных потоков воды через боковые границы бассейна представлены на рис. 1 и в табл. 1. Как видно из рис. 1, в среднем за период с 1980 по 2008 г. в исследуемом районе потоки водных масс через боковые границы бассейна представляют собой струи разного направления. О существовании струй в этом районе неоднократно упоминалось разными исследователями [2, 9]. Преобладающим горизонтальным потоком здесь является Северо-Атлантическое течение, воды которого устремляются к северу практически вдоль всей южной границы, а также через западную границу — между Исландией и Фарерскими о-вами.

Из рис. 1 видно, что преобладающими потоками через восточную границу является две струи восточного направления, которые в центральной части разреза достигают величины 2 Св, а в северной части разреза отмечается поток западного направления до 1,5 Св. В целом вынос воды через восточную границу составляет 4,8 Св. Существование двух струй отражает известный факт, что Норвежское течение разделяется над Норвежским плато (примерно на 66–67° с.ш. и 3° в.д.) на две ветви [4]. Поток, проходящий через западную границу, имеет две ярко выраженные струи с противоположными направлениями на широтах 61–64° с.ш., одна из которых направлена на восток с величиной 1,6 Св, а вторая — на запад (1,3 Св) и связана с Восточно-Исландским течением. Суммарный внос через западную границу составляет 3,5 Св. На северной границе района выходящий поток атлантической воды относительно невелик и наиболее выражен в её восточной части (до 0,7 Св). Южная граница является основной зоной, через которую Северо-Атлантическое течение поступает в Норвежское море. Практически по всей её протяженности потоки имеют северное направление и отдельные струи, расположенные напротив основных проходов (Фареро-Шетландского и Фареро-Исландского), достигают 1,1 Св. Несмотря на небольшую скорость отдельных

струй, общий перенос через южную границу составляет 5 Св и является максимальным потоком, входящим в водоем.

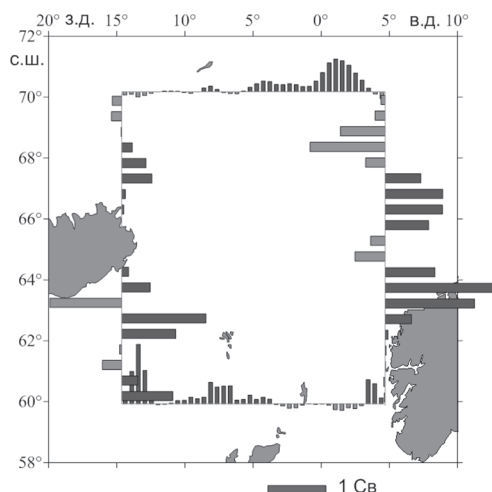


Рис. 1. Распределение интегрированных по вертикали (от 0 до 579 м глубины) в каждой точке сетки горизонтальных потоков воды через боковые границы бассейна

Как видно из табл. 1, оценки интегральных потоков воды через границы бассейна за период с 1981 по 2008 г. в целом соответствуют результатам, полученным ранее другими исследователями, суммарный поток через южную и южную часть западной границы, соответствующий суммарному потоку через Фареро-Исландский порог и Фареро-Шетландский канал, составляет 7,6 Св.

Вертикальные скорости в Норвежском море на горизонте 576 м имеют максимальные значения вдоль Фареро-Исландского порога с максимумом 0,016 см/с (рис. 2). Направление вертикальных перемещений вдоль порога определяется направлениями соответствующих струй основных течений: в восточной части порога вертикальный поток направленный вверх, сменяется потоком вниз, так как он определяется Северо-Атлантическим течением, идущим с юга, а в западной части порога так же ведет себя Восточно-Исландское течение, идущее с севера. В целом по бассейну вертикальные скорости на нижней границе имеют разные направления, невелики и не превышают 0,002 см/с. Это свидетельствует о том, что основные динамические процессы, происходящие в исследуемом бассейне, сосредоточены в вышележащих слоях. Однако, учитывая большую площадь района, интегральный поток через нижнюю границу может быть значительным.

Уровень поверхности исследуемого бассейна Норвежского моря (рис. 3) в целом ниже среднего уровня Мирового океана и отражает рельеф дна района. Высокий уровень поверхности отмечается в южной и, особенно, в юго-восточной части района, там, где находится шельфовая зона, а низкий уровень — в зоне Лафотенской котловины. Подобное распределение уровня, скорее всего, определяется стерическими эффектами [19], а понижение уровня в северо-западной части бассейна отражает наличие

там квазистационарного антициклонического круговорота, вызывающего опускание воды в своем центре (конвекцию) [5].

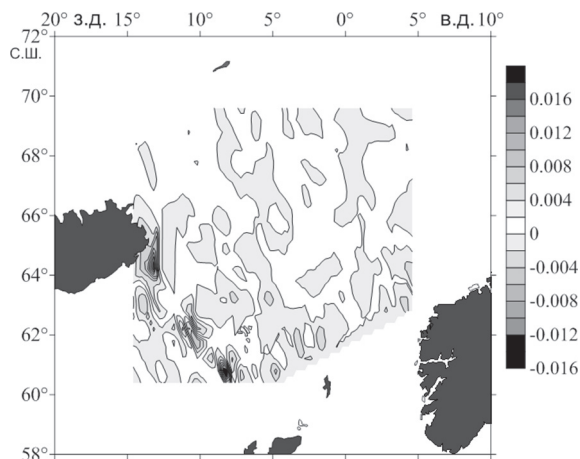


Рис. 2. Вертикальные скорости (см/с) на горизонте 576 м, средние за период 1980–2008 гг. (положительные значения указывают направление вверх)

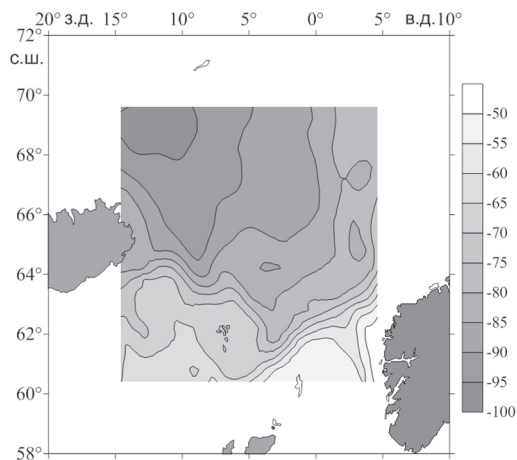


Рис. 3. Уровень поверхности Норвежского моря (см), средний за период 1980–2008 гг.

В Норвежском море наблюдается выраженная дипольная структура пространственной изменчивости эффективного испарения (рис. 4): вдоль восточной границы бассейна, от Фареро-Шетландского канала до северо-восточной части бассейна, испарение преобладает над осадками с максимумом 69 мм/мес. Это связано с

непосредственным прохождением там тёплых вод Северо-Атлантического течения и формирует, собственно, очаг Норвежской энергоактивной зоны.

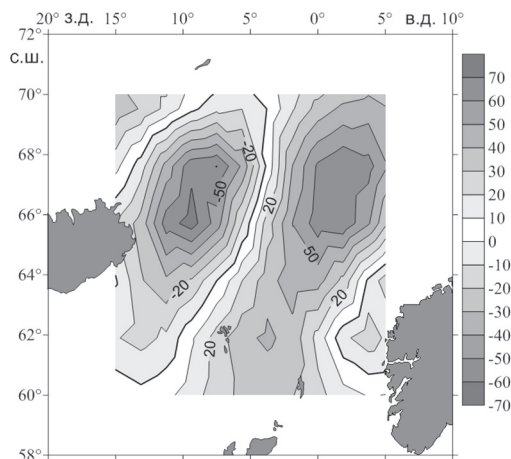


Рис. 4. Эффективное испарение с поверхности Норвежского моря (мм/мес), среднее за период 1980–2008 гг.

На западе и северо-западе наоборот, осадки преобладают над испарением с максимумом 65 мм/мес. В связи с присутствием в районе исследования двух очагов противоположного действия примерно одинаковой интенсивности интегральное по площади эффективное испарение с поверхности моря очень невелико и показывает преобладание испарения над осадками со средней величиной 12 мм/мес. Эта величина, несомненно, сравнима с невязкой определения компонентов эффективного испарения и определяется, прежде всего, выбором района исследования. Этим также объясняется и отличие от результатов других авторов, указывающих, что в Норвежском море осадки преобладают над испарением [6, 7]

Далее все компоненты водного баланса пересчитывались на величину слоя поверхности бассейна в соответствии с формулой (2), т.е. если за месяц в бассейн приносится несколько кубометров воды, то она может сформировать на поверхности слой конкретной толщины. Такие оценки для всех компонентов водного баланса Норвежского моря представлены в табл. 2 и на рис. 5. На рис. 5 также показана схема водного баланса района исследований. Из рис. 5 видно, что входящие потоки с южной стороны приносят в регион больше воды, чем с запада. Вынос воды происходит с восточной стороны больше, чем с северной. Таким образом формируется основная струя переноса — с южной границы на восточную.

Из табл. 2 видно, что в водном балансе бассейна Норвежского моря преобладают горизонтальные потоки: общий объем воды, входящий в регион, в пересчете на толщину слоя поверхности составил 21,89 м/мес, а выходящий — 22,31 м/мес. Они составляют 95 % и 102 % от объема входящей воды соответственно. Вертикальная скорость на нижней границе региона вносит в объем еще 5 % воды. Так как для оценки

интегрального эффективного испарения район исследования оказался нерепрезентативным, как указано выше, оно по сравнению с адвективными потоками несоизмеримо мало и составляет 0,05 %. При другом выборе района $E_{\text{эф}}$ могло бы быть сравнимо с потоком воды на нижней границе.

Таблица 2

Составляющие водного баланса в бассейне Норвежского моря, средние за период 1980–2008 гг.

Характеристика	Величина слоя воды поверхности бассейна	
	м/мес	%
Входящий поток		
Через западную границу	8,57	39
Через южную границу	12,20	56
Через нижнюю границу	1,12	5
Сумма	21,89	100
Выходящий поток		
Через восточную границу	11,77	54
Через северную границу	10,53	48
Эффективное испарение	0,012	0,05
Сумма	22,31	102,05
Водный баланс		
Разность входящих и выходящих потоков	–0,42	–2,05
Уровень моря	–0,76	–3,5
Невязка	0,34	1,5

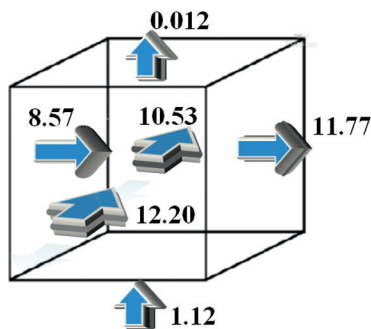


Рис. 5. Схема средних за 1980–2008 гг. потоков воды через границы в пересчете на толщину слоя на поверхности бассейна Норвежского моря, м/мес

В целом, в выбранный район воды приходит меньше, чем из него выходит. Разность составляет 2,05 %, так что можно ожидать, что недостаток воды отразится в уровне моря, который должен быть ниже в среднем на 42 см. Однако средний уровень

моря ниже ожидаемого еще на 34 см, что составляет невязку 1,5 %. Таким образом, в бассейне отмечается недостаток воды.

Таким образом, рассчитанные компоненты водного баланса исследуемого бассейна Норвежского моря практически полностью определяются качеством исходной модели реанализа CARTON-GIESE SODA (из которой взяты все исходные данные, кроме $E_{эф}$), рассчитанная невязка в 1,5 % является достаточно малой, чтобы утверждать адекватность оценок динамической структуры этой базы данных на региональном уровне. Кроме того, невязка баланса также отражает сумму не учитываемых компонентов. В данном случае не учитывались, прежде всего, горизонтальные макротурбулентные потоки воды. Возможно, они имеют разные знаки, вследствие чего невязка мала.

Выводы

При оценке компонентов водного баланса Норвежского моря, среднемноголетних для периода 1980–2008 гг., было выявлено, что вода Северо-Атлантического течения с преобладающим направлением переноса с юга на восток поступает в бассейн Норвежского моря преимущественно через южную и западную открытые границы, а также через нижнюю границу на глубине 576 м в объемном выражении 7,56 Св или 20,8 м/мес, а уходит через восточную и северную границы — 8,12 Св или 22,3 м/мес. Таким образом, в бассейне формируется недостаток воды, который отражается в пониженном относительно Мирового океана уровне поверхности моря.

Невязка водного баланса мала и составляет 1,5 %, что отражает хорошее качество модели реанализа CARTON-GIESE SODA, из которой взяты исходные данные, и показывает адекватность этой базы данных на региональном уровне.

Литература

1. *Алексеев Г.В., Николаев Ю.В., Романцов В.А.* Норвежская энергоактивная зона океана. // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы», 1985, т. 5, с. 45–62.
2. *Валерианова М.А., Новикова Е.М.* Об изменчивости гидрологических условий в южной части Норвежского моря. // Труды ЛГМИ, 1964, вып. 3, с. 3–11.
3. *Гордеева С.М., В.Н. Малинин.* О межгодовой изменчивости компонентов водного баланса Балтийского моря. // Современные проблемы гидрометеорологии. Сборник научных трудов. РГГМУ, 1999, вып. 123, с. 64–80.
4. *Залогин Б.С., Косарев А.Н.* Моря. Природа Мира. — М.: Мысль, 1999. — 402 с.
5. *Иванов В.В.* Структурообразующие гидрофизические процессы в приатлантической Арктике: Дис... докт. физ.-мат. наук. — М., 2012. — 243 с.
6. *Малинин В.Н.* Водный баланс атмосферы в Норвежской энергоактивной зоне. // Труды ЛГМИ, 1986, вып. 93, с. 99–113.
7. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик (на примере Северо-Европейского бассейна). — Мурманск: изд-во ПИНРО, 2003. — 164 с.
8. *Мошонкин С.Н., Филюшкин Б.Н.* Влияние придонных гравитационных течений в проливах на водные массы Северной Атлантики. // Водные массы океанов и морей (к 100-летию А.Д. Добровольского). — М.: «МАКС пресс», 2007, с. 130–146
9. *Сентягов Е.В.* Межгодовые изменения океанографических условий в Норвежском море и их влияние на распределение пелагических рыб: Дис.... канд. геогр. наук. — СПб., 2009. — 171 с.
10. Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне. Под ред. Г.В. Алексеев и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 128 с.

11. *Tappell U.P.* Изменения в оттоке вод из северных морей по результатам 100-летнего периода океанографических наблюдений в Фареро-Шетландском канале. // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. — Мурманск: изд-во ПИНРО, 2005, с. 101–114.
12. *Beaird N.L., Rhines P.B., Eriksen C.C.* Overflow Waters at the Iceland–Faroe Ridge Observed in Multiyear Seaglider Surveys. // *J. Phys. Oceanogr.*, 2013, vol. 43, pp. 2334–2351.
13. *Berx B.* The hydrography and circulation of the Faroe-Shetland Channel: a century of research. // *Ocean Challenge*, 2012, vol. 19, pp. 15–19.
14. *Carton J.A., Giese B.S.* A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). // *Mon. Wea. Rev.*, 2008, vol. 136, pp. 2999–3017. — DOI:10.1175/2007MWR1978.1.
15. *Friedrichs A., Quadfasel D., Jochumsen K., Nunes N.* An analysis of the velocities in the Faroe-Shetland Channel in VIKING20. // North Atlantic Climate Variability, 24–26 September 2012, IfM Hamburg, ZMAW.
16. *Hansen B., Hátún H., Larsen K.M.H., Kristiansen R., Mortensen E., Østerhus S.* Atlantic water flow between Iceland and Faroes 2012–2013. // *Havstovan*, Technical Report, Nr. 14–02. 2014. — Электронный ресурс: [<http://www.hav.fo/PDF/Ritgerdir/2014/TecRep1402.pdf>].
17. *Hatun H., McClimans T.A.* Monitoring the Faroe Current using altimetry and coastal sea-level data. // *Continental Shelf Research*, 2003, vol. 23, pp. 859–868.
18. *Hughes S.L., Turrell W.R., Hansen B., Østerhus S.* Fluxes of atlantic water (volume, heat and salt) in the Faroe-Shetland channel calculated from a decade of acoustic doppler current profiler data (1994–2005). // Fisheries Research Services collaborative report, no. 01/06, Marine Laboratory. — Aberdeen, 2006.
19. *Johannessen J.A., Raj R.P., Nilsen J.E.Ø., Pripp T., Knudsen P., Counillon F., Stammer D., Bertino L., Andersen O.B., Serra N., Koldunov N.* Toward Improved Estimation of the Dynamic Topography and Ocean Circulation in the High Latitude and Arctic Ocean: The Importance of GOCE. // *Surv. Geophys.*, 2014, vol. 35, pp. 661–679. — DOI:10.1007/s10712-013-9270-y.
20. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D.* The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, vol. 77, pp. 437–471.
21. *Mork K.A., Blindheim J.* Variations in the Atlantic inflow to the Nordic Seas, 1955–1996. // *Deep-Sea Research*, part I, 2000, vol. 47, pp. 1035–1057.
22. *Pistek P., Johnson D.R.* Transport of the Norwegian atlantic current as determined from satellite altimetry. // *Geoph. Res. Lett.*, 1992, vol. 19, no. 13, pp. 1379–1382.
23. *Schlichtholz P., Jankowski A.* Hydrological regime and water volume transport in the Faeroe-Shetland Channel in summer of 1988 and 1989. // *Oceanologica Acta*, 1993, vol. 16, no. 1, pp. 11–22.
24. *Seagliders In Faeroese Waters: Project proposal.* 2005. — Электронный ресурс: [<http://www.hav.fo/PDF/hjalmar.pdf>].
25. *Tait J.B.* Hydrography of the Faroe Shetland Channel 1927–1952. // *Mar. Res. Scot.*, 1957, no. 2. — 309 p.

С.П. Смышляев, А.И. Погорельцев, Е.А. Дробашевская, А.Ю. Канухина

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЗОНОВЫЕ АНОМАЛИИ В АРКТИКЕ

S.P. Smyshlyaev, A.I. Pogoreltsev, E.A. Drobashevskaya, A.Yu. Kanukhina

DYNAMICAL PROCESSES IMPACT ON THE ARCTIC OZONE DEPLETION

Для исследования причин межгодовой изменчивости весенних озоновых аномалий в Арктике был проведен анализ наземных и спутниковых данных общего содержания озона, температуры, потенциальной завихренности и параметров планетарных волн за период с 1997 по 2013 г.

Ключевые слова: Арктика, озоновые дыры, циркумполярный вихрь, внезапные стратосферные потепления.

An analysis of ground-based and satellite observation has been performed to study the reasons for inter-annual variability of the arctic spring ozone holes. Column ozone, temperature, potential vorticity and planetary waves parameters variability has been tested for the 1997–2013 period.

Key words: Arctic, ozone hole, polar vortex, sudden stratospheric warming.

В 1985 г. специалисты по исследованию атмосферы из Британской Антарктической Службы сообщили о неожиданном факте: весеннее содержание озона в атмосфере над станцией Халли-Бей в Антарктиде уменьшилось за период с 1977 по 1984 г. на 40 % [15]. Вскоре этот вывод подтвердили другие исследователи, показавшие также, что область пониженного содержания озона простирается за пределы Антарктиды и по высоте охватывает слой от 12 до 24 км [8, 11, 12, 13, 16], т.е. значительную часть нижней стратосферы. Полагалось, что озоновая дыра возникла в результате антропогенных воздействий, в том числе широкого использования в промышленности и быту хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих озоновый слой [15]. Чтобы предотвратить дальнейшее уменьшение общего содержания озона (ОСО) в 1985 г. принята Венская конвенция об охране озонового слоя, в 1987 г. — Монреальский протокол, вступивший в силу 1 января 1989 г. С тех пор протокол подвергался пересмотру семь раз: в 1990 г. (Лондон), 1991 г. (Найроби), 1992 г. (Копенгаген), 1993 г. (Бангкок), 1995 г. (Вена), 1997 г. (Монреаль) и 1999 г. (Пекин). По состоянию на середину 2012 г. 197 государств ратифицировали первоначальную версию Монреальского протокола. Меры по прекращению использования ХФУ в производстве, четкий контроль за

состоянием озонового слоя способствуют постепенному его восстановлению, однако вновь наблюдаемые озоновые аномалии на обоих полюсах говорят о том, что проблема изучена не до конца и существуют другие причины возникновения озоновых дыр как в Антарктике, так и, особенно в последнее время, в Арктике [9, 18, 20]. Образование областей с очень низким содержанием озона в полярных районах несет угрозу для озона средних широт, так как после разрушения циркумполярного вихря (ЦПВ) полярный воздух перемешивается со среднеширотным и, как результат, содержание озона в средних широтах может также уменьшиться. На данный момент существуют множество гипотез, объясняющих появление озоновых дыр, однако все они признают важную роль как динамических, так и химических процессов [15, 20].

Химические гипотезы озоновой дыры основываются на экспериментально обнаруженном факте одновременного с уменьшением ОСО увеличения хлорсодержащих малых газовых составляющих [4, 8, 15, 20]. Вместе с резким уменьшением озона происходит также и охлаждение стратосферы, что может быть вызвано сильным вертикальным подъемом воздушных масс в нижней стратосфере [1, 5, 10]. Крайняя изоляция циркумполярного вихря ведет к охлаждению нижней стратосферы до крайне низких температур, в результате чего достигается состояние, близкое к радиационному равновесию и, следовательно, выхолаживание стремится к нулю [5]. Тогда при возвращении солнца весной возникают большие вертикальные скорости при нагреве стратосферы за счет полярных стратосферных облаков (ПСО), которые накладываются на систему меридиональной циркуляции [9]. Восходящие движения, во-первых, выносят в стратосферу более бедный озоном воздух из нижних слоев, а, во-вторых, способствуют более быстрому разрушению озона на больших высотах, где фотохимические реакции, разрушающие озон, протекают быстрее.

Другой механизм влияния динамических процессов на содержание озона в стратосфере может заключаться в том, что озоновая дыра возникает из-за уменьшения в зимнее время активности планетарных волн при возникновении циркумполярного вихря [6]. Из-за этого уменьшается нисходящее привнесение в полярные районы зимой и весной озона из средних широт, что, в совокупности с разрушением озона в течение длинной полярной ночи внутри циркумполярного вихря, ведет к образованию крайне низких концентраций озона. Кроме того, внезапные стратосферные потепления (ВСП) в значительной степени определяют интенсивность разрушения озона в полярных районах. ВСП, возникающие в результате взаимодействия распространяющихся из тропосферы в стратосферу планетарных волн с зональной циркуляцией [7], могут приводить к замедлению, а в некоторых случаях к изменению направления зонального ветра и увеличению температуры полярной стратосферы иногда на десятки градусов в течение нескольких суток [1]. Как показал еще А.Л. Кац [2], зимние ВСП следует считать нормальным процессом для стратосферы, который выражен тем резче, чем больше температурный контраст между экватором и полюсом. При этом потепления периодически осуществляются, усиливаясь по мере увеличения зимнего градиента температуры в стратосфере. Начиная приблизительно со второй половины декабря спокойный, в общем, режим циркуляции в отдельные годы подвергается исключительно резким изменениям, которые в одних районах в течение непродолжительного периода приводят к повышению температуры на 30–50° и смене западного ветра на

восточный, а в других, наоборот, к столь же значительным похолоданиям и не менее резким изменениям направления ветра.

В циркуляционном смысле в результате наиболее сильных (мажорных, или главных) ВСП стратосферный циркумполярный вихрь может значительно ослабнуть или произойти раздвоение центра ЦПВ с последующим существованием в течение более или менее длительного периода двух самостоятельных циклонических центров вместо одного [19]. Повторяемость и продолжительность существования двух центров в системе деформировавшегося полярного стратосферного циклона могут быть различными в разные годы. В одни годы раздвоение полярного стратосферного циклона происходит чаще, в другие — реже. Раздвоение стратосферного полярного вихря сопровождается изменениями поля температуры. При этом нередко происходит повышение температуры в средней стратосфере. В слое 20–30 км иногда температура достигает 250–260 К и даже 270 К, вместо обычных для зимы 200–210 К [14].

Значительный рост температуры в ходе ВСП приводит к уменьшению поверхности полярных стратосферных облаков [7], соответственно, снижается потенциал для весеннего разрушения озонового слоя в стратосфере. Например, в результате мажорного ВСП в январе 2010 г. деструкция озонового слоя в целом за весь зимний сезон была одной из самых минимальных за последние годы [3]. Как показывают результаты наблюдений, в Арктике мажорные ВСП происходят примерно 6–7 раз за 10 лет, хотя, например, с 1992 по 1998 г. в силу неизвестных причин мажорных ВСП не наблюдалось. В отличие от Арктики в Антарктике мажорное ВСП было зафиксировано только один раз за последние годы наблюдений. Причины межгодовой изменчивости состояния полярной стратосферы, оказывающей сильное влияние на озоновый слой, по-прежнему остаются неизвестными.

В настоящей работе на основании исследования результатов ре-анализа метеорологических характеристик UKMO, ECMWF и измерений характеристик газового состава MLS AURA была проанализирована эволюция циркумполярного вихря в зимне-весенний период над Арктикой в 2010–2011 гг., когда наблюдалась озоновая аномалия, и было произведено сравнение с эволюцией циркумполярного вихря и распределения малых газовых составляющих в зимне-весенний период над Арктикой в 2009–2010 гг., когда глобальные факторы, влияющие на состав атмосферы были схожи, а динамическая ситуация менялась.

На рис. 1 представлена изменчивость температуры на высоте 70 гПа, а также обозначена изменчивость границ циркумполярного вихря (сплошная коричневая линия) по значению потенциальной завихренности $5 \times 10^{-5} \text{ км}^2 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-1}$ на изоэнтропической поверхности 530 К. Как видно из рисунка, внутри ЦПВ температура остается низкой, ввиду того, что он изолирует обмен воздухом и массой с окружающим воздухом средних широт. В январе-феврале практически каждый год происходят внезапные стратосферные потепления, которые нарушают динамический баланс и разрушают циркумполярный вихрь. После стратосферного потепления разрушения вихрь может восстановиться и, как следствие, температура снова понизится, как было в 2011 г., а может и не восстановиться, и температура существенно не понижается, как это произошло в 2010 г. События ВСП могут развиваться за счет двух причин: усиления волновой активности в нижней атмосфере, которое сопровождается ростом потока волновой

активности из тропосферы в стратосферу (так называемый, классический сценарий) и/или из-за внутренних динамических процессов, т.е. взаимодействия волн со средним потоком на высотах стратосферы.

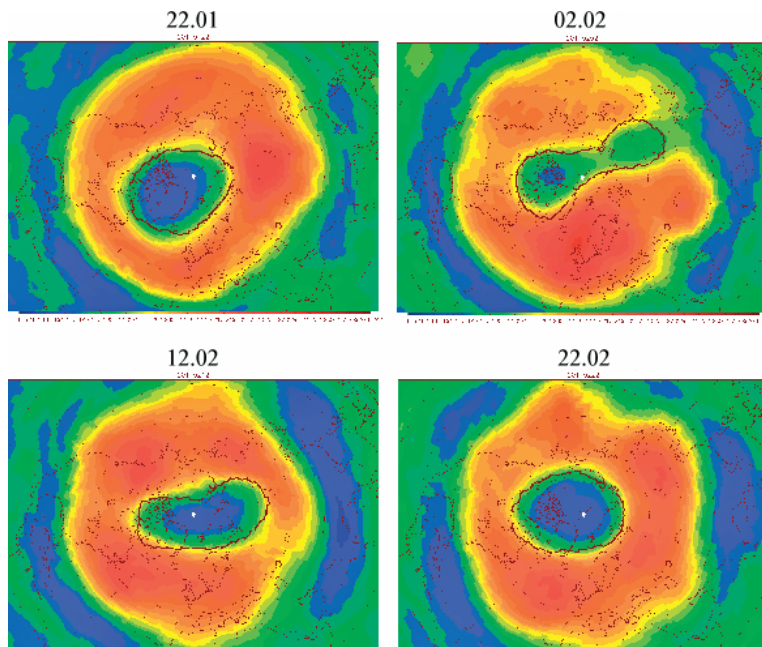


Рис. 1. Распределение температуры и границы ЦПВ в Северном полушарии в различные дни в 2011 г. по данным анализа ECMWF

Для анализа межгодовой и внутрисезонной изменчивости факторов, определяющих образование и устойчивость циркумполярного вихря, на рис. 2 приведено высотно-временное распределение амплитуды планетарной волны с волновым числом 1 на границе Арктики и Субарктики, скорости зонального ветра, а также температуры атмосферы вблизи Северного полюса. Сравнение верхних рисунков показывает, что в начале зимы, с декабря по январь динамическая ситуация развивается похожим образом для 2009–2010 и 2010–2011 гг. При этом зимой 2009–2010 гг. в нижней стратосфере (ниже 30 км) активность планетарных волн даже ниже, чем зимой 2010–2011 гг., что выражается в меньших амплитудах (верхний рисунок) и более низкой температуре (нижний рисунок). Скорость зонального ветра (средний рисунок) в начале и середине зимы устойчива для обоих периодов. В результате этого условия для изоляции зоны внутри циркумполярного вихря и формирования полярных стратосферных облаков формируются в начале зимы обоих исследуемых периодов.

В середине января и в 2010 и в 2011 г. происходило внезапное стратосферное потепление, что выражается в нарушении устойчивости зонального ветра (средний рисунок), в результате чего возникают потоки в поперечном направлении, т.е. начинается

обмен воздухом между средними и полярными широтами. Однако в 2011 г. влияние внезапного стратосферного потепления ощущается на высотах средней стратосферы, а в нижней стратосфере зональный ветер сохраняется. Это происходит из-за того, что активность планетарных волн в нижней стратосфере в 2011 г. ниже, чем в 2010 г., что выражается в более низких значениях амплитуды волны (верхний рисунок) в 2011 г. по сравнению с 2010 г.

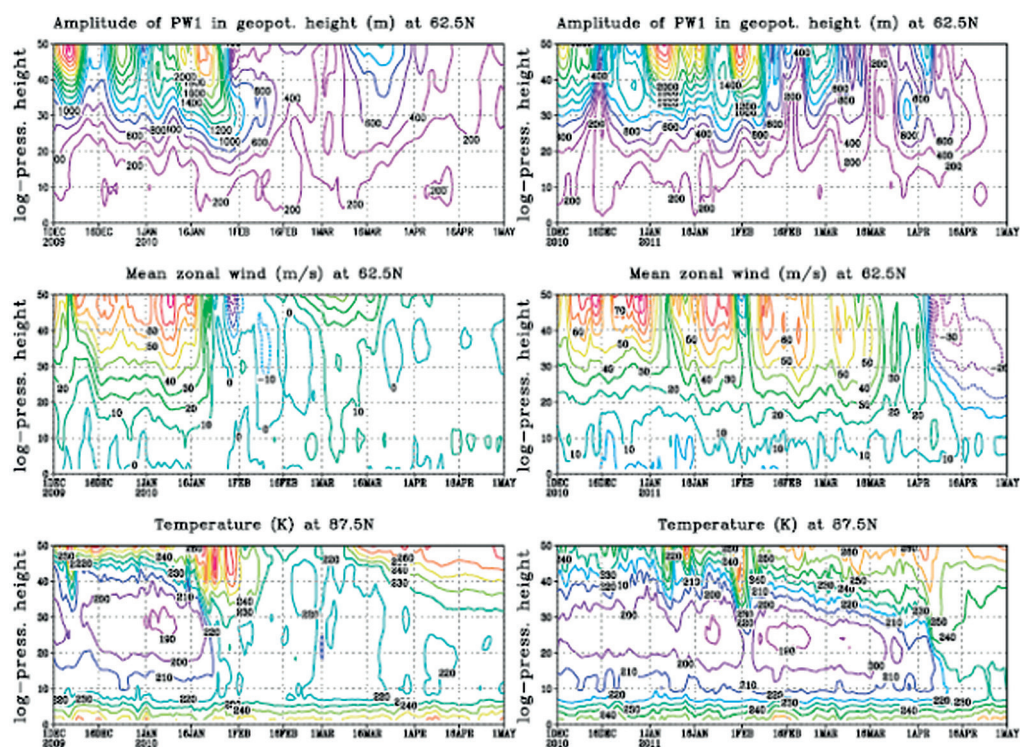


Рис. 2. Распределение характеристик, определяющих формирование арктического циркумполярного вихря зимой-весной 2009–2010 и 2010–2011 гг. по данным UKMO анализа

В результате в 2010 г. циркумполярный вихрь после внезапного стратосферного потепления из-за высокой активности планетарных волн (верхний рисунок) окончательно разрушается, скорость зонального ветра (средний рисунок) остается низкой, обмен воздухом между средними и полярными широтами сохраняется, а температура воздуха нижней стратосферы (нижний рисунок) сохраняется высокой. В результате этого образовавшиеся в первой половине зимы полярные стратосферные облака разрушились после ВСП, хлорная активация была слабой и разрушения озона не произошло.

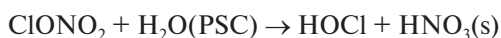
В 2011 г. из-за низкой активности планетарных волн (верхний рисунок) зональный ветер (средний рисунок) продолжал оставаться устойчивым, препятствуя обмену воздухом и массой между полярными и средними широтами. В результате этого температура

нижней стратосферы (нижний рисунок) продолжала опускаться, сохраняя условия для увеличения площади поверхности полярных стратосферных облаков с последующей хлорной активацией и разрушением озона после возвращения солнца весной.

Таким образом, можно предположить, что устойчивость циркумполярного вихря является ключевым параметром, определяющим понижение температуры полярной стратосферы, образование полярных стратосферных облаков и галогенную активацию на поверхности ПСО, а среди процессов, определяющих формирование, эволюцию и разрушение циркумполярного вихря ключевым является активность планетарных волн на границе Арктики и Субарктики.

Низкая планетарная активность на границе Арктики и Субарктики способствует формированию полярных стратосферных облаков первого и второго типа, физические и химические процессы на поверхности которых влияют на содержание малых газовых составляющих в атмосфере Арктики и Субарктики. Для азотосодержащих газов полярной стратосферы доминирующим газом является пар азотной кислоты, определяющим и содержание двуокси азота. Поэтому в настоящем исследовании изучалось и влияние полярных стратосферных облаков на пары азотной кислоты.

В течение зимы 2009–2010 гг., как видно из рис. 2, циркумполярный вихрь существовал только до внезапного стратосферного потепления, поэтому полярные стратосферные облака не сохранились до конца зимы, в результате чего, как видно из рис. 3, содержание паров азотной кислоты остается высоким, оксида хлора — достаточно низким, а озона высоким. При этом, даже в области низких температур (левый верхний рисунок) мгновенной реакции озона и других газов не происходит, так как процессы на поверхности полярных стратосферных облаков имеют инерционный характер и могут сказаться на содержании малых газов только после продолжающейся в течение продолжительного времени (не менее нескольких недель) хлорной активации, в результате которой хлорные компоненты переходят в оптически активную форму:



В результате этих гетерогенных реакций на поверхности полярных стратосферных облаков образуются компоненты Cl_2 и HOCl , которые способны распадаться при поглощении даже малых потоков солнечной радиации, которая появляется после возвращения Солнца по окончании полярной ночи. В 2010 г. указанные выше процессы гетерогенной хлорной активации происходят только до внезапного стратосферного потепления, а после него Cl_2 и HOCl размещаются воздушными потоками, так как циркумполярный вихрь разрушается. В результате этого сильной хлорной активации не происходит, а образующиеся хлорные компоненты нейтрализуются азотными составляющими из-за высокого уровня паров азотной кислоты (правый верхний рис. 3).

Зимой и весной 2011 г. в Арктике впервые наблюдалось очень существенное уменьшение ОСО — до значений менее 200 ед. Добсона. В начале апреля Всемирная

метеорологическая организация объявила, что количество озона в атмосфере Арктического региона этой зимой сократилось на рекордную величину — 40 %. До этого по наблюдениям на сети арктических озонометрических станций выраженные локальные минимумы общего содержания озона в Арктике в 1996, 2000 и 2005 г. не превышали 30 %. В марте 2011 г. впервые уменьшение общего содержания озона в Арктике не только превысило 40 %, но и распространилось на большую часть Северной Полярной области.

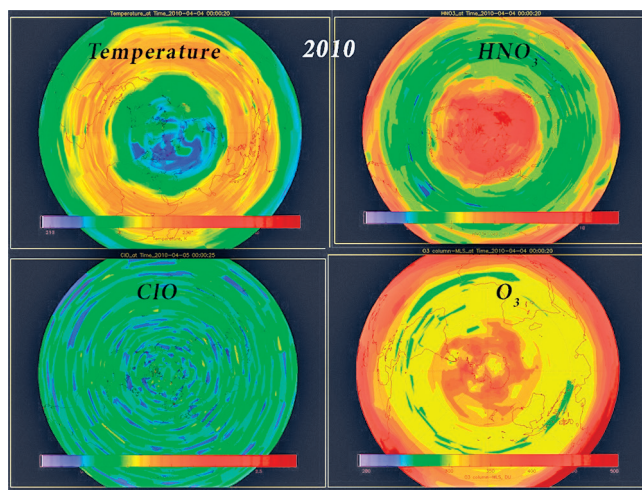


Рис. 3. Характеристики нижней стратосферы (70 гПа) Арктики и Субарктики в начале весны 2010 г. по данным измерений MLS AURA

Как было показано выше (рис. 2) в результате низкой волновой активности в 2011 г. длительно и устойчиво существовал арктический циркумполярный вихрь. В результате этого до конца зимы и начала весны в нижней стратосфере существовала область низких температур (рис. 4), происходило формирование полярных стратосферных облаков, гетерогенная активация на которых привела к повышенному содержанию хлорных газов в начале весны, как видно из рис. 4. При этом нейтрализация хлорных газов в результате химического взаимодействия с азотными составляющими не происходила, так как содержание азотных газов также сократилось (верхний правый рис. 4).

Процесс уменьшения содержания азотных составляющих, называемый дениитрификацией полярной стратосферы, происходит в результате гравитационного осаждения частиц полярных стратосферных облаков, состоящих из воды, серной и азотной кислот. Как видно из приведенных выше формул гетерогенной активации, образующаяся в них азотная кислота остается в твердой фазе (обозначена знаком s). В результате длительно существующих холодных условий и поглощения паров азотной кислоты размер частиц ПСО сильно увеличивается, и они становятся подверженными быстрому гравитационному осаждению. Таким образом, азотные составляющие выпадают на землю или остаются в тропосфере, а в полярной стратосфере происходит дениитрификация.

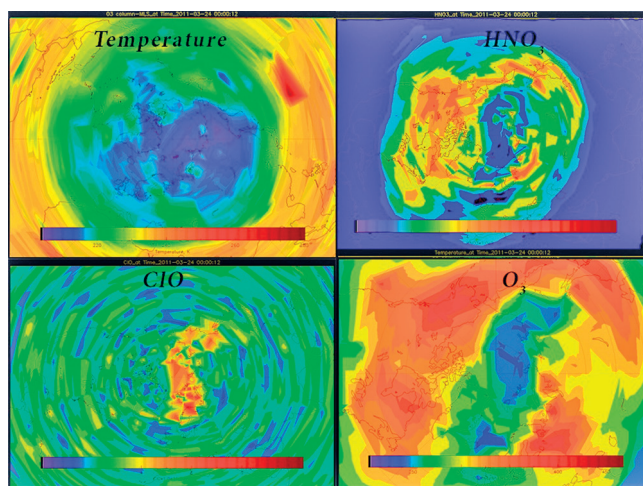


Рис. 4. Характеристики нижней стратосферы (70 гПа) Арктики и Субарктики в начале весны 2011 г. по данным измерений MLS AURA

На нижнем правом рис. 4 видно сильное сокращение озона именно в той области, где происходит денитрификация, что подтверждает ее ключевую роль. Более того, проведенное исследование чувствительности содержания малых газовых составляющих к процессам формирования полярных стратосферных облаков показало, что именно наличие или отсутствие денитрификации определяет глубину озоновых аномалий. В условиях существования только полярных стратосферных облаков первого типа, которые способствуют хлорной активации, но не подвержены гравитационному осаждению из-за своих малых размеров, существенного разрушения озона не происходит, так как содержание азотных газов остается высоким и они быстро нейтрализуют высвобождающиеся хлорные радикалы. Это подтверждает, что для сильного разрушения озона недостаточно только хлорной активации на поверхности полярных стратосферных облаков, но и необходимо низкое содержание азотных малых газовых примесей.

Причиной аномального уменьшения общего содержания озона является то обстоятельство, что зимой 2011 г. циркумполярный вихрь в Арктике был необычно устойчив. Обычно период с низкими температурами в стратосфере длится 2–2,5 месяца. В эту зиму он продолжался четыре месяца — до апреля, хотя обычно заканчивается в марте. По данным спутниковых и станционных наблюдений было отмечено, что температуры ниже критического для реакций разрушения озона порога -78°C в арктической стратосфере, на высотах от 15 до 23 км сохранялись более 100 дней. При этом падение общего содержания озона ниже уровня в 250 единиц Добсона наблюдалось в течение 27 дней, а ниже 230 — в течение недели. В этом отношении сокращение количества озона в Арктике впервые достигла уровня, при котором можно говорить об арктической озоновой дыре. Область, ограниченная циркумполярным вихрем, в Арктике значительно меньше, чем в Антарктиде, но она более мобильна.

Приведенные на рис. 5 результаты анализа содержания малых газов атмосферы для зимы-весны 2013 г. подтверждают важную роль денитрификации: несмотря на достаточно низкие температуры и повышенное содержание хлорных газов в отдельных местах, содержание озона существенно не уменьшается, так как денитрификации не происходит.

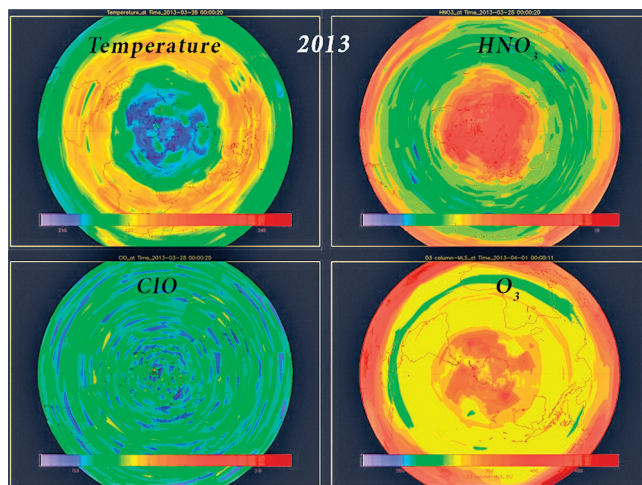


Рис. 5. Характеристики нижней стратосферы (70 гПа) Арктики и Субарктики в начале весны 2013 г. по данным MLS AURA

Осуществлен анализ результатов наблюдений с целью определения степени влияния волновых процессов на стратосферную циркуляцию, циркумполярный вихрь, процессы формирования и эволюции полярных стратосферных облаков, формирование озоновых полярных аномалий и их влияния на мезосферу. Интенсивность волновой активности определялась по данным наблюдений United Kingdom Meteorological Office (UKMO), границы потенциального вихря и температура нижней стратосферы и мезосферы определялись по данным ре-анализа the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), изменчивость содержания озона изучалась по данным World Ozone and Ultraviolet Radiation Data center (WOUDC) и National Aeronautics And Space Administrations (NASA), а также данных ретроспективного анализа Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA).

Таким образом, произведен анализ новых результатов об относительной роли физических процессов формирования, эволюции и разрушения циркумполярного вихря в арктической стратосфере, процессов понижения температуры нижней стратосферы и образования полярных стратосферных облаков, гравитационного осаждения частиц ПСО, приводящих к денитрификации и дегидрации полярной стратосферы, а также химических процессов галогенной активации на поверхности ПСО и сульфатного аэрозоля и разрушения озона в условиях распада продуктов гетерогенных химических реакций на поверхности ПСО после возвращения солнца. Показано, что процессы галогенной активации на поверхности частиц полярных стратосферных облаков

определяют каталитическое разрушение озона после возвращения солнца полярной весной, однако ключевым фактором, влияющим на интенсивность разрушения озона и формирование озоновых дыр, является денитрификация полярной стратосферы, препятствующая связыванию хлорных и бромных радикалов.

На рис. 6 и 7 представлены результаты анализа для зимы 2012–2013 гг. Из рисунков видно, что в первой половине января 2013 г. наблюдалось событие ВСП, которое сопровождалось резким ослаблением СПВ1, устойчивым полярным вихрем и относительно низкими температурами в полярной стратосфере.

На рис. 8 приведено распределение температуры и озона в Арктике на высоте 28 км по результатам наблюдений MERRA для зимы 2012–2013 гг. Анализ результатов показывает, что изменения температуры и озона хорошо согласуются на этих высотах. При этом сокращение озона не может вызываться химическими факторами, так как в течение полярной ночи химические процессы протекают медленно, к тому же гетерогенная активация еще не успевает к началу и середине зимы привести к перераспределению хлорных и бромных газов. Кроме того, эти измерения показаны для высот, где полярные стратосферные облака образуются редко. Таким образом, эти результаты также подчеркивают важность динамических факторов, в частности, волновой активности, которая изолирует нижнюю стратосферу от обмена воздухом и теплом и приводит к дивергенции температуры и содержания озона.

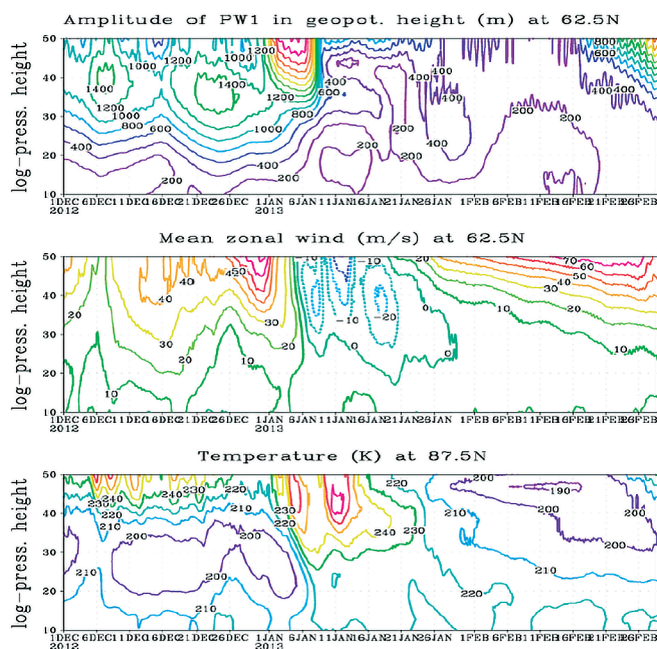


Рис. 6. Полученные на основании анализа данных MERRA высотно-временные сечения амплитуды зональной гармоники с $m = 1$ в поле геопотенциальной высоты и среднего зонального ветра на $62,5^\circ$ с.ш. (верхний и средний рисунки соответственно)

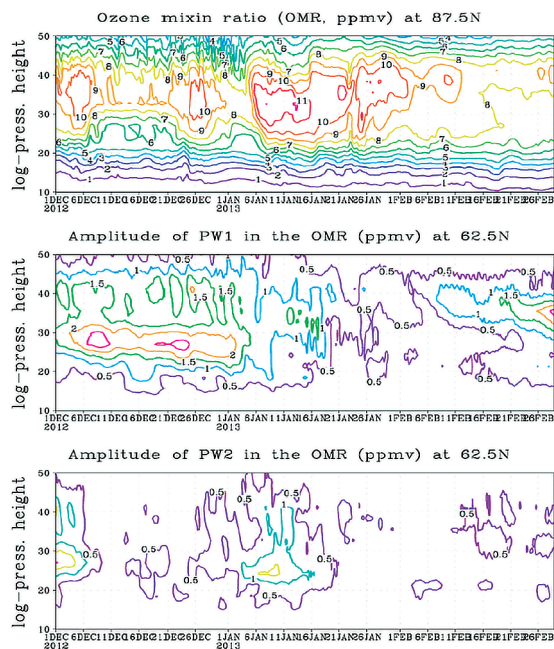


Рис. 7. Полученные на основании анализа данных MERRA высотно-временные сечения относительной концентрации озона в полярной области (верхний рисунок) и изменение амплитуд планетарных волн с зональными волновыми числами $m = 1$ и 2 в поле относительной концентрации озона на $62,5^\circ$ с.ш. (средний и нижний рисунки, соответственно).

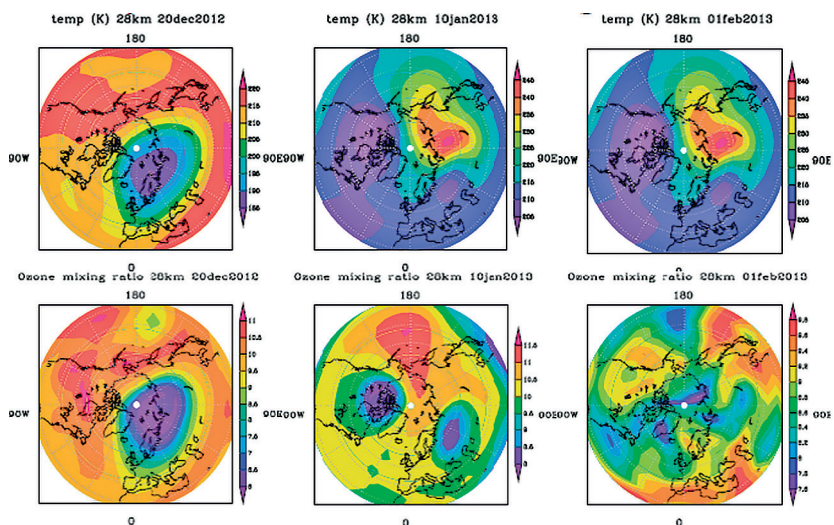


Рис. 8. Изменение общего содержания озона по данным MERRA в 2013 г.

Заключение

На основе анализа результатов спутниковых наблюдений исследовалось влияние планетарных волн на формирование озоновых дыр в Арктике. Сопоставление результатов измерений общего содержания озона, потенциальной завихренности, температуры стратосферы, а также амплитуд планетарных волн, скорости зонального ветра показало, что внезапные стратосферные потепления способствуют разрушению циркумполярного вихря и препятствуют гетерогенной активации хлорных газов на полярных стратосферных облаках, ведущей к разрушению озона после окончания полярной ночи. Межгодовая изменчивость глубины озоновых дыр, площади области, охваченной озоновой аномалией, и продолжительности существования озоновых дыр в Арктике определяется величиной волновой активности в нижней стратосфере после внезапных стратосферных потеплений. В годы со слабой волновой активностью циркумполярный вихрь может восстановиться, что ведет к возобновлению процессов, ведущих к интенсивному разрушению озона после возвращения Солнца, а в годы с сильной волновой активностью — циркумполярный вихрь не восстанавливается и озоновые дыры не формируются.

Сравнение результатов анализа наблюдений и численного моделирования показало, что теоретические представления о влиянии волновых возмущений на стабильность циркумполярного вихря и формирование озоновых аномалий подтверждаются наблюдениями характеристик атмосферных волн, границ циркумполярного вихря, изменчивости температуры нижней стратосферы и степени разрушения озона. Однако, как показали результаты наблюдений, в северном полушарии, в отличие от южного полушария, зоны пониженных концентраций озона могут образовываться в результате влияния динамических факторов, таких как волновая активность и устойчивость циркумполярного вихря. При этом они часто формируются еще в течение полярной ночи, когда действие химических факторов ослаблено отсутствием солнечной радиации.

Результаты исследования показали, что максимальные озоновые аномалии наблюдаются в годы слабой волновой активности после внезапных стратосферных потеплений, которая способствует формированию стабильного и длительно сохраняющегося циркумполярного вихря и низких температур в зимней стратосфере.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ. Анализ результатов наблюдений, демонстрирующих влияние волновой активности на состав и структуру атмосферы, проводилось при поддержке Российского Научного Фонда (проект 14-17-00685), а исследование влияния формирования полярных стратосферных облаков и влияние на них динамических факторов осуществлялось в рамках проекта 14-17-00096 Российского Научного Фонда. Учет влияния изменчивости солнечной радиации на состав атмосферы проводился при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00871-а).

Литература

1. Гаврилов Н.М., Коваль А.В., Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Численное моделирование влияния стационарных мезомасштабных орографических волн на меридиональную циркуляцию и потоки озона в средней атмосфере. // Геомагнетизм и аэрономия, 2014, т. 54, № 3, с. 412–419.

2. Кац А.Л. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 563 с.
3. Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н., Перцев Н.Н. Внезапные стратосферные потепления: роль нормальных атмосферных мод. // Геомагнетизм и аэронавигация, 2014, т. 54, № 3, с. 387–403.
4. Смышляев С.П., Галин В.Я., Шаарийбуу Г., Моцаков М.А. Моделирование изменчивости газовых и аэрозольных составляющих в стратосфере полярных районов. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2010, т. 46, № 3, с. 291–306.
5. Смышляев С.П., Кароль И.Л., Зубов В.А., Юдин В.А., Геллер М.А. Двумерное моделирование сезонно-широтной изменчивости общего содержания атмосферного озона с использованием параметров крупномасштабного переноса из модели общей циркуляции атмосферы. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2002, т. 38, № 1, с. 81–94.
6. Смышляев С.П., Погорельцев А.И., Галин В.Я., Дробашевская Е.А. Влияние волновой активности на газовый состав стратосферы полярных районов. // Геомагнетизм и аэронавигация, 2015, т. 55, № 6, с. 1–15.
7. Терещенко В.А., Терещенко В.Д., Черняков С.М. Зимние полярные стратосферные облака в полярных широтах. // Вестник МГТУ, 2010, № 13, с. 1052–1059.
8. Chehade W., Weber M., Burrows J.P. Total ozone trends and variability during 1979–2012 from merged data sets of various satellites. // Atmos. Chem. Phys., 2014, vol. 14, pp. 7059–7074.
9. Chipperfield M.P., Jones R.L. Relative influences of atmospheric chemistry and transport on Arctic ozone trends. // Nature, 1999, vol. 400, pp. 551–554.
10. de Zafta R., Smyshlyayev S. On the formation of HNO_3 in the Antarctic mid-to-upper stratosphere in winter. // J. Geophys. Res., 2001, vol. 106, pp. 23115–23125.
11. Hamil P., Toon O.B. Polar stratospheric clouds and the ozone hole. // Physics today, 1991, vol. 44, № 12, pp. 34–42.
12. Huck P.E., McDonald A.J., Bodeker G.E., Struthers H. Interannual variability in Antarctic ozone depletion controlled by planetary waves and polar temperature. // Geophys. Res. Lett., 2005, vol. 32. — DOI:10.1029/2005GL022943.
13. Randel W.J., Wu F., Stolarski R. Changes in column ozone correlated with the stratospheric EP flux. // J. Met. Soc. Jap., 2002, vol. 80, pp. 849–862.
14. Schoeberl M.R., Hartmann D.L. The dynamics of the stratospheric polar vortex and its relation to springtime ozone depletions. // Science, 1991, vol. 251, pp. 46–52.
15. Solomon S. Stratospheric ozone depletion. A review of concepts and history. // Rev. Geophys., 1999, vol. 37, pp. 275–316.
16. Solomon S., Garcia R.R., Rowland F.S., Wuebbles D.J. On the depletion of Antarctic ozone. // Nature, 1986, vol. 321, pp. 755–758.
17. Stolarski R.S., Frith S.M. Search for evidence of trend slow-down in the long-term TOMS/SBUV total ozone data record: the importance of instrument drift uncertainty. // Atmos. Chem. Phys., 2006, vol. 6, pp. 4057–4065. — DOI:10.5194/acp-6-4057-2006.
18. Strahan S.E., Douglass A.R., Newman P.A. The contributions of chemistry and transport to low arctic ozone in March 2011 derived from Aura MLS observations. // J. Geophys. Res. Atmos., 2013, vol. 118, pp. 1563–1576. — DOI:10.1002/jgrd.50181.
19. Vargin P. Stratospheric Polar Vortex Splitting in December 2009. // Atmosphere-Ocean, 2015, vol. 53, iss. 1. — DOI:10.1080/07055900.2013.851066.
20. World Meteorological Organization (WMO), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report no. 55. — Geneva, Switzerland, 2014. — 416 p.

Е.О. Лазарева, Е.С. Попова, И.Н. Липовицкая

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ
НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА
НАД САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ В 2006–2014 ГГ.**

E.O. Lazareva, E.S. Popova, I.N. Lipovitskaya

**THE INFLUENCE OF TEMPERATURE INVERSIONS
ON THE CONCENTRATION OF IMPURITIES IN THE SURFACE LAYER
OF AIR IN ST. PETERSBURG DURING THE PERIOD OF 2006–2014**

Рассмотрено влияние явления инверсии температуры воздуха на накопление загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а также влияние синоптических ситуаций на распространение загрязняющих веществ в воздухе. Проанализирован массив данных, содержащий информацию о комплексном параметре P , который характеризует загрязнение атмосферного воздуха по г. Санкт-Петербургу за период с 2006 по 2014 г.: годовой ход, межгодовая изменчивость.

Ключевые слова: атмосферный воздух, геоэкология, метеорология, синоптическая ситуация, инверсия.

The influence of temperature inversion on pollutants accumulation in the air was considered. The influence of synoptic situations on air pollutant distribution was considered. The database containing information about integrated «parameter P » (which characterizes air pollution) including annual course and interannual variability in the period of 2006 to 2014 was analyzed.

Key words: atmospheric air, geoecology, meteorology, synoptic situation, inversion.

Одной из приоритетных геоэкологических проблем современного мира является проблема загрязнения атмосферного воздуха, наиболее явно выраженная в крупных мегаполисах. Это связано, главным образом, с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий. Отмечается возрастание роли автотранспорта как ведущего источника загрязнения атмосферного воздуха крупных городов, о чем свидетельствует ухудшение экологического состояния воздушного бассейна городов в начале XXI в. при снижении интенсивности промышленной деятельности [8]. Для Санкт-Петербурга ухудшение экологического состояния воздушного бассейна имеет особое значение, город является крупнейшим научным и промышленным центром мирового значения, крупнейшим транспортным узлом северо-запада России. Благоприятное экологическое состояние атмосферного воздуха — залог здоровья жителей города.

Интерес к вопросу загрязнения атмосферного воздуха возник в середине прошлого века, что повлекло исследования данного направления в различных странах мира. Однако изменения современного мира, под влиянием ряда причин, обновляют перечень нерешённых проблем, что требует глубокого анализа с целью выработки мер,

направленных на их решение. Отсюда целью данного исследования является анализ особенностей временной изменчивости параметра P , характеризующего загрязнение атмосферного воздуха, для Санкт-Петербурга. Для достижения поставленной цели ставятся следующие задачи:

- рассмотреть влияние синоптических условий на распространение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;
- рассмотреть влияние явления инверсии температуры на накопление загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города;
- обработать архивные данные комплексного параметра, характеризующего загрязнение атмосферного воздуха города;
- проанализировать годовой ход состояния загрязнения атмосферного воздуха города по комплексному параметру;
- проанализировать динамику изменений загрязнения атмосферного воздуха города по комплексному параметру.

Уровень загрязнения воздушного бассейна города определяется выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников. Среди передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха выделяют автотранспорт, выбросы которого в Санкт-Петербурге превышают выбросы от стационарных источников и составили в 2011 г. 85 % (374,8 тыс. т загрязняющих веществ) всех антропогенных выбросов [6]. Тенденция увеличения выбросов от автотранспорта обусловлена количеством транспортных средств, пропускной способностью магистралей, техническим состоянием автотранспорта и экологическим качеством продаваемого топлива [1].

На уровень загрязнения атмосферного воздуха существенное влияние оказывают синоптические ситуации и характерные для них метеорологические условия. Так, согласно результатам исследований Л.Р. Сонькина, повышенному уровню концентраций примесей в городском воздухе способствуют следующие синоптические ситуации: малоградиентное барическое поле, антициклоническая кривизна изобар, тёплая воздушная масса, адвекция тепла в тропосфере. Циклоническая ситуация, ложбина циклона, прохождение холодного фронта, сопровождающиеся усилением ветра и осадками, в свою очередь, способствуют формированию «сравнительно чистого» атмосферного воздуха [5].

Как известно, климат Санкт-Петербурга носит преимущественно морской характер. Сезонно выделяют весенне-летний и осенне-зимний периоды года, при этом для Санкт-Петербурга характерен быстрый переход от осенне-зимних процессов к весенне-летним. В целом, осенне-зимний период характеризует активная циклоническая деятельность, сопровождающаяся увеличением проходящих через город атмосферных фронтов. Отметим, что траектория циклонов, выходящих на территорию Санкт-Петербурга (с запада, юго-запада и северо-запада), одинакова для всех сезонов года. В весенне-летний период количество и интенсивность циклонов уменьшается, а скорость их перемещения возрастает. В то же время, согласно многолетним наблюдениям на аэродромах города, возрастает повторяемость (более 50 %) антициклонов и малоградиентных барических полей. Как правило, установлению антициклона сопутствует комплекс атмосферных явлений, препятствующий рассеиванию загрязняющих веществ: слабый ветер, инверсии температуры, туманы.

Основными метеорологическими параметрами, в общем, оказывающими влияние на диффузию примесей, являются скорость и направление ветра, вертикальное распределение температуры воздуха, скорость и направление ветра, явления погоды (туманы, осадки).

Рассмотрим вышеперечисленные параметры и их внутригодовую динамику для Санкт-Петербурга. Так, ветровой режим города характеризуется преимущественно западным, юго-западным и южным направлениями, совокупная повторяемость которых за год превышает 50 %. Ветры восточных и северных направлений наблюдаются реже. При этом западный ветер способствует очищению воздушного бассейна города, а юго-восточный и восточный, напротив, препятствуют. Для Санкт-Петербурга, в целом, средние скорости ветра составляют 2–5 м/с. В течение года, в среднем, скоростям 0–5 м/с соответствует юго-западное направление, 5–15 м/с — южное, более 15 м/с — юго-восточное, повторяемость которых минимальна и носит, преимущественно, порывистый характер. Холодный период года характеризуется усилением скорости ветра, с максимальными значениями в ноябре; в теплый период, напротив, скорости ветра ослабевают, штилевые значения преобладают в июле, августе.

Ранее выявлено формирование повышенного загрязнения воздуха при устойчивой стратификации нижнего слоя атмосферы, при наличии инверсий. Явление инверсии отмечают в случаях, когда температура воздуха нехарактерно увеличивается с высотой. Возникают инверсии под воздействием адвекции и вертикальных движений, кроме того, рельеф местности, крупные водоемы и парки создают дополнительные условия для их образования [3]. По высоте все тропосферные инверсии можно разделить на инверсии приземные и инверсии в свободной атмосфере (приподнятые). Большинство инверсий в свободной атмосфере являются инверсиями оседания. Они возникают вследствие нисходящего движения воздуха и его адиабатического нагревания. Кроме инверсий оседания в тропосфере наблюдаются фронтальные инверсии.

Инверсию температуры характеризуют высотой нижней границы; толщиной слоя, в котором наблюдается повышение температуры с высотой, и разностью температур на верхней и нижней границах инверсионного слоя — скачком температуры. Наиболее часты инверсии в пределах нижних 2 км. Инверсионный слой препятствует вертикальному перемешиванию воздуха, задерживая, таким образом, рассеивание примеси в атмосфере, что, особенно, при штилевых условиях способствует возникновению явления застоя воздуха, что обуславливает высокий уровень загрязнения воздушного бассейна. Кроме того, повышение температуры воздуха также влечёт повышение уровня загрязнения атмосферного воздуха. Увеличение числа инверсий наблюдается при антициклональной погоде; разрушаются они — при возникновении сильных ветров и циклоническом характере погоды. В годовом ходе метеопараметров в Санкт-Петербурге, согласно многолетним наблюдениям, максимальному количеству дней с инверсией соответствует максимальное количество дней со штилем — весна, лето, а минимальному — зима, осень, как показано на рис. 1 [2]. В городе, в среднем, инверсии наблюдаются ежемесячно, что иллюстрирует рис. 1, в любое время суток, чему способствует большое разнообразие физических процессов, а также физико-географические особенности расположения города. Высокая повторяемость явления приземной инверсии вызвана: преобладанием антициклонической кривизны изобар летом, адвекцией тепла в зимний период. Соотношение между видами инверсий

противоположно, явление приподнятой инверсии в теплый период характеризуется инверсиями оседания, в холодный период — фронтальными инверсиями.



Рис. 1. Годовой ход повторяемости инверсии в Санкт-Петербурге (построен авторами по многолетним данным аэрологических диаграмм) [2]

В ряде публикаций [5, 7] отмечается факт очищения атмосферы от примесей осадками. Однако эффект вымывания наблюдается лишь вне зоны прямого воздействия источников. Примеси удаляются из атмосферы не только осадками, но и облаками за счёт поглощения каплями или кристаллами. В связи с этим при низкой облачности поглощается приземная часть городской шапки, уменьшая приземную концентрацию примесей. С другой стороны, летом в облачную погоду ослаблен турбулентный обмен, в результате чего может отмечаться повышенное загрязнение воздуха, обусловленное низким выбросами. В туманах, так же как и в облаках, происходит поглощение примесей каплями. Однако эти примеси вместе с каплями остаются в приземном слое воздуха, где создают тем самым значительное скопление вредных веществ.

Необходимость осуществления постоянного экологического мониторинга атмосферного воздуха в городской среде очевидна и обоснована современными требованиями к качеству окружающей среды.

Для описания загрязнения воздуха в целом по городу, как известно, в конце прошлого века был введен комплексный параметр P , рассчитываемый согласно формуле 1 [4]:

$$P = m/n, \quad (1)$$

где n — общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах; m — количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями q , которые превышают среднесезонное значение $q_{\text{ср}}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5q_{\text{ср}}$).

Таким образом, параметр P представляет собой отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) к общему

числу измерений в течение дня. Кроме характеристики общего состояния загрязнения воздуха в городе, при наличии достаточного количества измерений параметр P может быть показателем городского загрязнения отдельными примесями.

Параметр P может изменяться от 0 (ни одна из концентраций не превышает $1,5q_{\text{ср}}$) до 1 (все измеренные концентрации превышают $1,5q_{\text{ср}}$). При этом рассматриваются три группы загрязнения воздуха [4]:

1. $P > 0,35$ — высокое загрязнение воздуха;
2. $0,2 < P < 0,35$ — повышенное загрязнение воздуха;
3. $P \leq 0,2$ — относительно пониженное загрязнение воздуха.

В рамках данного исследования для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга изучены данные наблюдений за состоянием атмосферного воздуха Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды, принадлежащих Федеральному государственному бюджетному учреждению «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Северо-Западное УГМС»), выраженные в виде параметра P , за период времени с 2006 по 2014 г., за сроки 01:00 и 07:00; 13:00; 19:00.

В процессе изучения полученных данных авторы из общего массива выделили случаи с $P > 0,35$, повторяемость которых составила около 10 %, а также случаи $0,2 < P < 0,35$, повторяемость которых составила около 20 %.

С целью оценки годового хода загрязнения атмосферного воздуха за период времени с 2006 по 2014 г., для случаев: $P > 0,20$; $P > 0,35$ и $0,2 < P < 0,35$, авторы просуммировали количество дней, приходящихся на каждый случай, для каждого месяца отдельно за 9 рассматриваемых лет. Полученные результаты представлены в графическом виде на рис. 2. Рассмотрим тенденции годового хода параметра P по Санкт-Петербургу за 2006–2014 гг.

Согласно данным графика годового параметра P , представленного на рис. 2, в течение года за период с 2006 по 2014 г. для всех трех рассматриваемых случаев максимальное количество дней с загрязнением атмосферного воздуха по параметру P приходится на июль месяц, минимальное (кроме случая $0,2 < P < 0,35$ (апрель)) — на декабрь. Кроме того, для двух случаев ($P > 0,20$; $0,2 < P < 0,35$) большое количество дней с загрязнениями отмечены в октябре. Причины такого распределения загрязнения воздуха в годовом ходе объясняются закономерностями смены синоптических ситуаций и метеорологических условий, характерных для них. В частности, летний период года, как было описано ранее, характеризуется для Санкт-Петербурга преобладанием антициклонов и малоградиентных барических полей, что сопровождается ослаблением скоростей ветра, а также увеличением повторяемости его штилевых значений; ростом температуры атмосферного воздуха и увеличением повторяемости случаев инверсии, что способствует накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В октябре усиливается повторяемость прохождения циклонов через Санкт-Петербург, однако «октябрьские» циклоны, согласно наблюдениям авторов за период с 2006 по 2014 г., характеризуются низкой, слоистой облачностью, обложными осадками, туманами адвекцией тепла в тропосфере, что также способствует накоплению загрязнения в атмосферном воздухе.

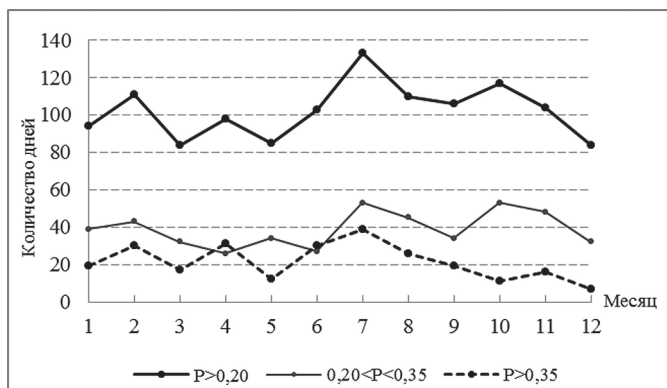


Рис. 2. Годовой ход общего количества дней с загрязнениями, нормированных на параметр P по Санкт-Петербургу, за период с 2006 по 2014 г.

Зимой формируются синоптические условия, препятствующие накоплению загрязняющих атмосферный воздух веществ, так как указанный выше период времени характеризуется усилением циклонической активности, сопровождающейся усилением ветра и обильными осадками, вымывающими загрязняющие вещества.

Совокупность общего количества дней с загрязнениями атмосферного воздуха за 12 месяцев по всем трём случаям за период времени с 2006 по 2014 г., для каждого из рассматриваемых 9 лет отражает динамику и тенденции межгодовой изменчивости загрязнения воздуха Санкт-Петербурга, что представлено иллюстрирует рис. 3.

Анализ графика (рис. 3) особенностей распределения межгодовых изменений загрязнения атмосферного воздуха показывает, что наибольшее количество дней с загрязнением воздуха, нормированным на параметр P , для всех рассматриваемых трёх случаев отмечены в 2006, 2009 и 2012 г., тогда как 2013 и 2014 г. — наименьшее.

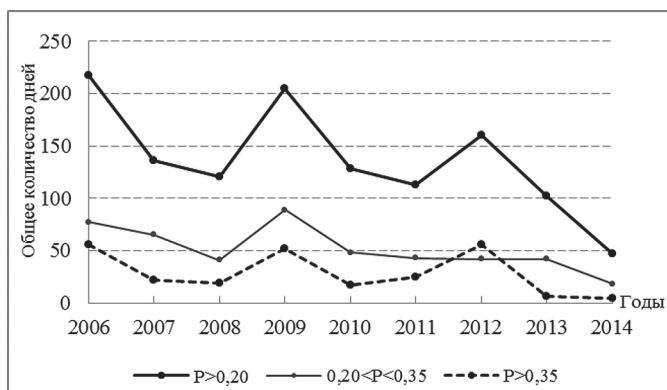


Рис. 3. Динамика общего количества дней с загрязнениями, нормированных на параметр P по Санкт-Петербургу, за период с 2006 по 2014 г.

В заключение подведём основные итоги исследования:

1. В результате изучения годового хода явления инверсии по Санкт-Петербургу выявлено, что максимальному количеству дней с инверсией соответствует максимальное количество дней со штилем — весна, лето, а минимальному — зима, осень. Кроме того, в городе, в среднем, инверсии наблюдаются ежемесячно.
2. Изучение годового хода параметра P за период с 2006 по 2014 г. по Санкт-Петербургу позволяет отметить июль как месяц с максимальным количеством дней в году с загрязнениями, декабрь — с минимальным.
3. Изучение межгодовой изменчивости параметра P за период с 2006 по 2014 г. по г. Санкт-Петербург позволяет выявить 2006, 2009 и 2012 г., как наиболее загрязнённые, и отметить резкий спад загрязнённости воздуха после 2012 г., причины чего подлежат изучению авторами, в настоящий момент.

Литература

1. *Дмитриев А.Л., Милютин Е.О.* Влияние автотранспорта на экологическое состояние городской среды Санкт-Петербурга. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 190–196.
2. *Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н.* Синоптические условия распространения антропогенных примесей в воздухе г. Санкт-Петербург (на примере 1980–2012 гг.). // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Сборник докладов IX международной конференции аспирантов и студентов. Под ред. К.Н. Маренич. — Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2015, с. 123–125.
3. Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Сб. докладов на международном симпозиуме в Ленинграде, июль 1968 г. Под ред. М.Е. Берлянда. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 51 с.
4. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 92 с.
5. *Сонькин Л.Р.* Синоптико-статистический анализ и краткосрочный прогноз загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 223 с.
6. Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС» за 2012 г. Под ред. А.А. Луковской; ФГБУ «Северо-Западное УГМС». — СПб.: 2013. — 161 с.
7. *Швер Ц.А.* Климат Ленинграда. Под ред. Ц.А. Швера, Е.В. Алтыкиса, Л.С. Евтеевой. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 251 с.
8. *Morrison J.* Sustainable development. — UK: Profile Books, 2002. — 370 p.

Д.С. Ковалев, А.В. Тертышников, В.В. Чукин, Я.В. Глухов

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ИОНОСФЕРЫ С АРКТИЧЕСКОГО ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА

D.S. Kovalev, A.V. Tertyshnikov, V.V. Chukin, Y.V. Glukhov

EXPERIMENTS ON IONOSPHERE RESEARCH ON BOARD THE ARCTIC FLOATING UNIVERSITY

Обсуждается содержание экспериментов по зондированию высокоширотной ионосферы по сигналам космических аппаратов глобальных навигационных спутниковых систем с Арктического плавучего университета.

Ключевые слова: высокоширотная ионосфера, радиозондирование, спутниковая система, ГЛОНАСС, GPS.

Experiments on high-latitude ionosphere sensing by spacecraft signals of global navigation satellite systems on board the Arctic Floating University are discussed.

Key words: high-latitude ionosphere, radiosounding, satellite system, GLONASS, GPS.

Введение

Актуальность исследований высокоширотной ионосферы обусловлена малой изученностью морфологии ее аномалий, необходимостью данных о состоянии ионосферы для наиболее экономичного способа передачи информации на большие расстояния — радиосвязи. Береговых станций зондирования ионосферы мало. Установка ионозондов на морских судах является уникальным проектом. Модели ионосферы для высоких широт требуют валидации. В том числе существующие и используемые в оперативной практике РОСГИДРОМЕТА [1, 2].

Данные зондирования ионосферы и магнитного поля Земли используются при мониторинге космической погоды, обеспечении безопасности коммуникационных и транспортных систем, нефтегазового комплекса, электрических генерирующих и передающих компаний.

Основой сети наблюдений за ионосферой в Российской Арктической зоне являются ионозонды вертикального и наклонного зондирования. Активно развивается радиотомографическая сеть зондирования ионосферы [1, 3] на базе стационарных навигационных приемников сигналов космических аппаратов (КА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS, космический сегмент мониторинга состояния околоземного космического пространства над российской Арктикой (проекты «МЕТЕОР», «Электро», «Ионозонд», «Арктика-М» и др.).

Система наземных станций зондирования высокоширотной ионосферы может быть дополнена подвижными пунктами приема сигналов навигационных КА (НКА) ГЛОНАСС/GPS/Galileo и геостационарных КА (ГКА). Для реализации этой идеи

необходим опыт натурных экспериментов, например в рамках проекта Арктического плавучего университета.

Методы и подходы эксперимента по зондированию ионосферы

Метод зондирования ионосферы, предлагаемый для проведения эксперимента, имеет положительное решение на изобретение [4]. Несколько лет метод апробировался в зоне действия стенда «Сура» [5] и на Байконуре [6]. По результатам экспериментов была сформирована технология зондирования ионосферы, в которую вошли наработки технологий наклонного зондирования ионосферы, наземного и спутникового радио-зондирования ионосферы, зондирования на основе сигналов навигационных спутниковых систем, томографии ионосферы, многочастотного зондирования с ГКА [1, 4, 7].

Особенностью зондирования ионосферы сигналами навигационных и ГКА является изменение характеристик радиосигналов в ионосфере и в тропосфере из-за уменьшения фазовой скорости радиоволн, в результате движения свободных электронов, поляризации атомов и молекул воздуха. Набег фазы при распространении сигнала НКА в неидеальной среде определяется протяженностью (L) траектории распространения сигнала между приемником и передатчиком и коэффициентом преломления среды n [1, 4]:

$$\varphi = \frac{2\pi f}{c} \int_0^L n_l dl + \varphi_0, \quad (1)$$

где φ — набег фазы для рабочей частоты f сигнала; n_l — коэффициент преломления сигнала вдоль трассы прохождения сигнала; φ_0 — некоторая неизвестная начальная фаза сигнала; c — скорость света.

В ионосфере, если пренебречь малым влиянием соударений частиц среды и магнитным полем [1, 4]:

$$n_l^{\text{ионосф}} \approx 1 - \frac{40,308 n_e}{f^2}, \quad (2)$$

где n_e — локальная концентрация электронов.

Навигационное оборудование GPS/ГЛОНАСС/Galileo реализует одновременно измерения групповых и фазовых задержек сигналов на нескольких частотах. Для GPS это псевдодальность $L_1(\lambda_1)$ на частоте 1,575 ГГц и $L_2(\lambda_2)$ на частоте 1,228 ГГц [1, 4]:

$$\begin{aligned} L_1 &= \rho' - I_1 + \lambda_1 N_1, \\ L_2 &= \rho' - I_2 + \lambda_2 N_2, \\ P_1 &= \rho' + I_1 + c(\delta t_{m1} + \delta t_{c1}), \\ P_2 &= \rho' + I_2 + c(\delta t_{m2} + \delta t_{c2}), \end{aligned}$$

где ρ' включает в себя геометрическое расстояние между приемником и НКА; $I_{1,2}$ — задержки в тропосфере-ионосфере и другие частотно-независимые задержки; $\lambda_1 N_1$ и

$\lambda_2 N_2$ — неизвестные начальные фазы сигналов на рабочих частотах f_1 и f_2 ; c — скорость света; $\delta t_{c1,2}$ и $\delta t_{n1,2}$ — инструментальные задержки сигналов в аппаратуре спутника и приемника (аппаратурная задержка при переключении частот может достигать до 30 нс и более). Для каждого приемника она индивидуальна. Поэтому приемники должны проходить регулярную поверку. В том числе на соответствие Государственному реестру средств измерений. Без выполнения этого условия результаты измерений, полученные различными авторами, в том числе и по радиотомографии ионосферы, могут быть оспорены.

Дифференциальная задержка двух сигналов пропорциональна полному электронному содержанию (ПЭС) ионосферы:

$$\Delta L = \Delta I + B, \Delta P = \Delta I + \delta,$$

где ΔI — дифференциальная ионосферная задержка; B — неизвестная начальная фаза; δ — неизвестная аппаратурная задержка.

Формально уравнения для групповых и фазовых измерений имеют одинаковый вид, и ионосферная задержка может быть определена с точностью до неизвестной поправки. Инструментальная задержка мало меняется на временах более нескольких дней, в то время как начальная фаза остается постоянной на временах сеанса связи. Константы оцениваются в результате экспериментов, например, при сравнении с данными базовой станции СДКМ либо с данными контрольно-поверочной станции. Константы могут задаваться в технической документации, рассчитываться с помощью модели ионосферы, по эталонным сигналам с ГКА, по данным наземных и космических ионозондов.

Абсолютное значение ПЭС определяется обычно с помощью моделей ионосферы и базовых станций с выверенными приемными устройствами, высокоточными частотомерами (водородный и рубидиевый стандарты частоты). Инструментальные задержки и неизвестные фазы для каждого спутника определяются на основе сравнения с базовыми станциями и оценок, указанных в технической документации (испытаний). Грубые оценки абсолютных значений ПЭС могут быть получены с учетом поправок системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ, WAAS, EGNOS) ГНСС ГЛОНАСС/GPS/Galileo, где предусмотрены КА ретрансляторы.

Приемник сигналов НКА настроен на прием основных рабочих частот навигационных систем. Радиосигналы с НКА представляют собой промодулированную кодом несущую частоту и эфемеридную информацию. Сигналы с НКА принимаются антенными устройствами, усиливаются, фильтруются и поступают на электронную плату приемника, где сигналы усиливаются, фильтруются и преобразуются в цифровой код. Характеристики навигационных сигналов на выходе приемника представляются в бинарной форме и/или в стандартном формате RINEX.

Приемник сигналов НКА обеспечивает автоматическое непрерывное в реальном масштабе времени определение и выдачу координат антенных устройств в системах координат WGS-84, ПЗ-90. Данные представляются в геодезической проекции с текущими отсчетами времени. Положение КА ГНСС транслируется в принимаемых сигналах.

Псевдодальности, измеряемые одночастотными навигационными приемниками, испытывают быстрые и сильные флуктуации, не связанные с вариациями ПЭС, например, из-за автоматической подстройки часов приемника (в современных приемниках эти скачки компенсируются). Фаза несущей частоты принимаемого сигнала после удаления тренда часов приобретает аппаратный шум, превышающий возможные ионосферные флуктуации для их фильтрации. Поэтому при зондировании ионосферы с использованием одночастотных навигационных приемников целесообразно анализировать изменения характеристик принимаемых сигналов по парам-тройкам наблюдаемых НКА, а лучше по сети навигационных приемников.

Для повышения точности определения ПЭС в ионосфере необходимо уменьшить влияние тропосферной задержки, т.е. использовать большие углы возвышения НКА. Кроме этого, целесообразно использовать среднюю аддитивную или среднюю геометрическую оценки ПЭС или их комбинации по используемым в расчетах частотам и видимым НКА. Вопросы расчета тропосферной задержки достаточно подробно освещены в [8–10].

Точность зондирования ионосферы и тропосферы по сигналам НКА повышается при использовании двухчастотных (многочастотных) навигационных приемников сигналов НКА. По фазовым измерениям на двух частотах (f_1 и f_2) можно рассчитать оценку ПЭС = I_0 [1, 4]:

$$I_0 = \frac{1}{40,308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) + \text{const} + nL], \quad (3)$$

где $L_1 \lambda_1$ и $L_2 \lambda_2$ можно заменить соответствующими значениями оценок псевдодальности до НКА из сообщений в формате RINEX — стандартной после обработки бинарных данных формы представления принятых навигационных сигналов.

В расчетах возможно комплексирование данных по фазовым измерениям и по псевдодальностям. По фазовым измерениям на трех частотах (f_1, f_2, f_3) оценки ПЭС можно рассчитывать по их комбинации. При использовании выражения (3) для дальнейших расчетов осредненных оценок ПЭС допустимо использование модулей оценок ПЭС с количеством сочетаний двух частот из трех с последующим использованием средней аддитивной или средней геометрической оценки или их комбинаций. Возможно комплексирование одно- и двухчастотных оценок ПЭС для получения осредненной оценки ПЭС, данных фазовых измерений и псевдодальностей. При этом, в расчетах ПЭС в вертикальном столбе необходима коррекция на наклон видимого НКА:

$$I^{\text{зенит}}(t, \varphi, \lambda) = I_0(t, \varphi, \lambda) \sqrt{1 - \left(\frac{R_3}{R_3 + H_{\text{ионосф}}} \right)^2 \sin^2 \alpha}, \quad (4)$$

где α — зенитный угол направления на НКА; $H_{\text{ионосф}}$ — высота ионосферного слоя; R_3 — радиус Земли; t — время; φ — широта; λ — долгота приемника.

Вопросы восстановления вертикальных профилей концентрации электронов в ионосфере подробно изложены в [1–5].

Высота ионосферного слоя часто связывается с положением подионосферной точки, положение которой в зависимости от высоты НКА рассчитывается в предположении ионосферы, как тонкого слоя, что вполне реально при сравнении толщины ионосферы с протяженностью радиотрасс НКА-наземный приемник.

Наибольшие рассчитанные положения подионосферной точки представлены на рис. 1 для иллюстрации того, что в высоких широтах нет ограничений на видимость НКА и, соответственно, на зондирование высокоширотной ионосферы по сигналам КА ГНСС.

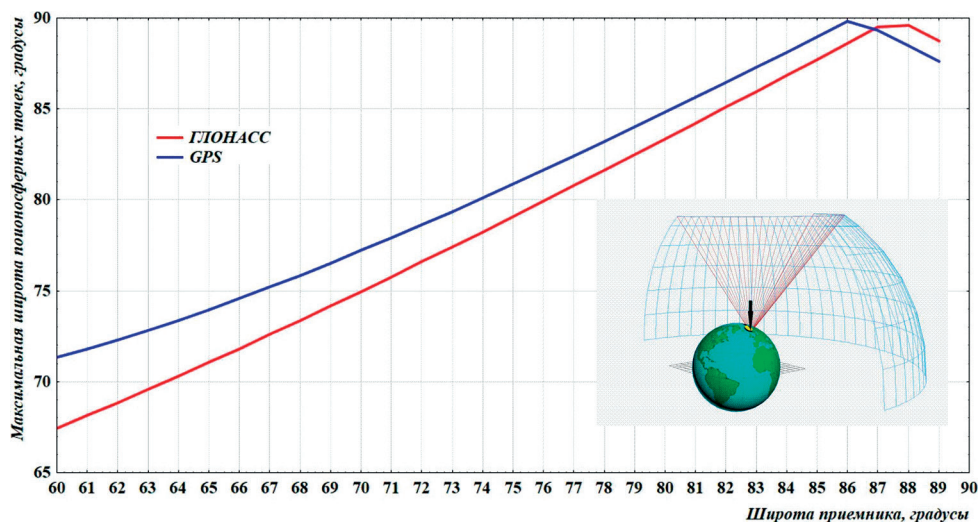


Рис. 1. Положение максимальной широты подионосферной точки в зависимости от широты приемника

При зондировании ионосферы в морских условиях с борта судна и в высоких широтах возникает ряд особенностей. Качка, возмущения магнитного поля Земли, особенности морфологии полярной ионосферы существенно влияют на оценки позиционирования, которые рассчитываются внутренними алгоритмами и программами навигационных приемников. Из-за искажений в авроральном овале ионосферы часто нарушается кодовая последовательность сигналов ГНСС, навигационные приемники начинают сообщать недостоверную информацию. За счет переотражений радиосигналов расширяется зона видимости наблюдаемых НКА, но обработка сигналов с них оказывается невозможной.

Общая перспектива проведения экспериментов по зондированию ионосферы с морских судов заключается не только в исследовании морфологии высокоширотной ионосферы и влияния гелиогеофизических условий на прием сигналов ГНСС, но и в создании подвижного пункта зондирования ионосферы в рамках проекта Арктического плавучего университета, валидация моделей ионосферы для высоких широт, а также данных, которые будут получены с космического комплекса «Ионозонд» после 2015 г. Проведение исследований в области высокоширотной ионосферы для России особенно актуально.

Пример реализации эксперимента по зондированию ионосферы

В 2011 г. авторы совместно с сотрудниками ЦНИИ Машиностроения участвовали эксперименте по оценке навигационной обстановки в высоких северных широтах вдоль Северного морского пути (рис. 2). В эксперименте использовались различные типы спутниковой навигационной аппаратуры. Навигационные приемники были установлены на патрульном судне береговой охраны ПС-824, осуществлявшем переход по маршруту Мурманск – Петропавловск-Камчатский – Невельск в период с 28.08.2011 по 16.09.2011.

Судно береговой охраны ПС-824

Рис. 2. Комплекты навигационной аппаратуры, использованные в эксперименте:

- а — геодезический приемник Leica Viva GS10 с антенной (ООО «Навгеоком»);
- б — геодезический приемник Javad Triumph V.S. с антенной и мачтой;
- в — геодезический приемник Javad Sigma с антенной и бухтой кабеля

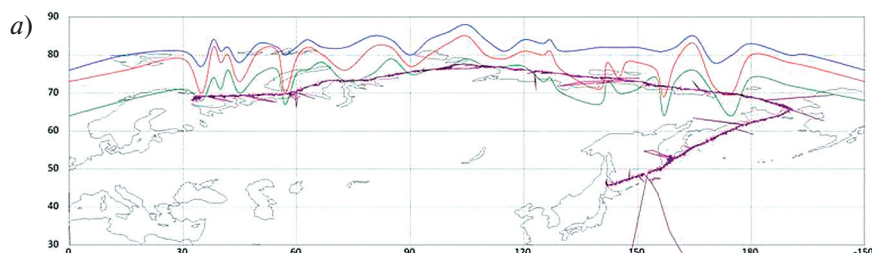
Эксперимент проводился в различных погодных и гелиогеофизических условиях. Пройденное расстояние составило 10000 км в широтном от 35° с.ш. до 77,5° с.ш. и долготном от 33° в.д. до 170,5° з.д. диапазонах. В ходе эксперимента осуществлялся мониторинг геофизических условий и апробировался многочастотный приемник Leica Viva GS10.

В результате эксперимента были получены оценки:

- состояния высокоширотной ионосферы;

- влияния гелиогеофизических условий на реальную навигационную обстановку вдоль Северного морского пути (на рис. 3 представлена трасса перехода с границами аврорального овала);
- позиционирования патрульного судна в различных режимах навигации;
- качества работы контрольно-корректирующих станций на побережьях Северного ледовитого и Тихого океанов;
- характеристик ионосферных задержек НКА GPS/ГЛОНАСС;
- регрессионных моделей связи ПЭС с характеристиками магнитного поля и др.

**Маршрут судна, восстановленный по данным,
полученным в результате эксперимента**



**Трасса перехода патрульного судна ПС-824
(с официальной страницы эксперимента)**

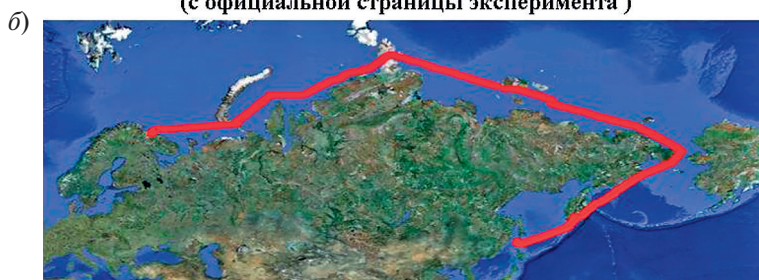


Рис. 3. Трасса перехода патрульного судна ПС-824:

а — результаты расчетов; *б* — с официальной страницы эксперимента ФГУП ЦНИИМаш

Навигационные приемники для эксперимента предлагалось предоставить заинтересованным участникам эксперимента. Выполнение этого условия позволило выявить серьезность намерений участников эксперимента. Многие известные изготовители навигационных приемников боялись рисковать своей репутацией и отказались предоставить заявленные для эксперимента приемники даже для кратковременных испытаний в условиях города, в том числе из-за отсутствия отметок из Государственного Реестра средств измерений.

В результате обработки данных, полученных в ходе эксперимента в 2011 г., получены оценки соответствия измерений с результатами моделирования высокоширотной ионосферы и зоны аврорального овала в различных геомагнитных условиях.

Количество ошибок определения координат и ионосферных задержек возрастало при резких скачках геомагнитной активности и резкой смене погоды.

При сравнении результатов обработки данных с ионосферной моделью IRI-2011 выявлена неоднозначность определения значения ионосферных задержек и необходимость корректировки указанной модели для высоких широт.

По результатам эксперимента запланировано сравнение полученных результатов с ионограммами, полученными с береговых станций вертикального зондирования ионосферы. Это позволит рассчитать абсолютное значение ионосферной задержки в точках наблюдения на основе данных относительных измерений.

Результаты расчетов ПЭС без учета поправки на начальную фазовую неоднозначность представлены для трех НКА GPS на рис. 4 и демонстрируют существенные расхождения.

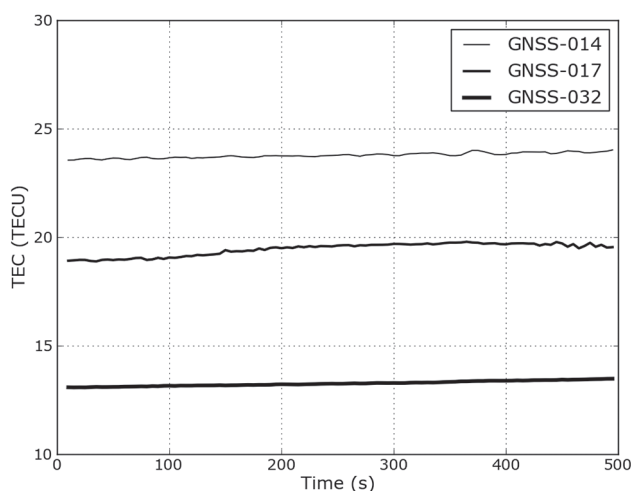


Рис. 4. Пример временного хода ПЭС ионосферы без учета поправки на начальную фазовую неоднозначность

Для обработки данных разработан программно-аппаратный комплекс, позволивший автоматизировать обработку данных в формате RINEX и представление результатов в соответствии с требованиями ионосферной службы Росгидромета. Проведенные эксперименты оказались полезными для развития исследований высокоширотной ионосферы. В 2013 г. часть эксперимента удалось выполнить на борту НЭС «Академик Федоров» в ходе экспедиции Арктического плавучего эксперимента.

Заключение

Предложен и обоснован эксперимент по зондированию высокоширотной ионосферы с Арктического плавучего университета по сигналам КА ГНСС. Показана возможность реализации эксперимента вдоль Северного морского пути.

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках научных проектов РФФИ № 14-05-00024, РФФИ № 14-05-00029 и РНФ № 14-17-00685.

Литература

1. *Тертышников А.В., Большаков В.О.* Технология мониторинга ионосферы с помощью приемника сигналов навигационных КА GPS/ГЛОНАСС (GALILEO). // Информация и космос, 2010, т. 1, с. 100–105.
2. *Тертышников А.В., Соломенцев Д.В., Хаттатов Б.В., Хаттатов В.У., Полушковский Ю.А., Скрипачев В.О.* Определение ионосферных задержек распространения радиосигналов с помощью трехмерной ассимиляционной модели ионосферы. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 1. — М.: ИКИ РАН, 2013, с.209–214.
3. *Романов А.А., Романов А.А., Тусов С.В., Урличич Ю.М.* Спутниковая радиотомография ионосферы. — М.: Физматлит, 2013. — 295 с.
4. *Тертышников А.В., Пулинец С.А.* Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации. Заявл. 07.07.2011 г. № 2011128236/(07041842)). Патент, 2011128236/07(041832).
5. *Тертышников А.В., Суровцева И.В., Фролов В.Л., Смирнов В.М.* Оценивание восстановленных по сигналам НКА ГЛОНАСС/GPS профилей электронной концентрации в ионосфере. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 3. — М.: ИКИ РАН, 2010, с. 115–119.
6. *Тертышников А.В.* Результаты эксперимента по диагностике состояния ионосферы над Байконуром по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. — Электронный ресурс: [<http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=48>].
7. *Тертышников А.В.* Многочастотный навигационный приемник сигналов глобальных навигационных систем ГЛОНАСС/GPS Для систем бортового управления малых КА. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 4. — Москва: ИКИ РАН, 2012, с. 107–110.
8. *Чукин В.В., Алдошкина Е.С., Вахнин А.В., Канухина А.Ю., Мельникова О.А.* Мониторинг интегрального содержания водяного пара в атмосфере ГНСС-сигналами. // Учёные записки РГГМУ, 2010, № 12, с. 51–60.
9. *Чукин В.В., Алдошкина Е.С., Вахнин А.В., Канухина А.Ю., Мостаманди С.В., Нгуен Т.Т., Обрезкова И.В.* Восстановление вертикального профиля влажности воздуха по данным наземной регистрации спутниковых навигационных сигналов. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010, т. 7, № 3, с. 69–74.
10. *Чукин В.В., Алдошкина Е.С., Вахнин А.В., Канухина А.Ю., Мостаманди С.В., Нигай С.Ю., Нгуен Т.Т., Савина З.С.* Ассимиляция данных ГЛОНАСС/GPS в региональную численную модель прогноза погоды WRF-ARW. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011, т. 8, № 3, с. 76–82.

М.Р. Кононенко, Н.С. Царькова, М.М. Аполинова, М.Б. Шилин

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ МОРСКОГО ПОРТА УСТЬ-ЛУГА

M.R. Kononenko, N.S. Tsarkova, M.M. Apolinarova, M.B. Shilin

DEVELOPMENT OF THE ENVIRONMENTAL STRATEGY FOR THE SEA PORT OF UST-LUGA

Статья посвящена обоснованию экологической стратегии порта «Усть-Луга», разработанной в рамках Программы приграничного сотрудничества «Юго-Восточная Финляндия — Россия» ENPI SE747, проект «Экологически дружелюбный порт», а также содержит результаты анкетирования экспертов по поводу экологических аспектов деятельности порта.

Ключевые слова: экологическая стратегия, экологическая дружелюбность, воздействие порта на окружающую среду, экологически дружелюбный порт.

The article is devoted to the development of the environmental strategy for the port «Ust-Luga», elaborated in the framework of cross — border cooperation Programme «South-East Finland — Russia» ENPI SE747, the project «Ecologically friendly port», and also contains the results of a survey of experts about the environmental aspects of port operations.

Key words: environmental strategy, eco-friendly, the impact of the port on the environment, environmentally friendly port.

Морской порт «Усть-Луга» является ближайшим к Европейскому Союзу многофункциональным портом и важным звеном в организации транзитных перевозок грузов в рамках Европейской транспортной инфраструктуры. В соответствии со стратегией развития морской портовой инфраструктуры России, транспортный кластер на базе порта в Усть-Луге будет продолжать расширяться. Общую территорию портового комплекса планируется увеличить до 1 600 га к 2025 г. Количество перегрузочных комплексов предполагается довести до девятнадцати, обеспечив грузооборот порта к 2018 г. объемом 180 млн т [3]. Очевидно, что при реализации данного проекта необходимо применение «дружелюбных природе» технологий, позволяющих минимизировать негативные экологические последствия строительства и эксплуатации портов для Финского залива в целом, и для уникальных береговых ландшафтов — в частности.

Высокая международная значимость порта в Усть-Луге определила его в качестве объекта Программы приграничного сотрудничества «Юго-восточная Финляндия — Россия» ENPI SE747 в рамках проекта «Экологически дружелюбный порт» [3].

Словосочетание «environmentally friendly» («экологически дружелюбный») широко используется за рубежом. Анализ англоязычных источников показал, что экологически дружелюбными могут называть: бизнес, политику принятия решений, технологии, маркетинг, компании, туристические программы, офисы, здания, поставщиков и др. В словаре Webster's New Millennium Dictionary of English отмечено, что «environmentally friendly» (аналогично: eco-friendly, nature friendly, green) — термин, используемый для обозначения товаров и услуг, законов, принципов и политики, для которых утверждается, что они снижают или наносят минимальный ущерб экосистемам и окружающей среде [6].

Очевидно, что применение данного словосочетания к столь разным позициям подразумевает его некоторую размытость и многозначность. Поскольку у подобного рода терминов нет строгих критериев их использования, чаще всего их употребляют компании в целях экологического маркетинга при продвижении товаров и услуг [1–3]. С определенного времени данное словосочетание стало использоваться такими компаниями, как порты. В частности, если ознакомиться с отчетами портов Бремена [4], Шанхая [5] и др., то можно обнаружить, что все они ставят целью своего развития превращение в экологически дружелюбный порт.

Учитывая опыт зарубежных партнеров и формируя проект, направленный на снижение воздействия на окружающую среду порта «Усть-Луга», было решено использовать словосочетание «экологически дружелюбный порт» в названии проекта. Однако необходимость создания общего понятийного пространства среди множества специалистов разных направлений потребовала обсуждения приемлемости данного термина по отношению к таким объектам, как порты и другие гидротехнические сооружения, а также особенностей его содержания.

Вопрос о приемлемости возник по следующей причине. Как указывалось выше, термин используется преимущественно в маркетинговых подходах для потребителей сегмента B2C, т.е. — конечных потребителей (домохозяйств), покупателей продуктов, товаров с целью облегчения их сознательного выбора в пользу снижения воздействия на окружающую среду. Поскольку деятельность портов происходит в сегменте B2B (клиенты портов — компании и организации), на котором присутствуют профессионалы, некоторые участники проекта задавали вопрос, насколько целесообразно использовать такой «легковесный» термин при планировании экологической программы развития порта. В этой связи было проведено исследование среди специалистов и экспертов в области портового хозяйства по поводу содержания и применения конструкции «экологически дружелюбный» по отношению к портам. Одновременно были рассмотрены наиболее важные вопросы экологизации порта: движущие силы, ключевые точки приложения усилий, участие стейкхолдеров. Результаты анкетирования послужили ценным материалом для дальнейшего формирования стратегии развития порта, разработка которой также являлась одним из результатов проекта.

Отметим, что данное исследование не было классическим опросом общественного мнения, требующим широкого охвата респондентов. В анкетировании участвовали исключительно эксперты, имеющие знания и опыт в сфере строительства и эксплуатации портовых сооружений. В исследовании приняли участие 32 специалиста,

представляющие научные и образовательные организации, контролирующие структуры, управление порта и предприятия, работающие в порту. Результаты опроса показали, что большая часть (69 %) респондентов не встречались ранее с данным термином до начала проекта. Эксперты, которым знаком данный термин, также не спешат его принимать: 39 % из их числа не используют данное выражение. Предложенный вариант ответа «слышал, но не использую» отметили, в основном, респонденты из сферы образования и науки, что является логичной закономерностью, поскольку именно данные эксперты больше всего работают с англоязычной литературой.

Мнения о целесообразности применения данной конструкции разделились фактически поровну. Чуть большее количество экспертов отметило, что использование термина «вполне приемлемо», хотя многие отмечали, что с оговорками: например, «применимо, но не в нашей стране», или «применимо для использования в области PR-технологий». Явные сторонники этого термина отмечали, что «термин новый, современный, позитивный» и отмечали, что за рубежом он уже активно используется. Комментарии экспертов, полагающих обратное, таковы: «очень тяжело воспринимается, не понятно значение этого словосочетания», «малоприменимо, порт по определению — загрязнитель и нарушитель природной среды», «неудачный перевод с английского». Наиболее критически настроенный респондент считает, что, строго говоря, здесь оба слова неверны: и «экологически», и «дружественный».

Экспертам, которые не поддержали применение конструкции «экологически дружественный», было предложено сформулировать самим замену данному выражению, и одна треть опрошенных экспертов указала свой вариант. В качестве альтернативы представителями сферы науки и образования было предложено использовать, например, такие выражения: «портовый комплекс, соблюдающий стандарты качества и не превышающий уровня загрязнения окружающей среды по основным показателям, утвержденным государственными правовыми документами», «порт, соответствующий нормам экологической безопасности, приемлемому уровню экологического риска», «порт, строительство и эксплуатация которого осуществляются с соблюдением нормативных требований к охране окружающей среды» (во всех случаях эксперты признавали, что хотя предложенные определения достаточно точные, но они являются громоздкими и «небрендоспособными»).

Эксперты от контролирующих структур предложили использовать: «стремящийся к улучшению окружающей среды при выполнении своих функций и обеспечивающий экологическую безопасность территории (акватории)», а специалисты компаний, работающих в порту: «экологически безопасный», просто «безопасный», «экологически чистый» и просто «чистый порт».

Следующий блок анкеты выяснял цели, на которые должна быть направлена экологическая политика порта, и звучал: «Какие признаки, на Ваш взгляд, указывают на то, что порт — «экологически дружественный»? Данный вопрос был открытым: возможность выбора вариантов ответа в анкете не было представлено, эксперты формулировали их самостоятельно.

Обобщенный результат представлен на рис. 1. Цифры указывают количество человек, отметивших данных вариант. На первом месте по числу упоминаний в числе критериев, ожидаемо, оказалась незагрязненная окружающая среда (отсутствие

загрязнения воды нефтепродуктами и взвешенными веществами, процессов избыточной эвтрофикации, свалок мусора, новых видов-вселенцев и, наоборот, «наличие вблизи портовых территорий искусственных мест обитания (как компенсаторных мер), биоразнообразие которых не уступает утраченному, а площадь не менее чем в 1,5 раза превышает участки, выведенные из обращения», «состав ихтиоценозов приближен к состоянию до строительства порта»).

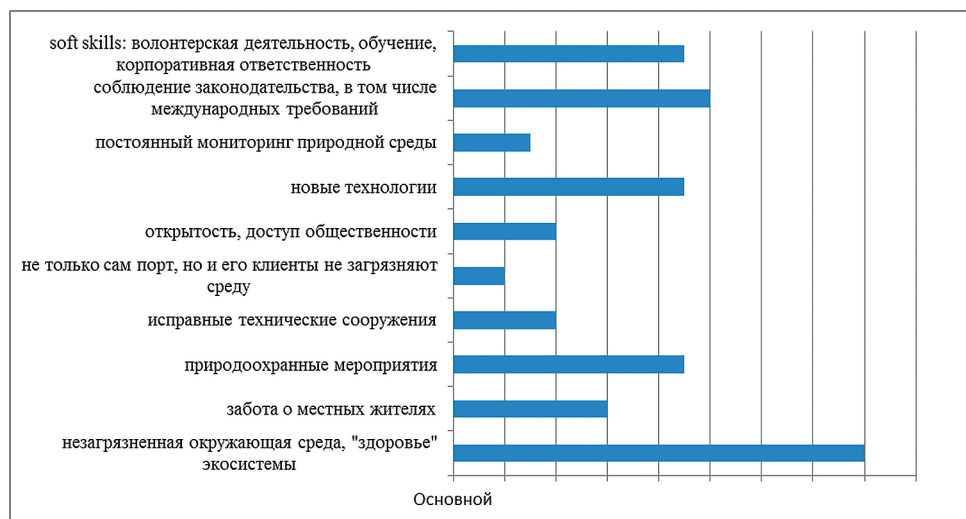


Рис. 1. Признаки, указывающие на то, что порт «экологически дружелюбен»

Анализ диаграммы показывает, что в качестве одинаково важных позиций эксперты отметили необходимость соблюдения законодательства и применение «мягких» мер — как, например: обучение, работа с персоналом, социальные программы, корпоративная ответственность.

Не слишком высоко оценены, но тем не менее упомянуты четырьмя экспертами доверительные отношения сторон — администрации порта, общественности и СМИ, а также доступность сведений о деятельности порта (как необходимый элемент экологически ответственного порта). Экспертами также отмечалось, что экологическая деятельность «должна проводиться на деле, а не на бумаге».

Следующий вопрос анкеты выявляет возможные риски в деятельности портов: «Какие сферы деятельности или воздействия современных портов являются, на Ваш взгляд, экологически наиболее опасными? Что в работе портов ведет к неустойчивости их развития и возможным проблемам?». Вопрос также был составлен как открытый; ответы респондентов представлены на рис. 2. Анализ ответов показывает, что на втором месте, после опасных грузов, оказывается «человеческий фактор», к которому мы отнесли ответы респондентов: «погоня за сверхприбылью», «нарушение технологии строительства», «потребительское отношение собственника к окружающей среде при эксплуатации порта», «ошибки в проектировании» и др. Социальные проблемы

указали два респондента, отмечая, что происходит «изменение привычного образа жизни коренных жителей и малых народностей», «возрастает количество гастарбайтеров». Один эксперт отметил важную проблему неправильной организации транспортной инфраструктуры — автомобильных и железных дорог.



Рис. 2. Сферы деятельности и воздействия современных российских портов, являющиеся экологически наиболее опасными (количество ответов)

Респондентам также требовалось ответить на вопрос о факторах, которые в ближайшем будущем будут способствовать экологизации деятельности портов. Экспертам были предложены 6 позиций для выбора наиболее значимых с возможностью собственного ответа. Больше всего (26 %) респондентов считает, что именно этика бизнеса способна влиять на соблюдение экологических норм и правил, при осуществлении деятельности порта, и это отмечали как раз представители бизнеса. Немного меньшее количество экспертов (24 %) уверены, что ужесточение российского законодательства — прямой путь к экологизации деятельности портов (рис. 3).

Ни один респондент из категории «руководитель частного предприятия» не отметил, что общественность и средства массовой информации способны влиять на деятельность портов. Из респондентов, относящихся к органам власти, только один отметил этот вариант ответа. Фактически, в общественные организации верят только ученые.

Среди собственных ответов респондентов были: «пересмотр экологического российского законодательства, не в плане ужесточения, а в плане приведения его в соответствие с реалиями», «снижение налогов и издержек при внедрении экологически чистых и сберегающих технологий», «планирование и разработка компенсаторных мер до начала портостроительства», «мониторинг соблюдения экологического законодательства и нормативных актов», «желательны рационализация отечественного законодательства, приведение его в системное соответствие с международным и, что очень важно, неуклонное соблюдение».

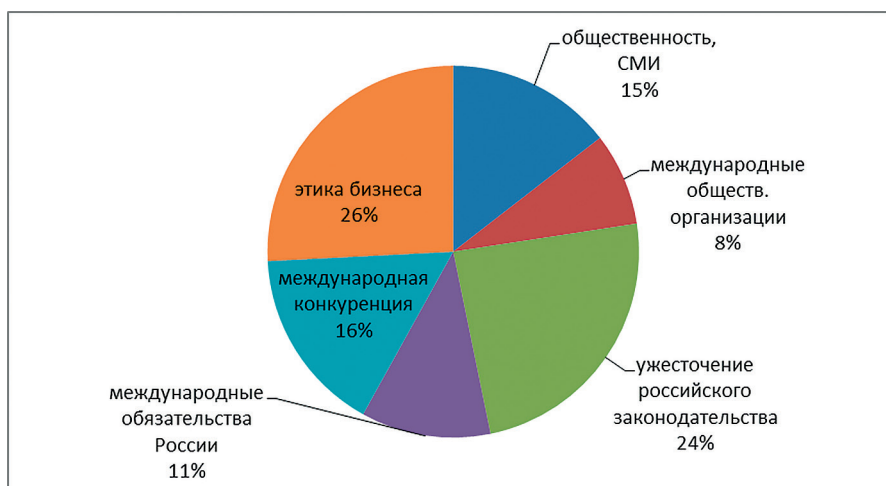


Рис. 3. Факторы, способные влиять на экологизацию деятельности портов
(в процентах от общего числа отвечающих)

На следующий вопрос анкеты — «Какие аспекты деятельности порта должны быть, на Ваш взгляд, в открытом доступе?» — респондентам было предложено самостоятельно написать вариант, отражающий их мнение по данному вопросу. Актуальными для открытого доступа респонденты практически в равных долях считают: информацию об авариях и загрязнениях, о процессах и компаниях на территории порта, данные мониторинга и проектную документацию, а также информацию о проводимых природоохранных мероприятиях.

Распределение ответов на последний вопрос — «Какие организации (какого рода) могли бы более всего способствовать превращению порта в «экологически дружелюбный?» — представлено на рис. 4. Как видно из рисунка, научные организации в качестве движущей силы «экологизации» деятельности порта упомянуло всего 5 респондентов, и это — учитывая, что четверть респондентов были именно представителями сферы науки и образования (8 человек).

Анализ анкет экспертов показал, что круг экономических и технических параметров, которые традиционно определяли потенциал успеха бизнеса, в настоящее время расширяется за счет экологических и социальных факторов, которые необходимо учитывать при разработке стратегии развития портовых комплексов.

Реализуемые систематически, продуманные и комплексные, а не разрозненные меры по охране окружающей среды, находятся в области стратегических интересов предприятия и вполне соответствуют его целям завоевать и поддерживать конкурентные преимущества.

Исходя из изложенного, основной целью разработки экологической стратегии порта «Усть-Луга» было определено совмещение возможности развития инфраструктуры морского порта и здоровой, безопасной среды обитания в пределах окружающих территорий и акваторий.

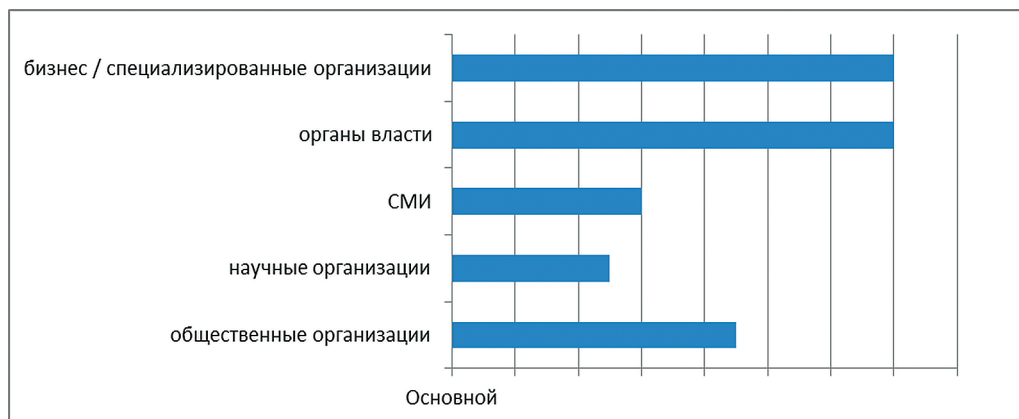


Рис. 4. Организации, способствующие превращению порта в «экологически дружелюбный» (количество упоминаний экспертов)

Разработанная стратегия определяет цели, задачи и механизмы экологически безопасного развития морского порта «Усть-Луга», содержит приоритетные направления и конкретные мероприятия, предусматривающие согласованное развитие всех участников портовой деятельности.

Нами были выделены следующие разделы стратегии.

1. Оценка современного состояния и анализ ведущих факторов развития порта, влияющих на экологическую обстановку. Экологические вызовы и угрозы.
2. Приоритетные направления экологической стратегии.
 - 2.1. Экологические цели и задачи долгосрочного развития порта.
 - 2.2. Целевые индикаторы стратегии.
3. Основные направления реализации экологической стратегии порта «Усть-Луга».
4. Механизмы и инструменты реализации стратегии.
5. Ожидаемые результаты реализации стратегии.

Основной целью реализации стратегии признано сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности в процессе функционирования и развития порта «Усть-Луга» на основе тесного сотрудничества между представителями порта, властью и жителями прибрежной территории, с опорой на принципы устойчивого развития и экологическое мышление.

Для реализации основной цели Стратегии разработаны 4 основные стратегические задачи.

Первая стратегическая задача направлена на достижение значимых фиксируемых показателей, определяющих воздействие портовых процессов на окружающую среду. Задачу снижения воздействия портовых сооружений на экосистему прибрежной зоны следует разделить на два направления:

- снижение воздействия на стадии строительства порта;
- снижение воздействия на операционном этапе.

Каждая стадия имеет свои приоритетные виды воздействия и загрязнения, реестр которых компания должна составить и своевременно актуализировать, что позволит ей выявить и устранить «узкие места» и ограничения. При определении воздействий порта на окружающую среду необходимо учитывать деятельность всех компаний, функционирующих в зоне ответственности порта. С целью снижения воздействия на окружающую среду компания должна стремиться использовать весь арсенал современных средств: как технические и технологические меры, так и организационно-управленческие инструменты; как активные, так и компенсационные способы устранения своего негативного влияния на экосистему. Поддержка экологической инфраструктуры порта, включая меры по безопасной утилизации отходов, является важнейшей частью выполнения данной задачи. Портовые власти несут ответственность также за близлежащие территории, которые находятся в зоне влияния порта и его деятельности.

Вторая задача связана с поддержанием устойчивости достижений, полученных в ходе реализации предыдущей задачи. Основные направления ее реализации:

- снижение рисков и связанных с ними ущербов от природных катаклизмов и техногенных аварий;
- стимулирование инноваций в сфере экологии, развитие инфраструктуры, обеспечивающей трансфер знаний и технологий в экологической сфере;
- развитие кластерных инициатив как организационной формы взаимодействия множества самостоятельных организаций (научных, образовательных и производственных), что будет способствовать концентрации специалистов высокого уровня (ученых, организаторов производства, инженеров, технологов, конструкторов и т.д.), действующих в направлении «экологизации» портовой деятельности. Развитие данного направления связано с международным сотрудничеством и требует интеграции на межнациональном уровне.

Третья задача включает развитие информационной составляющей — как для внутренних целей порта (организация мониторинга процессов в прибрежной зоне для своевременного принятия решений), так и внешних, направленных на повышение уровня осведомленности стейкхолдеров порта. Стратегическое планирование должно базироваться на надежной информационной основе, построенной на современных принципах функционирования информационных систем, и поддерживаться опытом научных исследований. Это выражается в системах мониторинга, которые должны входить важнейшей составной частью в общую систему управления экологическими аспектами порта.

Четвертой задачей определены усилия по стимулированию ответственного отношения к экологическим аспектам деятельности сотрудников порта и всех участников портовой деятельности. Мотивация, обучение, просвещение сотрудников порта, закрепление экологической ответственности за отделами и службами порта будет способствовать общему повышению экологической культуры работников компании и вызовет положительные эффекты в долгосрочном периоде.

Для каждой стратегической задачи определены индикаторы ее достижения. В рамках работы над стратегией разработаны индикаторы, характеризующие не только территорию и акваторию порта, но и общее влияние порта на региональное развитие. Вторая группа индикаторов может быть использована для информирования стейкхолдеров

о результатах развития портового комплекса. Авторами предлагается использовать такие показатели, как освоенность прибрежной зоны, свободный доступ к морю, индустриальность прибрежной зоны, разнообразие видов природопользования и др.

Основными направлениями реализации экологической стратегии порта «Усть-Луга» названы:

- создание информационного центра экологической информации и мониторинга;
- усиление производственного экологического контроля;
- развитие кластерных инициатив;
- трансфер инноваций;
- построение системы управления рисками.

В результате реализации стратегии предполагается получение экологического, экономического и социального эффектов, в частности:

- удовлетворение потребности населения в здоровой и безопасной окружающей среде;
- выведение порта «Усть-Луга» в число передовых портов в сфере обеспечения экологической безопасности;
- повышение обоснованности принятия решений руководством порта за счет эффективной системы поступления информации, а также обеспечение осведомленности стейкхолдеров;
- совершенствование управления экологическими аспектами деятельности порта, снижение воздействия порта на окружающую среду.

Выполненные исследования способствуют развитию концепции «экологически дружелюбного порта» [1, 3] и ее внедрению в практику природопользования не только на Балтике, но также на акваториях Северного Ледовитого океана.

Литература

1. Жигульский В.А., Шилин М.Б. Экологически дружелюбный порт в Арктике. // Материалы IX межд. конф. по географии и картографированию океана. — СПб.: изд-во РГО, 2015, с. 185–190.
2. Чусов А.Н., Шилин М.Б., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Тимошина А.В. Использование намытой береговой территории в Невской губе для строительства Лахта-Центра. // Учёные Записки РГГМУ, 2014, № 35, с. 156–164.
3. Шилин М.Б., Кононенко М.Р., Мамаева М.А. Стратегия развития экологически дружелюбного порта. // Материалы XVI межд. экол. форума «День Балтийского моря». — СПб., 2015, с. 23–24.
4. Ports of Bremen/Bremerhaven. Environmental Report 2013. — Электронный ресурс: [http://www.wfb-bremen.de/en/wfb-ports-us].
5. The Sustainable Development and the Construction of Resourcesaving and Environmentally Friendly Port in Shanghai. Shanghai Transport and Port Authority February 20, 2012.
6. Электронный ресурс: [http://www.ppcac.org/10-Shanghai_Port_Environmental%20Friendly%20Port%20-%20English.pdf].
7. Webster's New Millennium Dictionary of English, Edition (v 0.9.7). Lexico Publishing Group, LLC.

В.В. Дроздов

**КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ:
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ**

V.V. Drozdov

**COMPLEXED GEO-ECOLOGICAL ASSESSMENT
OF INLAND SEAS ECOSYSTEMS:
THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL APPROACHES AND METHODS**

Обоснована современная актуальность и значимость применения комплексных геоэкологических исследований экосистем внутренних морей с учетом их природных особенностей и специфики антропогенного воздействия. Предложена и рассмотрена структура морской геоэкологической системы, включающая природные и природно-технические подсистемы. Показаны возможности применения ряда научных подходов и методов в геоэкологических исследованиях экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей. Сформулированы требования к осуществлению комплексной геоэкологической оценки морских экологических систем (КГЭО-МЭС).

Ключевые слова: внутренние моря Европы, морская геоэкологическая система, научные подходы и методы, комплексная геоэкологическая оценка.

The urgency and importance in the present conditions of complex geo-ecological research inland seas taking into account their natural characteristics and specific human impact. Proposed and examined the structure of marine geo-ecological systems, including natural and natural-technical subsystem. On concrete examples showing the possibility of applying scientific approaches and methods in geo-ecological studies ecosystem of the Baltic, White, Black and Azov Seas. The requirements for the implementation of an complexed geo-ecological assessment of marine ecological systems (CGEA-MES).

Key words: inland sea of Europe, marine geo-ecological system, scientific approaches and methods, integrated geoecological assessment.

Введение

В последние десятилетия во многих странах мира на фоне изменений климата и ряда экологических и социально-экономических кризисных явлений начали разрабатываться новые научно-практические подходы применительно к обеспечению рационального природопользования и устойчивого развития. Стимулом для активизации исследований в данном направлении послужила Декларация по окружающей среде и развитию, принятая по итогам Международной конференции Организации объединенных наций (ООН) по окружающей среде и развитию 3–14 июня 1992 г. в г. Рио-де-Жанейро (Бразилия). Декларация включает в себя 27 принципов, которые определяют права и обязанности стран в деле обеспечения развития и благосостояния людей. Кроме того, на конференции в Рио-де-Жанейро была принята «Повестка дня на

XXI век» — Программа устойчивого развития с социальной, экономической и экологической точек зрения. В дальнейшем, с 26 августа по 4 сентября 2002 г. в Йоханнесбурге (ЮАР) состоялась Всемирная встреча на высшем уровне по устойчивому развитию, которая помогла обобщить результаты, которых удалось достичь в процессе внедрения принятых ранее деклараций. В июне 2012 г. в Рио-де-Жанейро состоялась новая конференция по окружающей среде и развитию. В результате был сформулирован ряд базовых принципов, внедрение которых в практику морского природопользования и водного хозяйства должно способствовать решению глобальных проблем современности [10]:

- защита океана и морей от чрезмерного вылова рыбы для сохранения важнейших промысловых популяций;
- защита от деградации морских экосистем при учете отрицательного воздействия на них колебаний климата;
- улучшение способов сохранения и управления водными ресурсами в целях содействия развитию и защиты от опустынивания и др.

Программа Организации объединенных наций по окружающей (англ. UNEP — United Nations Environment Programme) учреждена на основе резолюции Генеральной Ассамблеи ООН № 2997 от 15 декабря 1972 г. для развития международной координации в деле охраны окружающей среды. Деятельность UNEP включает в себя реализацию различных проектов в области экологии на региональном и глобальном уровнях, в том числе применительно к оценке колебаний климата и их влиянию на состояние морских и наземных экосистем [17].

Нормативные акты и рекомендации в области охраны окружающей среды и оценки экосистемных следствий изменчивости климата, разработанные при реализации различных международных природоохранных Программ и Комиссий [10, 14, 15, 16, 17], нашли свое отражение в ряде российских документов: климатической доктрине Российской Федерации, принятой 17.12.2009, в ряде государственных программ, таких как «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» и «Развитие науки и технологий на 2013–2020 годы» от 15.04.2014 г.; «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» от 21.04.2014; «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 годы» от 21.02.2008 и ряде других. Кроме того, в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации», обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования рассматривается в качестве важных государственных задач.

Основной задачей геоэкологии как междисциплинарного научного направления является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек биосферы под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды. Термин «геоэкология» впервые ввёл немецкий географ Карл Тролл (нем. Carl Troll) (1899–1975) в 1960-х гг., понимая под этим географическую экологию — учения о взаимодействии рельефа, климата, растительности и человеческого общества [18]. Такое понятие геоэкологии в основном соответствует понятиям «глобальная экология» М.И. Будыко [2], содержанию учебника

В.Н. Голубева [4] по данной дисциплине, а также учебного пособия Н.П. Смирнова, изданного в РГГМУ в 2011 г. [11]. Очевидно, что осуществление именно геоэкологических исследований способно в значительной степени способствовать решению ряда важных современных национальных государственных и международных задач в области охраны окружающей среды, оценки ее изменений под влиянием природных и антропогенных процессов и факторов и рационального природопользования.

Целью настоящей работы является обоснование применимости конкретных научно-практических подходов и методов для осуществления комплексной геоэкологической оценки состояния таких сложных природных объектов как экосистемы внутренних морей Европы, что могло бы способствовать успешной реализации российских и международных природоохранных проектов.

Структура морской геоэкологической системы

Экосистемы внутренних морей Европы — Балтийского, Белого, Черного и Азовского, являются сложными природными системами, с наличием существенного антропогенного воздействия. В некоторых акваториях по причине значительного антропогенного преобразования (портовые комплексы, устьевые зоны рек, районы дамб и плотин, подводные трубопроводные комплексы и др.) окружающая среда является по сути природно-антропогенной.

В состав морской геоэкологической системы целесообразно включать и рассматривать две главные подсистемы первого порядка: **природная экологическая** и **морская хозяйственная**. Каждая из этих подсистем включает в свой состав более мелкие подсистемы второго порядка: экологическая подсистема состоит из **геоценоза**, включающего природные абиотические компоненты (климатические, геологические, океанологические, гидрологические и гидрохимические параметры) и **биоценоза** включающего природные биотические компоненты (совокупность биологических видов водных организмов, принадлежащих к экологическим группам планктона, nekтона и бентоса и их структурно-функциональные показатели, в том числе биопродуктивность). Морская хозяйственная подсистема имеет в своем составе **природно-технические береговые** и **природно-технические бассейновые** системы, а также **природно-технические и технические** системы, функционирующие в открытом море (подводные трубопроводы, добывающие платформы, морские полигоны, регулярные маршруты судов). Выбор принципов, подходов, методов и методологии изучения столь сложных объектов должен основываться на понимании их структуры и внутренних взаимосвязях. На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема морской геоэкологической системы применительно к внутренним морям Европы, анализ которой позволяет выработать научные подходы для комплексного эффективного изучения данных объектов.

Следует отметить, что учет геологических параметров при исследовании функционирования геосистем внутренних морей Европы весьма важен для их биосистем. Белое, Балтийское, Черное и Азовское моря обладают в различной степени ослабленной связью с Мировым океаном и смежными морскими акваториями. Данная связь осуществляется через зоны проливов, обладающих весьма не равномерным подводным рельефом. От ширины и глубины проливов, а также от наличия порогов и

других подводных препятствий во многом зависят параметры адвективного водообмена указанных внутренних морей соответственно с Баренцевым, Северным, Мраморным, Средиземным и Черным морями. Природные геологические изменения в зоне проливов, связанные с геодинамическими процессами в земной коре или антропогенной морской хозяйственной деятельностью, способны весьма значительно и быстро повлиять на водообмен и баланс вод каждого из внутренних морей. Это, в свою очередь, способно привести к изменению океанологических условий в значительных пространственных масштабах и формированию выраженных тенденций изменения значений экологических факторов морской среды, прежде всего, солёности воды, что негативно скажется на структурно-функциональных характеристиках их биосистем, в том числе на продуктивности ряда популяций экономически ценных промысловых рыб. Известно, что за последние 8–10 тыс. лет связь внутренних морей Европы с Мировым океаном неоднократно практически исчезала, что приводило к опреснению их акваторий и преимущественному распространению пресноводных или пресноводно-солёноватоводных гидробионтов, в том числе рыб, а затем вновь возникала, что сопровождалось соответствующим изменением в геосистемах и биосистемах с началом доминирования фауны морского происхождения. Поэтому современная фауна внутренних морей, особенно Балтийского, Азовского и Чёрного имеет смешанный состав по своему происхождению, что также обуславливает особую сложность при изучении причин динамики ее биопродуктивности, в том числе промысловой.

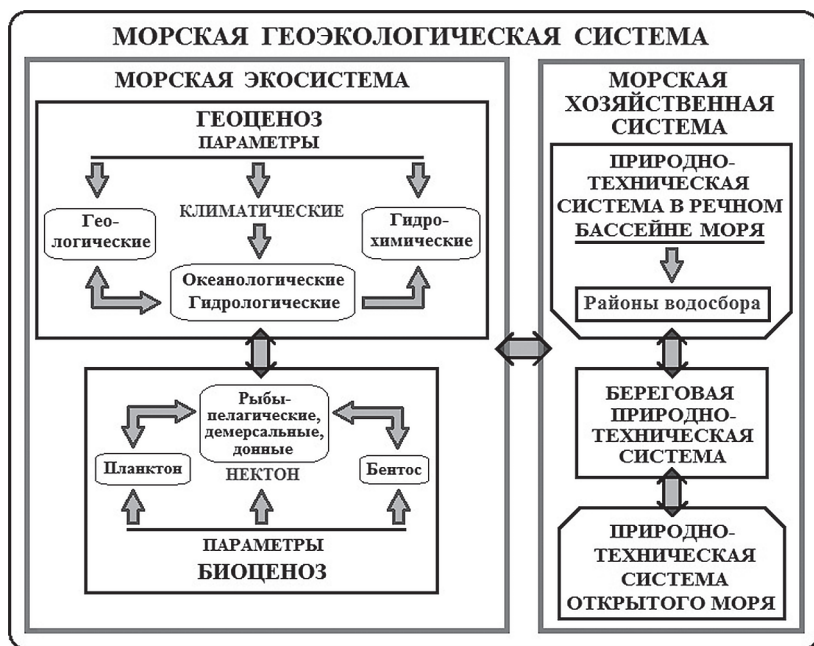


Рис. 1. Структурная схема морской геоэкологической системы и ее подсистем применительно к внутренним морям Европы

Научные подходы в морской геоэкологии

На основе обобщения полученных автором статьи научных результатов [6–8] и др., анализа ряда публикаций и докладов [1–5, 9, 11–14, 18] и др., а также собственного практического опыта исследования экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей представляется целесообразным применение при реализации комплексной геоэкологической оценки внутренних морей Европы следующих научных подходов: дисциплинарного, междисциплинарного, интегрального, комплексного и системного. В табл. 1 представлены области их целевого применения при реализации комплексных геоэкологических исследований.

Таблица 1

**Используемые научные подходы и их применение
в исследованиях экосистем внутренних морей Европы**

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ	ПРИМЕНЕНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ
1. Дисциплинарный →	Анализ метеорологических, океанологических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических данных математическими методами
2. Междисциплинарный →	Геоэкологические исследования морских акваторий различными методами
3. Интегральный →	Обобщение и синтез результатов анализа метеорологических, океанологических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических данных
4. Комплексный →	Обобщение и синтез экологических, экономических и социальных сведений и данных
5. Системный →	Систематизация полученных результатов и разработка логических моделей функционирования экосистем

Дисциплинарный подход позволяет глубоко изучить отдельные биологические или географические особенности экосистем. Например, адаптации конкретных популяций данного вида к условиям абиотической среды — температуре или солености воды в данном локальном районе моря. Географические узкоспециальные знания могут помочь, например, при исследовании причин формирования подводного рельефа в условиях гляциоизостатических поднятий земной коры или тектонических разломов, которые, в свою очередь могут определять характер подводных течений и горизонтальный (адвективный) водообмен и аэрирование донных биоценозов, оказывая влияние на биопродуктивность и биоразнообразие. Достижения и методы отдельных разделов гидрохимии и аналитической химии помогут в анализе трансформаций форм фосфора или азота в водных экосистемах, в количественном анализе содержания биогенных веществ в данном районе моря, что очередь будет способствовать лучшему пониманию причин динамики первичной и вторичной биологической продуктивности.

Дисциплинарный подход, таким образом, дифференцирует окружающий мир на отдельные предметные области, изучение каждой из которых может оказаться весьма необходимым экологу. Однако дисциплинарный подход, только биологический или географический, не позволяет провести исследование всей экосистемы и оценить ее функционирование и динамику. Эколог должен обобщить результаты, полученные при использовании методов и знаний частных наук, что приводит к возникновению междисциплинарного подхода, необходимого при исследовании компонентов биосистем и геосистем, вместе слагающих экосистему.

Междисциплинарный подход, в отличие от дисциплинарного, допускает прямой перенос методов исследования из одной смежной научной дисциплины в другую. Перенос методов в этом случае обусловлен обнаружением сходств исследуемых предметных областей. В результате применения данного подхода возник ряд междисциплинарных наук, например, геоэкология, биофизика, биохимия и др. Однако в междисциплинарных исследованиях всегда присутствуют «ведущая» и «ведомая» дисциплины. Все результаты, даже те, которые получены при помощи методов и методологии «ведомой» дисциплины, интерпретируются с позиции дисциплинарного подхода «ведущей» дисциплины. Поэтому междисциплинарный подход предназначен, прежде всего, для решения конкретных дисциплинарных проблем, в решении которых какая-либо конкретная дисциплина испытывает концептуальные и методологические трудности. Примером современного междисциплинарного направления в науке является *синергэтика* (от др. греч. συνέρχων — совместная деятельность) или теория сложных систем, изучающая общие закономерности явлений и процессов в сложных неравновесных системах — экологических, физических, химических, биологических, социальных и др. на основе присущих им принципов самоорганизации.

Интегральный подход основан на объединении, синтезе различных предметов и их свойств в отдельно взятой сфере (природной или социальной среде) в единую сложную модель действительности. Данный подход доказал свою корректность в определённых случаях, эффективно заменяя редукционизм, т.е. анализ единичных свойств предметов без процедур их системного синтеза. Применительно к задачам исследования экосистем внутренних морей интегральный подход реализуется при обобщении и синтезе результатов анализа природных характеристик, определяющих функционирование гео- и био- подсистем морских экосистем: метеорологических, океанологических, гидрологических и гидробиологических.

Комплексный подход основан на одновременном обобщении и синтезе сведений и данных из различных сфер. В данном случае комплексный подход используется при обобщении экологических, экономических и социологических сведений и данных в процессе реализации комплексной геоэкологической оценки состояния экосистем внутренних морей Европы. Использование этого научного подхода как одного из основных определяется тем, что Балтийское, Белое, Черное и Азовское моря и их речные бассейны, являясь одними из наиболее населенных районов Европы, являются сосредоточением значительного экономического промышленного, социального демографического и природного — экологического потенциалов. Функционирование их экосистем, в отличие от большинства окраинных морей и тем более открытых участков Мирового океана, зависит не только от природных климатических, океанологических

и гидрологических процессов, но и во многом от антропогенного воздействия на их био- и геосистемы.

В основе *системного подхода* лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов или совокупности взаимодействующих объектов. Основными принципами системного подхода являются следующие [3]:

- целостность, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящих уровней;
- иерархичность строения, т.е. наличие нескольких элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня. Реализация этого принципа хорошо видна на примере любой конкретной организации. Как известно, любая организация представляет собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой. Одна подчиняется другой;
- структуризация, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры;
- множественность, позволяющая использовать множество кибернетических, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом;
- эмерджентность (от англ. *emergent* — возникающий, неожиданно появляющийся) — это характеристика отражающая наличие у системы особых свойств, не присущих её отдельным элементам, а также сумме элементов, не связанных между собой системообразующими связями. Например, биологическую продуктивность экосистемы нельзя сводить просто к сумме продуктивностей ее отдельных популяций взятых по отдельности в данный момент времени, так как между ними существуют различные биотические связи, такие как хищничество, конкуренция, паразитизм и др., влияющие в итоге на воспроизводство конкретных видов планктона, nekтона и бентоса. Понятия рождаемость и смертность неприменимы к отдельной особи, но применимы к популяции или виду в целом.

Системный подход рассматривает природные или природно-техногенные объекты не самостоятельно, а включенными в систему с другими объектами, с которыми они непрерывно взаимодействуют и изменяют свои свойства под влиянием связанных с ними объектов. При этом рассматривается соподчиненная многоуровневая предметная структура, слагающая систему. Первый уровень — предмет, как единица окружающего мира; второй уровень — предмет предстает собой часть своей однородной системы; третий уровень — предмет представляется как подчиняющийся закономерностям микросистем или подсистем низшего ранга. Каждый из уровней, выступая в своеобразии своей структуры, законов образования и функционирования, открывает внутреннее, «горизонтальные» отношения и связи его частей (элементов). Межуровневые отношения выступают как «вертикальные» связи объекта, как генетические ступени восхождения к его качественным свойствам. На каждом из уровней предметом анализа выступают разные подсистемы, рассматриваемые в целостности своей внутренней структуры, в статике и динамике, в становлении и развитии. В системном исследовании

анализируемый объект рассматривается как определенное множество элементов, взаимосвязь которых обуславливает целостные свойства этого множества. Для понимания свойств систем, в том числе экологических, необходимо выявить реализуемые данной системой процессы управления и причинно-следственные связи между различными процессами, поддерживающими существование самой системы. Такими процессами могут являться климатические, океанологические и гидрологические, демонстрирующие устойчивые связи в регионах внутренних морей Европы, а также геодинамические процессы, формирующие очертания береговой линии, подводный рельеф, тип субстрата и структуру дна морских экосистем.

Таким образом, именно сочетание перечисленного ряда научных подходов позволит наиболее эффективно оценить влияние таких сложных абиотических процессов как колебания климата и океанологических условий на состояние и промысловую биопродуктивность экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей.

Осуществление комплексной геоэкологической оценки

Обобщение положений Конвенций Международных конференций по окружающей среде и развитию, а также нормативных и рекомендательных документов UNEP, IPCC и GEF позволяет обосновать следующий подход к реализации комплексной геоэкологической оценки состояния морских экосистем (КГЭО-МЭС). Понятие «оценка» выражает отношение между оцениваемым объектом и субъектом. Оценка может являться мнением о ценности, уровне или значении какого-то явления или процесса. С другой стороны, «оценивание» это комплекс мероприятий и процедур, деятельность (анализ и синтез) по получению оценки как итогового результата проявления сложного природного или техногенного процесса. При реализации комплексной (интегральной) геоэкологической оценки на основе ряда аналитических операций и обобщений, применительно к компонентам геосистемы, биосистемы и антропогенному воздействию устанавливается степень деградации (нарушения) экосистемы под влиянием антропогенных и/или природных факторов с выделением конкретных районов наибольшего экологического неблагополучия или ущерба.

Следует выделять три главных направления научных и практических исследований при реализации КГЭО-МЭС в области *экологии, экономики и социума*. Применение именно такого комплексного подхода должно обеспечить объективность КГЭО-МЭС исследуемого объекта с позиций критериев устойчивого развития.

Формулируются следующие требования к проведению и содержанию Комплексной геоэкологической оценки для преимущественно природных и природно-антропогенных экосистем:

- итоговые результаты КГЭО-МЭС должны быть представлены в формальном однозначном виде, понятном для круга лиц, принимающих решение, КГЭО-МЭС по своей структуре должна применять научные подходы и методы, позволяющие осуществлять соответствующие оценки на региональном и локальном уровнях;
- КГЭО-МЭС должна позволять выявлять участки водных экосистем (акваторий) или районы в речном бассейне моря, процессы и явления в которых

потенциально опасны в экологическом плане для всей морской экосистемы или значительной её части. Такие районы следует называть геоэкологическими импактными районами (от англ. impact — сильное воздействие) морских экосистем — ГИМР-МЭС;

- при реализации КГЭО целесообразно использовать научно-обоснованные индикаторы состояния абиотической и биотической среды в ГИМР-МЭС. Индикаторный подход способен существенно повысить эффективность оценок и позволяет оперативно отслеживать и прогнозировать изменения в структурных и функциональных параметрах геосистемы и биосистемы формирующих экосистему моря;
- КГЭО-МЭС должна быть организована таким образом, чтобы ее можно было дополнять и корректировать при необходимости;
- КГЭО-МЭС должна проводиться с оценкой возникающей при этом неопределенности на основе применения статистико-вероятностных методов анализа данных и результатов;
- КГЭО-МЭС должна отвечать требованиям экономической эффективности, ее оценки и рекомендации при своем выполнении не должны приводить к экономической выгоде в определенных отраслях хозяйства;
- КГЭО-МЭС должна опираться на существующую в данный момент приборно-аналитическую базу в учреждениях Российской Федерации, уполномоченных заниматься экологическим мониторингом и анализом состояния водных биоресурсов.

На рис. 2 представлена структурная схема осуществления комплексной геоэкологической оценки состояния морской экосистемы под влиянием климатических колебаний. Данная схема состоит из трех основных блоков — экология, экономика, социум. Применительно к каждому из них задан набор конкретных параметров оценки. Следует отметить, что не только экологические, но и экономические и социальные процессы находятся в прямых или косвенных зависимостях от колебаний климата и связанных с ними океанологических и гидрологических условий и процессов. При осуществлении комплексной геоэкологической оценки должны учитываться и анализироваться различные крупномасштабные климатообразующие процессы — внешние космогеофизические, внутрисистемные и их показатели, а затем устанавливаются региональные особенности их влияния на морские экосистемы. КГЭО-МЭС конкретной морской акватории должна удовлетворять запросам систем принятия решений и способствовать поддержке устойчивого развития в области экономики морского хозяйственного комплекса, в том числе рыбохозяйственного. Целесообразно также рассматривать такие параметры, находящиеся в определенной зависимости от климата, как грузооборот портов, объемы добычи минеральных или биологических ресурсов, численность рыбопромысловых хозяйств.

Грузооборот портов является не только одной из важных экономических характеристик, но и может являться показателем потенциального биологического трансграничного загрязнения водных экосистем балластными водами крупнотоннажных судов, в особенности, если эксплуатируются суда танкерного флота. Данная экологическая проблема весьма актуальна для внутренних морей, в особенности для Балтийского,

Черного и Азовского. Необходимо, чтобы итоговая информация, основанная на результатах КГЭО, могла обеспечивать более точный учет реальных затрат и выгод проектов в природоохранной политике посредством количественного определения их экологических последствий. Объективность КГЭО-МЭС определяется достоверностью исходной информации. Затраты на поддержание информационной системы, формирующей базу данных и базу знаний должны быть сопоставимы с экономическим эффектом от принятых на ее основе управленческих решений.



Рис. 2. Структурная схема осуществления комплексной геоэкологической оценки состояния морской экосистемы

При постоянном обновлении КГЭО-МЭС она может рассматриваться как инструмент перспективного планирования морской хозяйственной деятельности на основе принципов экологической безопасности и рационального природопользования.

Немаловажную роль в комплексной геоэкологической оценке состояния морской среды играют социологические методы исследования. Они могут быть выражены в различных формах — социологических опросах, сборе и анализе данных о численности работающих в конкретной отрасли морского хозяйства — рыбопромысловой, судостроительной, транспортной, минерально-сырьевой и т.д. Занятость и благосостояние населения прибрежных промышленных центров, сельских и городских поселений будут напрямую зависеть от эффективности работы соответствующих отраслей экономики, которые, в свою очередь, находятся в зависимости от колебаний климата и вызываемых ими океанологических и гидрологических изменений на акватории морей и в их

речных бассейнах. Согласно статье № 42 Конституции РФ, каждый гражданин граждане имеют право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением. Поэтому мнение населения, безусловно, занимает важное место в системе комплексных геоэкологических оценок состояния морских экосистем внутренних морей с развитой хозяйственной деятельностью на их акваториях. Это должно способствовать процессу реализации эффективной экологической политики и проведения в жизнь принятых решений.

Важным инструментом осуществления комплексной геоэкологической оценки состояния морских экосистем внутренних морей под влиянием колебаний климата и океанологических условий является использование индикаторных методов и индексов [13]. В единой сложной экосистеме ее подсистемы — геосистема и биосистема обладают пространственной, временной и функциональной структурой. Нарушение всей структуры или какой-либо из ее частей приводит к изменению свойств, а значит, и качества системы в целом. Эти нарушения (отклонения) могут быть обнаружены посредством гео- и бииндикаторов, а также индексов, создаваемых на их основе. В качестве геоиндикатора должен выступать количественный абиотический показатель, позволяющий объективно оценить состояние и степень устойчивости абиотической среды (геосистемы) в рамках данной экосистемы на фоне наблюдаемых и прогнозируемых климатических колебаний или иных изменений в окружающей среде. Биоиндикатор — это количественный биотический показатель, позволяющий объективно оценить состояние и степень устойчивости биотической среды (биосистемы — биоценоза) экосистемы на фоне наблюдаемых и прогнозируемых климатических колебаний.

Индексом следует называть показатель, характеризующий степень отклонения индикаторов (не менее двух) от некоторого заданного значения или определенное соотношение между значениями индикаторов. Например, широко используемый в данной работе климатический индекс, отражающий интенсивность атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой — индекс Северо-Атлантического колебания, представляет собой разность значений в среднем за зимний период двух индикаторов — величин атмосферного давления на уровне моря, измеренных на станциях наблюдений расположенных вблизи центров действия атмосферы — Азорского максимума атмосферного давления и Исландского минимума. Разность значений атмосферного давления формирует градиент значений, от величины которого зависит направленность и интенсивность воздушных циклонических вихрей, обеспечивающих перенос тепла и влаги из Северной Атлантики на Европу.

Импактное геоэкологическое районирование

Обобщение полученных автором статьи результатов кластерного, корреляционного, спектрального и регрессионного анализа климатических, океанологических, гидрологических и биопродукционных данных применительно к различным акваториям внутренних морей и районам их речных бассейнов позволило сформировать обобщенные логические модели влияния колебаний климата на компоненты экосистем представленные на рис. 3 и 4. Для каждого морского бассейна и морской экосистемы

установлены формы и индексы климатообразующих процессов — индексов и форм атмосферной циркуляции Вангенгейма–Гирса, Б.Л. Дзердзеевского, а также Северо-Атлантического колебания (NAO) которые с наибольшей эффективностью способны отражать влияние климатических изменений на компоненты гео- и экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей. Это позволило установить **импактные** геоэкологические районы, изменения в которых, под влиянием климата, способны повлиять в дальнейшем на функционирование значительной части или всей гео- и экосистемы моря, в том числе оказать прямое и значительное воздействие на биопродуктивность, а также на экономику ряда отраслей морского хозяйственного комплекса.

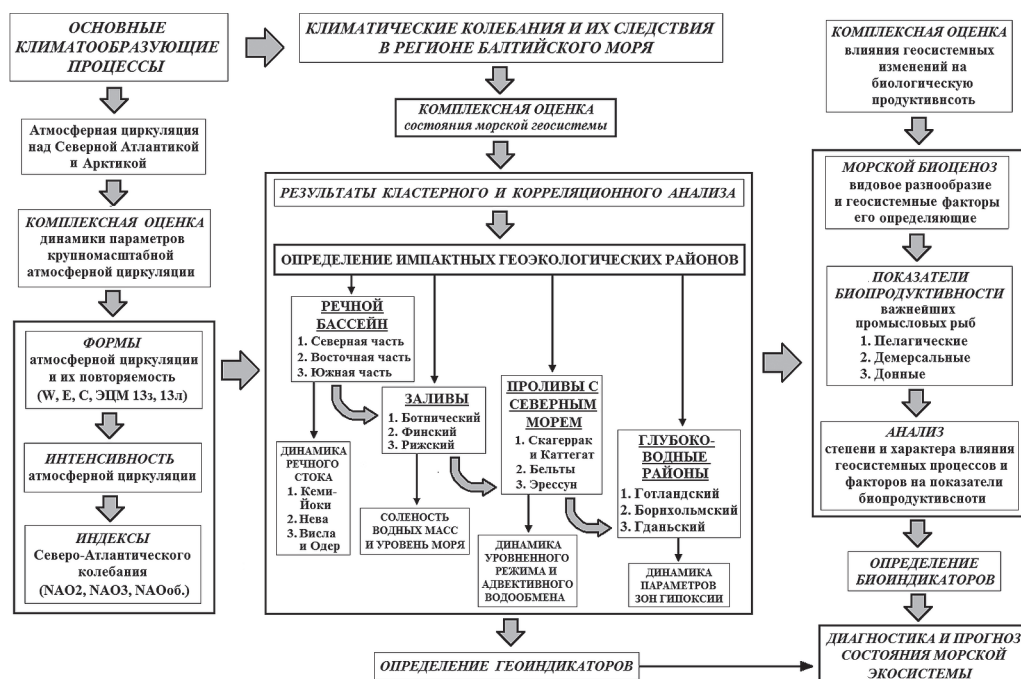


Рис. 3. Обобщенная логическая модель оценки влияния колебаний климата на компоненты экосистемы Балтийского моря

В экосистеме Балтийского моря импактными геоэкологическими районами являются: северная, восточная и южная части речного бассейна; заливы — Ботнический, Финский, Рижский; проливы — Скагеррак и Каттегат, Зунд, Бельты; глубоководные районы — Готландский, Борнхольмский, Гданьский. В экосистеме Белого моря к импактным геоэкологическим районам следует отнести следующие: речной бассейн — восточная и южная части; заливы — Двинский, Онежский, Мезенский; проливы — район Воронки, западно-горловский пролив; глубоководные районы — кандалакшский желоб, выход из Онежского залива (полюс холода), выход из Канда-лакшского залива (полюс тепла). В экосистеме Черного моря, основными импактными

геоэкологическими районами являются: северо-западный район речного бассейна; северо-западный шельф — дельта Дуная, днепровский лиман, одесский залив; проливы со Средиземным морем; глубоководные районы — западная и восточные впадины моря, северо-восточной склон. В экосистеме Азовского моря геоэкологическими импактными следует считать северо-восточную и юго-восточную части речного бассейна; заливы — Таганрогский, Темрюкский, Таманский; проливы — Керченский, Генический; батипелагиаль — горизонты глубин 10 и 15 м.

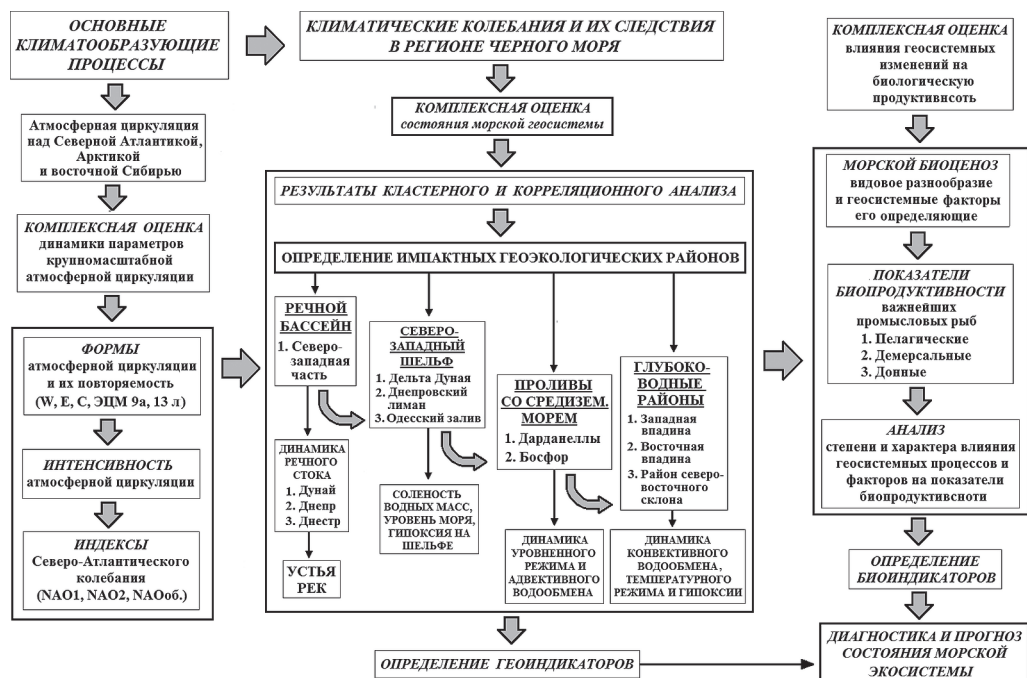


Рис. 4. Обобщенная логическая модель оценки влияния колебаний климата на компоненты экосистемы Черного моря

Показано [6, 7, 8], что рост интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, эффективным индикатором которого является NAO, сопровождается смещением траекторий циклонов на северо-восток Европы, по направлению к бассейнам Балтийского и Белого морей. Снижение интенсивности атмосферной циркуляции над данным регионом приводит к смене направлений переноса тепла и влаги с Атлантики на юго-восток Европы, в бассейны Азовского и Черного морей. В связи с данными тенденциями происходят соответствующие противоположные значительные изменения в термическом, гидрологическом, океанологическом и гидробиологическом режимах внутренних морей. Наиболее значимыми периодами с точки зрения воздействия климатических изменений на экосистемы внутренних морей за последние 100 лет следует признать 1932–1936, 1972–1977, и 1989–1992 гг.

Таким образом, осуществление комплексной геоэкологической оценки с учетом определения гео- и биоиндикаторов состояния морских экосистем, импактного геоэкологического районирования, использования как дисциплинарного, так и междисциплинарного, комплексного и системного подходов и соответствующих им методов позволит значительно повысить эффективность мероприятий направленных на обеспечение рационального природопользования и экологической безопасности хозяйственной деятельности на акваториях и в бассейнах внутренних морей Европы.

Литература

1. *Аверкиев А.С., Чернышков П.П.* Оценка запасов и управление рыболовством. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 88 с.
2. *Будыко М.И.* Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977. — 328 с.
3. *Валкова В.Н., Денисов А.А.* Основы теории систем и системного анализа. 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: изд-во СПбГТУ, 2001. — 512 с.
4. *Голубев Г.Н.* Геоэкология. 2-е изд. — М.: Аспект Пресс, 2006. — 288 с.
5. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. — СПб.: «Наука», 2004. — 294 с.
6. *Дроздов В.В.* Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей. — СПб.: РГГМУ, 2015. — 230 с.
7. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в регионе Балтийского моря и их причины. // Метеорология и гидрология, 2011, № 5, с. 77–87.
8. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика температуры воздуха в экономически важных районах Черноморского региона и процессы ее определяющие. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 43–63.
9. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Изменчивость морского уровня Финского залива. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 180 с.
10. Резолюция Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию «Рио+20» (20–22 июня 2012 г.) — «Будущее, которое мы хотим». Российская версия. — Электронный ресурс: [<http://www.ecoaccord.org/rio20/RIO+20rus.pdf>] (дата обращения: 05.06.2015).
11. *Смирнов Н.П.* Геоэкология. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 350 с.
12. *Чернышков П.П., Амиров Ф.О., Чурин Д.А.* Исследования биологических ресурсов Мирового океана в условиях климатических изменений на основе современных информационных технологий. // География XXI века, Калининград, 2012, с. 62–73.
13. *Muzalevsky A.A.* A System Approach to the Problem of Environmental Indicators and Sustainable Development Indices. Terms, Definitions, Dimensions, Units. Structurization and Classification. Abstract book. INDEX-99. Second Biennial International Conference. St. Petersburg, Russia, July 11–16, 1999, pp. 95–97.
14. Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM). Official site. — Электронный ресурс: [<http://www.helcom.fi>] (дата обращения: 12.02.2015).
15. Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution. Official site. — Электронный ресурс: [<http://www.blacksea-commission.org>] (дата обращения: 10.07.2015).
16. International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Official site. — Электронный ресурс: [<http://www.ices.dk/marine-data/dataset-collections>] (дата обращения: 06.08.2015).
17. United Nations Environment Programme (UNEP). Official site. — Электронный ресурс: [<http://www.unep.org>] (дата обращения: 16.08.2015).
18. *Troll C.* Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochegebirgsforschung. — Wiesbaden: F. Steiner, 1966. — 366 p.

Г.Т. Фрумин

ТОКСИЧНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

G.T. Frumin

TOXIC OF CHEMICALS SUBSTANCES TO MAN

В статье рассмотрены теоретические и прикладные аспекты проблемы экстраполяции токсикологических данных с животных на человека. Работа построена на анализе обширных литературных данных.

Ключевые слова: токсичность, человек, животные, экстраполяция.

The article considers the theoretical and applied aspects of the extrapolation of toxicological data from animals to humans. It is based on the analysis of extensive data available in the literature.

Key words: toxicity, human, animals, extrapolation.

Введение

На сегодняшний день, по данным «Chemical Abstracts», общее число известных химических соединений перевалило уже за 20 млн. Во всех лабораториях нашей планеты ежедневно синтезируется 200–250 новых химических соединений. Количество же теоретически возможных небольших (мономерных) органических молекул, согласно «Chemical Information Systems», достигает астрономической величины — 10^{68} [23]. Из общего числа известных химических веществ и соединений около 60 тыс. находят широкое применение в деятельности человека, в том числе более 500 из них относят к группе опасных химических веществ (ОХВ). Большую часть потока товаров составляет продукция химической, горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, которые производятся из большого количества разнообразных химических веществ. Они могут быть и малотоксичными и сильными ядами. Хотя, как считал ещё Парацельс (1493–1541 гг.), «Все вещества отравляющие: нет ни одной, которая не была бы отравляющей. Лишь правильная доза различает яд или снадобья».

Современная токсикология полностью подтверждает сказанное средневековым эскулапом. Для примера приведём данные о некоторых веществах, летальная доза (DL_{50}), которая вызывает смерть в 50 % случаев: поваренная соль — 4 г/кг; калийная селитра — 3,5 г/кг; морфий — 0,9 г/кг; фенobarбитал — 0,115 г/кг; ДДТ — 0,113 г/кг; мышьяк — 0,014 г/кг; никотин — 0,001 г/кг; диоксин — 0,000001 г/кг; ботулинический токсин — 0,000000001 г/кг.

Для современного человека стало привычно жить в обстановке токсикологической напряженности, обусловленной экологическими и технологическими катастрофами, профессиональными вредностями, несчастными случаями в быту, развитием различных заболеваний химической этиологии по суицидальным и криминальным причинам.

В последние годы в ряду ведущих неинфекционных заболеваний острые отравления химической этиологии постоянно являются важным фактором напряженной демографической ситуации в России за счет вызываемой ими высокой заболеваемости и преждевременной смертности мужского и женского населения в трудоспособном возрасте [12].

Практически у всех химических веществ есть свойство токсичности. Свойство токсичности можно признать по И. Канту имманентным, т.е. внутренне присущим всем химическим веществам [19]. Прогноз и количественная оценка повреждающего и летального действия химических веществ на организм человека составляют ключевое звено в планировании и осуществлении мероприятий медицинской службы при ликвидации последствий крупномасштабных химических катастроф. Проблема прогнозирования такого влияния традиционно занимает приоритетное положение в перечне задач, решаемых токсикологией. Можно указать по меньшей мере три направления, по которым развивались исследования в этой области: прогнозирование токсических свойств химических веществ с учетом их физико-химических характеристик, поиск ускоренных методов прогнозирования на основе биологического моделирования, обоснование гигиенических стандартов на базе оценки пороговых воздействий, устанавливаемых в наблюдениях на добровольцах.

Выдающийся вклад в формирование и развитие указанных направлений сделан отечественными токсикологами: Н.В. Лазаревым и его учениками, А.А. Голубевым, С.Д. Заугольниковым, С.Н. Голиковым и рядом других ученых. В результате проведенных работ был решен широкий круг задач по гигиеническому нормированию вредных химических веществ. Все эти исследования имели выраженную профилактическую направленность и практически не касались вопросов прогнозирования и вероятностной оценки повреждающего действия ксенобиотиков в условиях, когда нерегулируемый выброс химических веществ создает опасность для жизни, здоровья и работоспособности людей [13].

Одно из важнейших теоретических направлений современной экологии и управления природопользованием — нормирование антропогенных нагрузок на окружающую среду. Очевидно, что разнообразие последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды должны быть ограничены таким образом, чтобы природные и природно-техногенные системы могли справляться с этими воздействиями [14, 20].

На протяжении многих десятилетий развития токсикологии, фармакологии и гигиенического нормирования веществ в окружающей среде ученые постоянно сталкивались с необходимостью внести определенность, упорядоченность и логическую обоснованность в выбор методов экстраполяции результатов, полученных в экспериментах на биологических моделях. Проблема, однако, оказалась настолько сложной, многоаспектной и не поддающейся однозначному толкованию, что и по сей день не представляет собой законченной научной системы, несмотря на издание целого ряда токсикологических и фармакологических монографий отечественных и зарубежных авторов, а также многочисленные публикации в периодических изданиях [8].

В связи с изложенным цель данного исследования заключалась в анализе различных подходов к экстраполяции токсикологических данных с животных на человека.

Материалы и методы

В работе были использованы данные литературы [1, 2, 6, 8, 9, 15, 25]. Математико-статистическая обработка данных проведена с использованием табличного процессора Excel [10]. К настоящему времени сформировалось несколько подходов к предсказанию токсичности химических соединений для человека (опыты на добровольцах, эксперименты на животных, альтернативные биологические модели).

Опыты на добровольцах. Основная цель медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта состоит в том, чтобы понять причины, механизмы развития и исходы заболеваний и совершенствовать профилактические, диагностические и терапевтические вмешательства (методы, процедуры и лечение). Даже лучшие на сегодняшний день вмешательства должны постоянно подвергаться оценке на предмет их безопасности, эффективности, адекватности, доступности и качества.

Под испытанием новых лекарственных препаратов с участием здоровых добровольцев понимается проведение научного эксперимента, представляющего определенный риск для здоровья испытуемого, с целью изучения степени безопасности фармакологических средств, установления переносимости человеком доз и определения основных параметров фармакокинетики. Биомедицинские исследования с участием здоровых добровольцев базируются на научных фактах и результатах экспериментов на животных и могут быть начаты только после рассмотрения Токсикологической комиссией Фармакологического государственного комитета Минздрава Российской Федерации и разрешения Президиума Фармакомитета Минздрава Российской Федерации.

Для иллюстрации отметим, что опыты на добровольцах (врачах одного из московских медицинских институтов) показали, что человек в 5 раз чувствительнее морских свинок и кроликов и в 25 раз чувствительнее крыс к токсическому действию соединений серебра. Наибольшая часть локальных исследований остается за дженериками (почти 50 % среди таких исследований иностранных препаратов и почти 40 % — среди отечественных). Дженерики по своей сути являются полными аналогами существующих сертифицированных лекарств, но они более доступны, чем высокоэффективные антибиотики, обезболивающие препараты или же препараты для восстановления потенции. Необходимость таких препаратов подтверждается высоким на них спросом. Для потребителей появление дженериков предполагает возможность приобрести препараты с нужными качествами и эффектами, но при этом по более низкой цене. Это равноценные по лечебному действию препараты, имеющие в составе одно и то же действующее вещество, но отличающиеся от запатентованного препарата ценой и наименованием.

Еще пример. В 1900 г. не было известно ни одно животное, восприимчивое к желтой малярии, и это заставило проводить работу с добровольцами, которая доказала, что эту болезнь переносят комары. Наблюдения привели к тому, что в Гаване улучшились санитарные и карантинные меры и некогда распространенная желтая малярия была ликвидирована.

Опыты на животных. Животных использовали на протяжении всей истории науки. В 1880 г. Луи Пастер доказал микробную природу некоторых болезней, искусственно вызвав сибирскую язву у овцы. В 1890 г. И.П. Павлов использовал собак для

изучения условных рефлексов. Инсулин впервые выделили из собак в 1922 г., что произвело революцию в лечении сахарного диабета. 3 ноября 1957 г. собака Лайка первая из многих других животных побывала на орбите Земли. В 1970-х гг. с использованием броненосцев были разработаны антибиотики и вакцины против лепры (проказы). В 1974 г. Рудольф Яниш создал первое генетически модифицированное млекопитающее, интегрировав ДНК из вируса SV_{40} в геном мыши. Еще один прорыв в генетике был сделан 1996 г., когда родилась овечка Долли (первое клонированное из соматической клетки млекопитающего).

В XX в. стали обязательны тесты на токсичность лекарств. В XIX в. контроль за лекарствами был менее строгим. Например, в США лекарство могло быть запрещено только после того, как нанесло вред людям. Однако после трагедии «Эликсира сульфаниламида» в 1937 г., когда этот препарат убил более 100 человек, конгресс США потребовал обязательного тестирования лекарств на животных. Другие страны выпустили схожие законы. В 1960-х гг. после талидомидовой трагедии стало обязательным тестирование лекарств на беременных животных.

Токсикологические опыты (опыты на безопасность) проводятся фармацевтическими компаниями, тестирующими медикаменты, или контрактными заведениями по опытам на животных. Проведение экспериментов на лабораторных животных составляет обязательную и большую по объему часть исследований, которые необходимы:

- 1) для построения научных схем дозирования лекарственных веществ в медицине;
- 2) при использовании данных для сохранения экологического равновесия животного мира;
- 3) в познании эволюции видов;
- 4) для направленного поиска новых лекарственных веществ с заданными свойствами [17].

Для уменьшения степени риска при экстраполяции доз ксенобиотика на человека используются различные подходы и методы. Их можно условно разделить на две группы: методы прямого переноса (эмпирические) и расчетные (биометрические).

В основе одного из наиболее распространенных методов прямого переноса доз чужеродных соединений с экспериментальных животных на человека лежит эмпирическое правило, согласно которому доза вещества, установленная в эксперименте на лабораторных животных, должна быть для человека уменьшена в 8–10 раз. В гигиенической практике величина коэффициентов запаса, показывающих, во сколько раз должна быть уменьшена доза вещества при переносе данных на человека, устанавливается в зависимости от характера действия веществ. Так, в СССР эта величина для веществ раздражающего действия равна 2, для пестицидов — 50, а для некоторых пищевых добавок — до 500. В США эти коэффициенты колеблются от 0,2 до 10. Следовательно, коэффициенты экстраполяции в исследованиях по гигиеническому нормированию варьируют от 0,2 до 500, т.е. максимальные отличия достигают 2 500 раз.

Некоторые исследователи полагают, что по степени реагирования на острые воздействия веществ человек находится на одном уровне с наименее резистентными к данному веществу лабораторными животными и на основании этого считают возможным переносить на человека наименьшую дозу, которая будет установлена по результатам опытов на 3–4 видах лабораторных животных. Однако и при переносе

доз на человека с наименее резистентного вида лабораторных животных не исключены серьезные ошибки в сторону как завышения, так и занижения их. Например, при прямом переносе смертельной дозы димедрола, к токсическому действию которого наименее резистентна морская свинка ($DL_{50} = 284$ мг/кг), смертельная доза для человека составит 250–300 мг/кг. В то же время случаи отравления людей с летальным исходом наблюдались при приеме димедрола внутрь в дозе, в 20 раз меньшей (около 14 мг/кг). Завышение дозы в десятки раз при таком подходе к переносу отмечено и для многих других веществ.

Часто летальные дозы для человека значительно ниже, чем для животных. В 1938 г. пересчет токсических доз с животных на человека повлек за собой гибель около 100 человек при применении диэтиленгликоля [22].

Из-за больших видовых отличий между видами, то, что является относительно безопасным для крыс, вполне может быть чрезвычайно токсично для человека и наоборот (шоколад, безвредный для человека, токсичен для многих животных). Чем темнее шоколад (соответственно, тем выше содержание какао), тем опаснее он для животного, поскольку содержит большее количество теобромина. Примечательно, что наибольшее количество этого соединения содержится в какао-порошке и в кулинарном шоколаде и, следовательно, является наиболее токсичным для животных. Например, около 25 г кулинарного шоколада достаточно, чтобы вызвать отравление собаки весом 20 кг.

Когда тестируется яд ядовитых существ, например, змей, результаты DL_{50} могут ввести в заблуждение из-за физиологических различий между мышами, крысами и людьми. Многие ядовитые змеи приспособлены к мышам и их яд может быть адаптирован специально для истребления мышей, тогда как мангусты могут быть исключительно устойчивы к заражению.

Токсикологический эксперимент на животных проводится с целью разработать рекомендации для профилактики и лечения отравлений у человека. Однако существуют определенные сложности в переносе данных опыта с животных на человека, так как теоретическая база сравнительной токсикологии еще недостаточна. В этом отношении привлекает своей простотой и обоснованностью расчетный метод экстраполяции доз ксенобиотиков с одного вида животных на другой, предложенный Ю.Р. Рыболовлевым и Р.С. Рыболовлевым [16]. Они установили, что коэффициент видовой устойчивости R к яду находится в зависимости от основного объема Q , работы сердца V и массы мозга K_c . В общем, виде это зависимость выражается формулой:

$$R = (QV/K_c)^{0,5}. \quad (1)$$

Наиболее часто привлекаемые для токсикологического эксперимента животные имеют следующий коэффициент R : лабораторная крыса — 3,62; мышь — 3,2; морская свинка — 2,63; кролик — 2,2; кошка — 1,47; собака — 1,44. Видовая устойчивость человека по сравнению с кошкой и собакой примерно в 2,5 раза ниже: R человека = 0,57.

Проведение регрессионного анализа связи токсичности с коэффициентами видовой устойчивости позволило авторам построить следующее уравнение:

$$DL_{50 \text{ человек}} = R_{\text{человек}} DL_{50 \text{ животное}} / R_{\text{животное}}. \quad (2)$$

Американское агентство по защите окружающей среды рекомендует для переноса токсикометрических данных с крыс на человека использовать следующее уравнение:

$$\text{Доза}_{\text{человек}} = \text{доза}_{\text{крыса}} \left(\frac{M_{\text{человек}}}{M_{\text{крыса}}} \right)^{0,667}. \quad (3)$$

Модификация этого метода предполагает использование не только массы тела (M), но и массы внутренних органов, органов-мишеней, различных физиологических показателей, закономерно изменяющихся при переходе от более мелких к более крупным животным. В данной работе использована удельная интенсивность метаболизма, рассчитанная по следующей формуле [26]:

$$P^* = 70 \cdot M^{-0,25}, \quad (4)$$

где P^* — удельная интенсивность метаболизма, $\text{ккал} \cdot \text{сут}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$; M — масса тела, кг.

В работе [18] приведены данные о средних смертельных дозах различных веществ для лабораторных животных (мышей, крыс, морских свинок, кроликов) и человека. На основе этих данных автором статьи было выявлено статистически значимое соотношение между величинами DL_{50} для крыс и человека (рис. 1):

$$DL_{50 \text{ человек}} = 2,4 + 0,3 \cdot DL_{50 \text{ крыса}}, \quad (5)$$

со следующей регрессионной статистикой: $N = 30$ (количество химических соединений); $r = 0,89$ (коэффициент корреляции — теснота связи между переменными); $r^2 = 0,80$ (коэффициент детерминации — объяснимая доля разброса); $\sigma_{y(x)} = 552$ (стандартная ошибка); $F_p = 112,4$ (расчетное значение критерия Фишера); $F_T = 4,18$ (табличное значение критерия Фишера для уровня значимости 95 %).

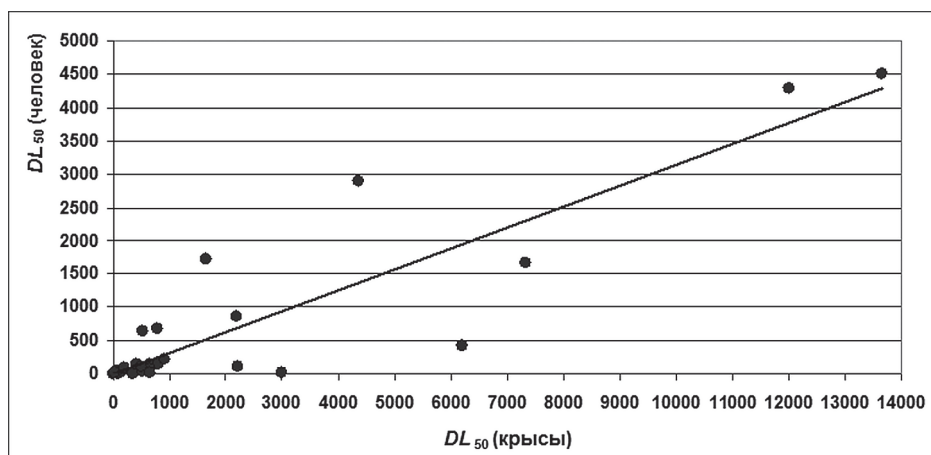


Рис. 1. Соотношение между средними летальными дозами химических веществ для человека и крыс

Как следует из приведенных статистических характеристик, уравнение (5) адекватно ($F_p > F_T$) и может быть использовано для ориентировочного прогнозирования величин средних летальных доз для человека для других химических соединений, так как $F_p > 4F_T$ [5].

Особо отметим, что медико-биологические исследования приобрели гигантские масштабы. Для научных целей, тестирования и обучения в мире ежегодно используется примерно десять миллионов позвоночных животных. В соответствии с данными ЕС 2005 г., ежегодно в Европе в таких опытах используется примерно миллион животных. Каждое вещество испытывают на 5 000 животных, а пестициды - на 12 000. Опыты проводятся без анестезии, так как взаимодействие препаратов может повлиять на обезвреживание животными веществ, следовательно — на результаты. По данным «Британского союза за отмену вивисекции» (BUAV) и Nuffield Council on Bioethics по всему миру ежегодно используется до 100 млн лабораторных животных (из которых около 12 млн в Евросоюзе). В США каждый год используют 20 млн мышей и крыс, а также морских свинок, хомяков, песчанок.

Альтернативные биологические модели. Все громче звучат призывы замены лабораторных животных альтернативными моделями, вплоть до переживающих клеток, одноклеточных организмов, биохимических, квантово-механических конструкций. С 1959 г., после выхода в свет книги У. Рассела и Р. Берча «The Principles of Humane Experimental Technique» в мир науки вошла концепция гуманного использования животных в экспериментах, или более кратко «Концепция 3R» [15].

Результаты и их обсуждение

Для иллюстрации перспектив экстраполяции параметров токсикометрии с животных на человека были рассмотрены два химических соединения: этиловый спирт и VX (боевое отравляющее вещество) [22]. При расчетах токсичности этанола для человека по методу Американского агентства по защите окружающей среды в качестве параметров были использованы интенсивности метаболизма для крыс (0,75 кал/г·ч) и человека (0,25 кал/г·ч) [15]. Для крыс при внутрижелудочном введении $DL_{50} = 9000$ мг/кг [4]. Результаты расчетов приведены в табл. 1. По данным литературы средняя летальная доза этилового спирта для человека при поступлении в желудок варьирует в интервале 4000–8000 мг/кг [11].

Таблица 1

Экстраполяция средних смертельных доз этилового спирта с крыс на человека при поступлении в желудок

Подход (авторы, организация, метод)	Прогнозируемая величина DL_{50} для человека, мг/кг
Ю.Р. Рыболовлев и Р.С. Рыболовлев (формула 2)	1417
Американское агентство по защите окружающей среды (формула 3)	3388
Регрессионный анализ (формула 5)	2702

Как следует из приведенных данных, прогнозируемая величина DL_{50} этилового спирта при поступлении в желудок человека (3 388 мг/кг), рассчитанная по формуле (3), в наибольшей степени близка к данным литературного источника (4 000–8 000 мг/кг). Результаты прогнозов по формулам (2) и (5) также следует рассматривать как вполне удовлетворительные. Известно, что при установлении смертельных эффектов одних и тех же токсических веществ на одном и том же виде животных, одного пола, возраста, находящихся в одинаковых условиях, конечные результаты могут отличаться от опыта к опыту, как минимум, в 2–3 раза [21].

По формуле (3) были рассчитаны величины DL_{50} для человека при поступлении IX через кожные покровы (табл. 2). В качестве параметров были использованы величины удельных интенсивностей метаболизма. По данным [1], средние летальные дозы IX для человека при накожной аппликации 0,04–0,10 мг/кг. Как следует из приведенных данных, прогнозируемые величины DL_{50} для человека при накожной аппликации IX достаточно хорошо соответствуют вышеприведенному интервалу (0,04–0,10 мг/кг). Исключение составляет прогноз при использовании в качестве тест-объекта мышей.

Таблица 2

Прогнозирование средних смертельных доз IX для человека при поступлении через кожу

Биообъект	DL_{50} , мг/кг	Удельная интенсивность метаболизма, ккал/сут · кг	Прогнозируемая величина DL_{50} для человека, мг/кг
Мыши	0,046	148,0	0,01
Крысы	0,10	94,6	0,04
Морские свинки	0,20	66,2	0,10
Кролики	0,12	48,1	0,07
Собаки	0,054	43,0	0,04

Среди элементов таблицы Д.И. Менделеева выделяют 21 биофил, т.е. такие элементы, которые обязательно входят в состав любого живого организма. Это, прежде всего, кислород, водород, углерод и сера — «великолепная пятерка», из которой формируются белковые молекулы. Далее следуют весьма широко распространенные фосфор, хлор, магний, калий, натрий и железо. Остальные десять элементов принадлежат к микроэлементам: йод, бор, цезий, ванадий, марганец, цинк, молибден, кобальт и селен. При определенных концентрациях важную роль играют те элементы, которые отличаются высокой токсичностью. Например, кадмий регулирует содержание сахара в крови. Острота зрения зависит от степени присутствия селена. Ртуть обнаружена в молекуле ДНК. Возможно, она участвует в передаче наследственной информации. Организму человека необходим и мышьяк, известный с глубокой древности как сильнейший яд. Мышьяк принимает участие в нуклеиновом обмене, т.е. имеет прямое отношение к синтезу белка и необходим для синтеза гемоглобина, хотя и не входит в его состав.

В организме человека и животных обнаружен 81 элемент таблицы Д.И. Менделеева. Финский химик Лаури Суоранта вывел эмпирическую формулу человека. Если рассматривать тело человека как химическое соединение элементов, его формула имеет вид $H_{15750}N_{310}O_{6900}C_{2250}Ca_{63}P_{48}K_{15}S_{15}Na_{10}Cl_6Mg_3Fe_3$.

Для выражения токсичности химического элемента А.А. Кистом была предложена относительная величина — относительная летальная токсичность (ОЛТ), численно равная отношению концентрации элемента в нормальном организме к концентрации этого же элемента при условии равномерного распределения всей дозы, поступившей в организм человека [7]. При этом механизм токсического действия не учитывается. Принимая вес среднего человека, равным 70 кг, вышеуказанные концентрации были пересчитаны на массу всего тела человека. В этом случае относительная летальная токсичность рассчитывается следующим образом:

$$\text{ОЛТ} = Q_{\text{норм}} / Q_{\text{лет}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{норм}}$ — количество химического элемента в нормальном организме, г; $Q_{\text{лет}}$ — количество химического элемента, вызывающее летальный исход, г.

Используя данные литературы, было выявлено следующее количественное соотношение между ОЛТ и содержанием химического элемента в норме в организме человека (см. также рис. 2):

$$\lg(\text{ОЛТ}) = 2,30 + 1,15 \cdot \lg Q_{\text{норм}},$$

$$n = 17; r = 0,98; r^2 = 0,97; \sigma_{Y(X)} = 0,41; F_P = 427,5; F_T = 4,49, \quad (7)$$

где n — количество значений функции отклика (ОЛТ); r — коэффициент корреляции, характеризующий тесноту связи между переменными; r^2 — коэффициент детерминации (объяснимая доля разброса); $\sigma_{Y(X)}$ — стандартная ошибка; F_P и F_T — расчетное и табличное значения (для $\alpha = 5\%$) критерия Фишера.

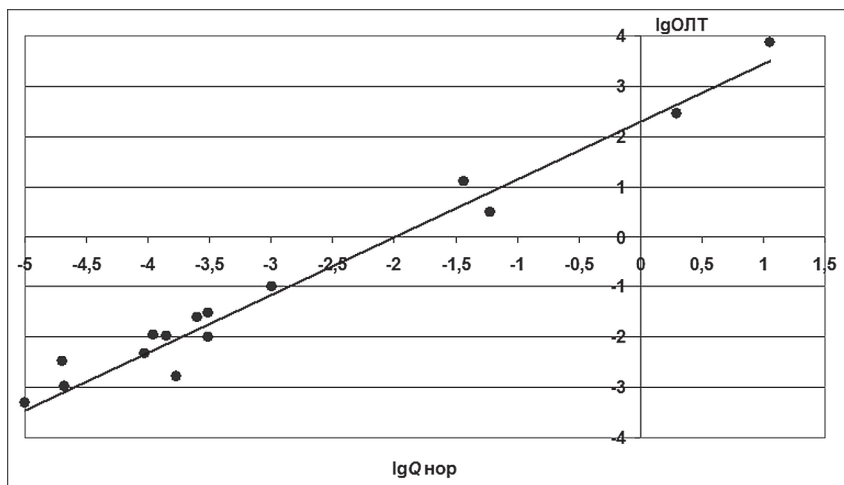


Рис. 2. Соотношение между логарифмами относительной летальной токсичности химических элементов для человека и логарифмами содержания их в норме

Как следует из приведенных статистических показателей, математическая модель (7) адекватна ($F_p > F_T$) и, кроме того, может быть использована для предсказания величин ОЛТ для других химических элементов, так как $F_p > 4F_T$).

Аналогично вышеописанному были выявлены количественные соотношения между величинами ОЛТ и содержанием химических элементов в печени, сердце, волосах, крови, поджелудочной железе, легких, почках, желчном пузыре, надпочечниках, селезенке и коже человека. Кроме того, впервые установлены количественные соотношения между токсичностью химических элементов для человека и их содержанием в теле условного человека (его органах и тканях), а также между токсичностью химических элементов для человека и их содержанием в живом веществе Земли, литосфере и Мировом океане (рис. 3) [24].

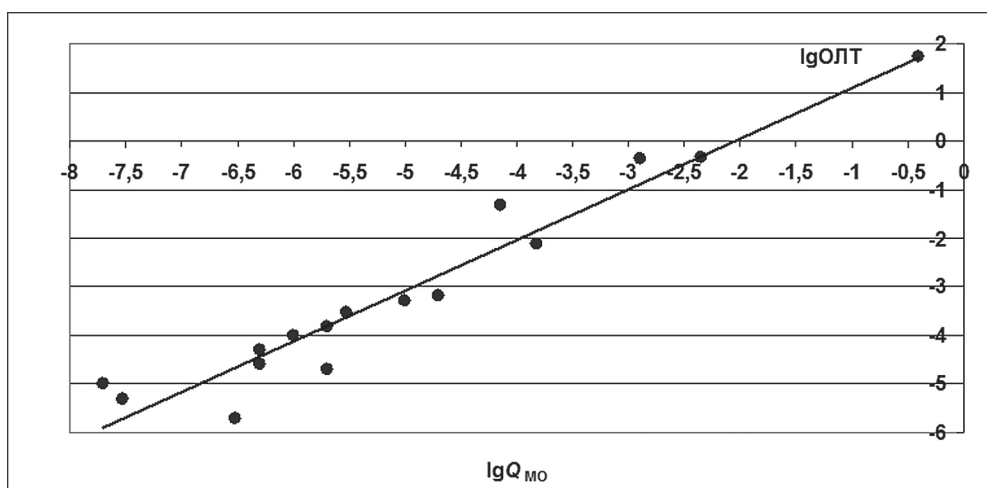


Рис. 3. Соотношение между логарифмами относительной летальной токсичности химических элементов для человека и логарифмами содержания их в Мировом океане

Прямая регрессии, приведенная на рис. 3, описывается следующим соотношением:

$$\lg(\text{ОЛТ}) = 2,30 + 1,15 \cdot \lg Q_{\text{МО}},$$

$$n = 16; r = 0,97; r^2 = 0,94; \sigma_{Y(X)} = 0,55; F_p = 204; F_T = 4,54. \quad (8)$$

Резюмируя изложенное, приходим к следующим выводам:

1. Химические элементы, содержащиеся в организме человека, его органах и тканях в больших количествах, по относительной летальной токсичности более ядовиты, чем химические элементы, содержащиеся в меньших количествах.
2. Выявленные уравнения регрессии могут быть использованы для предсказания относительной летальной токсичности химических элементов для человека в отношении тех элементов, для которых такие данные отсутствуют.

Литература

1. Антонов Н.С. Химическое оружие на рубеже двух столетий. — М.: «Прогресс», 1994. — 175 с.
2. Бова А.А., Горохов С.С. Военная токсикология и токсикология экстремальных ситуаций. — Мн.: БГМУ, 2005. — 662 с.
3. Военная токсикология, радиология и медицинская защита. Под ред. Н.В. Саватеева. — Л.: ВМА им. С.М. Кирова, 1978. — 305 с.
4. Бандман А.Л., Войтенко Г.А., Волкова Н.В. и др. Вредные химические вещества. Галоген- и кислородосодержащие органические соединения. Под ред. В.А. Филова и др. — СПб.: «Химия», 1994. — 688 с.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. — М.: «Финансы и статистика», 1986. — 366 с.
6. Каркищенко Н.Н. Основы биомоделирования. — М.: ВПК, 2005. — 608 с.
7. Кист А.А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. — Ташкент: ФАН, 1987. — 236 с.
8. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека. — М.: Медицина, 2009. — 208 с.
9. Куценко С.А. Основы токсикологии. — СПб.: «Фолиант», 2004. — 720 с.
10. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. — М.: «Финансы и статистика», 2002. — 368 с.
11. Маркизова Н.Ф., Гребенюк А.Н., Башарин В.А., Бонитенко Е.Ю. Спирты: Серия «Токсикология для врачей». — СПб.: «Фолиант», 2004. — 112 с.
12. Медицинская токсикология: национальное руководство. Под ред. Е.А. Лужникова. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. — 928 с.
13. Невмержицкий Н.С., Софронов Г.А., Тиунов Л.А. Прогнозирование токсического действия химических веществ. // Военно-медицинский журнал, 1991, № 9, с. 42–45.
14. Редина М.М., Хаустов А.П. Нормирование и снижение загрязнений окружающей среды. — М.: «Юрайт», 2014. — 431 с.
15. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских технологиях. Под ред. Н.Н. Каркищенко, С.В. Грачева. — М.: «Профиль», 2010. — 358 с.
16. Рыболовлев Ю.Р., Рыболовлев Р.С. Дозирование веществ для млекопитающих по константам биологической активности. // Доклады Академии Наук СССР, 1979, т. 247, № 6, с. 1513–1516.
17. Рыболовлев Ю.Р. Прогнозирование действия ксенобиотиков на человека. // Фармакология и токсикология, 1984, № 1, с. 110–114.
18. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. — М.: Медицина, 1975. — 328 с.
19. Софронов Г.А., Александров М.В., Головки А.И. и др. Экстремальная токсикология. — СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2012. — 256 с.
20. Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т. Проблемы нормирования качества поверхностных вод. // Учёные записки РГГМУ, 2015, № 38, с. 215–229.
21. Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Под общ. ред. А.А. Каспарова, И.В. Саноцкого. — М.: Центр Международных Проектов ГКНТ, 1986. — 428 с.
22. Франке З. Химия отравляющих веществ. Т.1. Перевод с нем. — М.: «Химия», 1973. — 440 с.
23. Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экотоксикология). — СПб.: РГГМУ, 2013. — 180 с.
24. Фрумин Г.Т. Токсичность химических элементов для человека. // Медико-биологические проблемы токсикологии и радиобиологии. Тезисы докладов Российской научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 4–6 июня 2015 г. Составитель А.Н. Гребенюк. — СПб.: «Фолиант», 2015, с. 43.
25. Швайкова М.Д. Судебная химия — М.: Медгиз, 1959. — 393 с.
26. Шмидт-Нильсен К. Размеры животных: почему они так важны? Пер. с англ. — М.: «Мир», 1987. — 259 с.

А.А. Музалевский, Л.Н. Карлин

ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

A.A. Muzalevskii, L.N. Karlin

ASSESSMENT AND QUALITY MANAGEMENT OF CROSS-BORDER WATER BODIES

В статье представлены методики оценки и управления рисками химических и биогенных загрязнений водных трансграничных территорий. При этом оценка рисков и управление рисками рассматриваются как единый процесс, состоящий из двух этапов: на первом из них проводится оценка рисков, на втором — управление рисками. Рассмотрены различные способы оценки рисков, в том числе способ, основанный на представлениях об индикаторах, индексах и индексах качества, а также прием, известный как «метод матриц риска».

Ключевые слова: загрязнения, оценка, методы оценки, индикаторы, риск, ущерб, управление.

The article presents the methods of risk assessment and management of chemical and nutrient pollution of water cross-border territories. This risk assessment and risk management are treated as a single process consisting of two phases: the first one carried out the risk assessment, on the second — risk management. Various methods of risk assessment, including those based on the performances of the indicators, indices and indices of quality as well as a technique known as “risk matrix method.”

Key words: pollution, assessment, assessment methods, indicators, risk, damage, management.

Введение

Хозяйственная деятельность человека приводит к появлению структурно-сложных природно-технических систем (ПТС), функционирование которых, в свою очередь, запускает множество процессов, ухудшающих экологическую обстановку на локальном, региональном, национальном и даже глобальном уровнях. Территория загрязнения может быть трансграничной, в нее поступают загрязняющие вещества (ЗВ) из разных источников, в том числе расположенных в разных государствах [3–5, 7]. Все эти государства — пользователи этой трансграничной территорией, и все они генерируют ЗВ. В результате рождается ПТС, ядро которой может быть образовано различными по своей государственной принадлежности объектами, в том числе общей водной системой. Испытывающая техногенное давление водная трансграничная система, будучи постоянно аккумулирующей ЗВ и разлитые на ее поверхности нефтепродукты, становится системой, порождающей риски здоровью человека и риски потери качества окружающей среды. Проблема есть, ее надо решать, но это порой

затруднительно, что вызвано, в том числе, весьма непростыми отношениями между государствами-соседями.

Формирование критериев приемлемости экологических рисков

Чаше всего исследователи и специалисты в области рискологии работают в рамках схемы «Затраты — ущербы — выгоды — уровень безопасности». Это означает, что возникает необходимость оценки «уровня приемлемого риска» [1–5, 6, 8]. Что же это за уровень? Обычно ответ таков: критерии приемлемости риска должны *«рассматриваться как целевые показатели, а не абсолютные значения для всех случаев..., [но] существенные отклонения от таких показателей, если они появляются, должны быть полностью оправданы»*.

Установление приемлемого уровня риска можно рассматривать как эквивалент процесса оценивания риска: Во-первых, риски должны быть определены, во-вторых, они должны быть оценены количественно, в-третьих, они должны быть оценены в отношении этических, психологических, экономических и других норм и ценностей общества.

Первые две позиции связаны с анализом и изучением проблемы, третья, по сути, является политическим или идеологическим решением. *«Оценка рисков и обеспечение приемлемых уровней рисков (посредством управления) обычно связаны с необходимостью принятия политических решений, т.е. оценка риска является научным процессом, в то время как оценка приемлемости риска представляет политический вопрос»* [3–5, 8].

Разработка методов, посредством которых можно преобразовать результаты анализа риска в рекомендации по его допустимости, а также оценить степень целесообразности принятия мер, необходимых для снижения данного риска, является важным аспектом управления рисками. Для определения уровня приемлемого риска разработан ряд подходов. Рассмотрим некоторые из них.

1-й подход

Этот подход базируется на опыте большого количества инцидентов — природных и техногенных аварий и катастроф с многочисленными человеческими жертвами, а также технологиях анализа и оценки экологических рисков, получивших широкое распространение в странах Европы, Азии и в США [5, 9].

В ходе многочисленных исследований было установлено, что для любого опасного источника, катастрофического природного явления или вида хозяйственной деятельности вероятность нежелательного события обратно пропорциональна масштабам его возможных последствий для человека и природы. На основе этих и других результатов анализа последствий сценариев таких нежелательных событий были разработаны соответствующие критерии уровня приемлемого риска.

В одной из возможных и распространенных точек зрения уровень экологического риска R математически может быть представлен в виде [4]:

$$R = \varphi(F, N), \quad (1)$$

где φ — знак функции; F — частота нежелательного события; N — тяжесть (магнитуа) последствий события, приводящего к ущербу здоровью человека или окружающей среде.

Сами приемлемые риски могут быть оценены разными методами:

- на основе дискретных (*некумулятивных*) частот. При этом обычно строят графики, называемые *кривыми $f-N$* , значения, нанесенные на оси ординат, являются дискретными частотами случаев со смертельными исходами f , в которых пострадало N человек;
- на основе *кумулятивных* частот. На этих графиках, называемых кривыми $F-N$, значения, нанесенные на оси ординат, представляют накопленную частоту случаев F , в которых пострадало N и более человек.

В общем случае, кривые $F-N$ являются лишь средством представления визуальной информации о вероятности и последствиях загрязнений и аварий, связанных с определенной деятельностью или технической системой. Вместе с тем, для принятия обоснованных решений в сфере обеспечения безопасности человека и общества результаты анализа риска должны быть сопоставлены с соответствующими качественными или количественными критериями.

Для формирования критериев приемлемого риска применяется способ, состоящий в определении последствий в случае реализации опасных событий и назначении им приемлемых частот. Процедура построения критерия включает:

- нахождение (установление) координат опорных точек;
- определение (установление) градиента критерия $F-N$;
- формирование области приемлемого риска (*ALARP*).

Сравнение фактических уровней риска, полученных на основе статистических данных, с критериальными значениями позволяет оценить необходимость усилий по повышению безопасности рассматриваемых объектов или видов деятельности.

Положение критерия $F-N$ определяют два параметра: координаты опорной точки $F-N$ и наклон (градиент) кривой.

Опорная точка является фиксированной точкой с соответствующей парой *следствия* (т.е. число пострадавших, N) и *частоты* (т.е. вероятность событий с N или более погибшими в год, F) и координатами (F, N) . Такие опорные точки предложены в качестве критериев приемлемости, а линии, проведенные через эти точки, позволяют расширить (экстраполировать) критерии приемлемости на инциденты с другими последствиями.

Математическое уравнение линии критерия $F-N$ имеет вид:

$$F \times N^a = k \quad \text{или} \quad F = k \times N^a, \quad (2)$$

где F — накопленная частота событий с N или более смертельными исходами; N — число погибших; a — градиент неприятия риска; $k = \text{const}$.

Неприятие риска (риск-обход) — понятие в психологии, экономике и др., суть которого заключается в нежелании человека или общества подвергать себя риску, в том числе отказ от действий, связанных с риском.

Градиент критерия $F-N$ отражает степень социального неприятия крупных инцидентов с многочисленными жертвами. Градиент критерия $F-N$ называют «нейтральным» к риску, если частота событий, которые приводят к 100 или более жертвам должна

быть в 10 раз меньше, чем частота событий, приводящих к 10 или более жертвам. Если предполагается, что частота событий, которые приводят к 100 или более смертельным исходам, и она в 100 раз меньше, чем частота событий, которые приводят к 10 или более таких исходов, то риск неприемлем.

Координаты опорной точки и градиент представляют достаточно информации для построения критерия риска в виде $F-N$ кривой. Тем не менее, органы управления разрабатывают критерии приемлемости социального риска, предусматривающие умеренный градиент при малых значениях N , и увеличенный градиент при больших значениях N . После определения предельно допустимых уровней, нижняя граница области приемлемого риска устанавливается на основе принципа *ALARP* — *минимального практически приемлемого риска* (*As Low As Reasonably Practicable*), который формулируется, как *порог допустимости риска, основанный на принципе снижения риска вплоть до того момента, когда принятие дополнительных мер по снижению риска, будучи технически осуществимым, будет признано несоразмерно затратным*.

Исходя из сказанного, область приемлемого социального экологического риска устанавливается в пределах $10^{-2} \div 10^{-3}$. Окончательное решение об этом принимается системами принятия решений с учетом рекомендаций технических регламентов или контролирующих органов.

Рекомендации по применению критериев:

1. Если кривая экологических рисков входит в неприемлемую область, мы должны уменьшить риск, в противном случае системы принятия решений могут устанавливать эксплуатационные ограничения на хозяйственную деятельность или потребовать ее прекращения.
2. Если кривая экологических рисков входит в переходную область, системы принятия решений должны определить допустимый уровень остаточного риска на основе баланса потребностей предприятия и общества.
3. Если кривая экологических рисков располагается в приемлемой области для всех значений магнитуды ущербов, процедура оценки риска завершена.

2-й подход

Уровень приемлемого экологического риска для водных объектов может быть приблизительно оценен и другим способом. Возьмем за основу понятие **удельного комбинаторного индекса загрязненности воды** (УКИЗВ) в зависимости от количества **критических показателей загрязненности** (КПЗ), [4]. Известно, что УКИЗВ рассчитывается как средний обобщенный оценочный балл по всем анализируемым показателям. Анализируются не меньше 15 показателей. Для чистой воды УКИЗВ = 0. Диапазон его изменений от 1 до 16. Большему значению индекса соответствует худшее качество воды.

Чтобы оценить уровень приемлемого экологического риска потери качества водного трансграничного объекта, обратимся к анализу рекомендуемой методики расчета УКИЗВ. В методике расчета УКИЗВ приведена таблица, где границы классов загрязненности зависят от коэффициента запаса. Тот же результат можно получить, если не менять границы в таблице, а перед постановкой разделить УКИЗВ на коэффициент запаса k , табл. 1.

Таблица 1

Численные и качественные характеристики оценки степени загрязненности воды

Класс	Разряд	УКИЗВ/к	Название
1		≤ 1	Условно чистая
2		1–2	Слабо загрязненная
3	а	2–3	Загрязненная
3	б	3–4	Очень загрязненная
4	а	4–6	Грязная
4	б	6–8	Грязная
4	в	8–10	Очень грязная
4	г	10–11	Очень грязная
5		> 11	Экстремально загрязненная

Анализ таблиц, содержащихся в методике оценки УКИЗ, позволяет обозначить интервал перехода от приемлемого уровня загрязненности к уровню, который характеризуется как опасный (очень загрязненная вода). Это значит, что *приемлемые риски* потери качества воды с точки зрения ее загрязненности на основе гидрохимических показателей, базирующихся на понятии ПДК, должны лежать в диапазоне 0,3–0,4 в шкале измерения рисков: 0–1.

Оценка уровня риска с использованием аппарата индикаторов и индексов

Воспользуемся разработанным в работах [3–5]. аппаратом индикаторов и индексов. Отметим, что в качестве модели водной системы выбирается модель ПТС. А под индикатором будем понимать следующее:

- 1) индикатор — это выходной информационный сигнал, указатель, определитель;
- 2) индикатор — это эквивалент индуцируемого явления;
- 3) индексы — это мера отклонения от уровня, принимаемого за базовый;
- 4) индексы качества объекта — степень совпадения признаков качества относительно эталона.

Индексы качества позволяют перейти к количественной оценке уровня приемлемого экологического риска и уровня экологической безопасности водного объекта, путем их сопоставления с аналогичными показателями, измеренными на чистых территориях, либо с ПДК. Алгоритм такой процедуры описан в работах [4, 5]. Отметим наиболее важные моменты.

Индекс качества — это мера качества исследуемого водного объекта выраженная через индикаторы и коррелирующая с мерой риска. Простой индекс качества определяется следующим образом [4]:

$$\chi_{ij} = m_{ij} / n_{ij}, \quad (3)$$

где n_{ij} — число полных признаков качества (в нашем случае это 15 показателей); m_{ij} — число признаков, совпавших при сопоставлении с эталонными.

Совпавшим признаком считается случай, когда отношение измеренной концентрации конкретного ЗВ к ПДК не превышает численного значения равного единице. В этом случае индекс качества безразмерен и его возможные числовые значения заключены в диапазоне ноль — единица, (0–1). Индексы качества, так же как и индикаторы, могут быть простыми, агрегированными, интегральными и комплексными [4, 5]. В формуле (3) i и j нумеруют конкретную измеряемую величину и класс соответственно.

Риск экологический. В первом приближении — вероятностная мера уровня экологической опасности и магнитуды ущерба. Эта величина пропорциональна отклонению от качества и связана с индексом качества соотношением [5]:

$$R_{ij} = k(1 - \chi_{ij}), \quad (4)$$

где k — корректирующий коэффициент и из нее же следует, что диапазон численного изменения R_{ij} также заключен в интервале (0–1), и с ростом качества риск падает. Индекс качества и риск измеряются в сопоставимых линейных шкалах.

Экологическая опасность — Ω — угроза изменения состава или свойств водного объекта, либо появление изменений, связанных с возникновением в нем нежелательных процессов, обусловленных антропогенным воздействием. Смысл данного определения — вероятностный. Это значит, что диапазон изменений этой величины также меняется от 0 до 1. Применительно к человеку экологическая опасность — это угроза нанесения ущерба здоровью и самой жизни человека.

Экологическая безопасность — $S = 1/\Omega$ — величина, обратная экологической опасности. Диапазон изменений (1– ∞). Для практических целей вполне достаточно оперировать диапазоном (1–10).

Приемлемый уровень риска. Уровень приемлемого риска в шкале 0–1 соответствует численному значению равному 0,3–0,4. Все риски, выше этих значений, следует рассматривать как неприемлемые. Управление рисками означает его понижение до указанного уровня.

Уровень экологической безопасности, отвечающий уровню приемлемого риска равен: 2,5–3,3.

Расчет может быть проведен по следующей схеме. Простой индикатор для оценки качества воды рассчитывается по формуле:

$$C_i/M_i = \alpha_i(M_i - F_i)/M_i = \alpha_i(1 - F_i/M_i), \quad (5)$$

где C_i — измеренная концентрация ЗВ; i — его номер; M_i — эффективное значение концентрации конкретного ЗВ, влияющего на здоровье человека и качество воды (обычно $M_i \geq \text{ПДК}_i$); F_i — фоновое значение конкретного ЗВ (для расчета можно взять значение ПДК).

Выражение $(M_i - F_i)/M_i$ — это опасная зона (зона риска) концентраций ЗВ. Тогда безразмерный коэффициент α_i показывает, какую часть опасной зоны составляет отношение фактической концентрации C_i к ПДК_i .

Величина обратная α_i и равная $\beta_i = 1/\alpha_i$ является экологическим индикатором, так как она удовлетворяет сформулированным правилам отбора.

По своему численному значению экологический индикатор может быть и меньше, и больше единицы. Из формулы (5) следует:

$$\beta_i = (M_i - F_i) / C_i. \quad (6)$$

Для построения агрегированного экологического индикатора в простом случае не взаимодействующих ЗВ можно воспользоваться соотношением (модель аддитивной опасности):

$$1/\beta_{agr} = 1/\beta_1 + 1/\beta_2 + \dots + 1/\beta_n, \quad (7)$$

где n — число ЗВ подлежащих контролю ($n = 15$).

Построенный таким образом агрегированный экологический индикатор обладает высокой чувствительностью и более полно отражает экологическую обстановку в плане загрязненности водного объекта приоритетными ЗВ.

Для выбора формы представления экологической информации в систему принятия решений можно воспользоваться специальной табл. 2, иллюстрирующей соотношения между качественными и количественными оценками обобщенных индикаторов, экологического риска и уровня экологической безопасности (табл. 2).

Таблица 2

**Соотношения между качественными и количественными оценками
обобщенных индикаторов, экологического риска и уровня экологической безопасности**

Численные значения обобщенного индикатора $1/\beta_{agr}$	Качественная характеристика уровня экологического риска	Примерное численное значение уровня экологического риска R	Уровень экологической безопасности S
0,01–0,1	Катастрофический	близок к единице	минимальный и равен 1
0,1–0,15	Запредельный	0,9	1,1–1,2
0,15–0,2	Критический	0,8	1,2–1,3
0,2–0,4	Опасный	0,7	1,3–1,4
0,4–0,8	Зона экологического риска	0,7–0,5	1,5–2,0
0,8–1,0	Допустимый	0,5	2,0–2,2
1–2	Приемлемый	0,4	2,2–2,5
2–4	Удовлетворительный	0,3	2,5–3,3
4–7	Вполне удовлетворительный	$\leq 0,2$	3,3–5,0
> 8	Фоновый	0	> 5 максимальный уровень может быть принят за 10

Сопоставление этой таблицы с хорошо известными качественными и количественными оценкам экологического состояния и качества воды по схеме УКИЗВ

показывает, что УКИЗВ имеет ту же тенденцию изменения, что и уровень экологической безопасности, но оценка по методике индикаторов обладает большей точностью и большей наглядностью, что очень важно для лица, принимающего решение (ЛПР).

Комбинированный подход к оценке риска.

Метод матриц риска

Некоторые замечания. Основные положения рискологического подхода подробно описаны в целом ряде источников [1–5]. Риск в экологической сфере выражается в возможном причинении вреда здоровью человека или окружающей среде и появляется в результате незащищенности и существования потенциальной опасности вредных воздействий. *Риск не существует, если не зафиксирована подверженность воздействию загрязняющих веществ (ЗВ) или вероятность наступления неблагоприятной ситуации равна нулю [3–5].*

Опасность определяется способностью конкретного вещества или ситуации спровоцировать появление нежелательных последствий определенного вида при определенных условиях. Понятие риска или опасности всегда относится к системе, включающей источник опасности и объект, на который этот источник может воздействовать.

Любой экотоксикант — несомненный стрессор. Оценка экологического риска предусматривает, что стрессор — это любое воздействие (химическое, механическое, биогенное или полевое), которое вызывает изменение в экологических и биологических системах как негативное, так и позитивное.

На уровень экологического риска влияют следующие факторы:

- 1) опасные природные и техногенные явления;
- 2) уязвимость населения и окружающей среды;
- 3) социальный и природный фон;
- 4) реакция населения на опасные явления, степень подготовленности к ним.

Оценка риска загрязнения водных объектов (в том числе трансграничных) должна быть предпринята прежде, чем будут выработаны решения по стратегии управления риском.

Формально оценка риска — последняя в группе аналитических процедур в помощь принятию административных решений, относящихся к опасности загрязнений компонентов окружающей среды. Эти процедуры предназначены для путей сравнения и обобщения различной информации о тех или иных альтернативах выбора организационных мероприятий. Они призваны обеспечить критерий отбора альтернатив, которые соответственно наиболее эффективны экологически, наиболее приемлемы технологически и наилучшим образом соответствуют конкретному компоненту окружающей среды. Оценка риска добавляет еще одно измерение к выбору организационных мероприятий путем включения информации о вероятности угнетения природных систем с потерей их качества, аварий на технических системах и возможных последствиях этих событий для населения [1–5].

Интегральный и матричный методы оценки риска. Интегральная оценка риска R (определяемая в условных единицах) в аддитивной форме позволяет задавать относительную важность каждого из показателей:

$$R = \sum_{i=1}^4 k_i R_i = k_A R_A + k_R R_R + k_T R_T + k_C R_C, \quad (8)$$

где k_i — весовые коэффициенты; R_A, R_R, R_T, R_C — риски, выделенные в конкретной модели «нагрузка — состояние — отклик», например, R_A — риск проливов нефтепродуктов при операциях транспортировки и перегрузки нефти и т.д.

С позиций теории вероятностей, экологический риск характеризуется возможным сочетанием двух факторов: A — неблагоприятного воздействия на окружающую среду в процессе хозяйственной деятельности и y — тяжести последствий (ущерб здоровью) в результате неблагоприятного исхода. Его можно представить, как математическое ожидание ущерба в анализируемой группе населения на конкретной территории:

$$R = M(Y) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P(A_i) \cdot y_i, \quad (9)$$

где k_i — весовые коэффициенты; $P(A_i)$ — вероятность возникновения неблагоприятного воздействия; y_i — тяжесть последствий неблагоприятного воздействия (в условных единицах).

Из зависимости (9) видно, что величину риска можно определить, с определенной степенью надежности, если известны его характеристики: вероятность неблагоприятного события (воздействия) и ожидаемая величина причиненного ущерба.

Для унификации оценки экологического риска по четырем приоритетным факторам предлагается использовать балльную систему. При этом риск каждого из факторов (R_A, R_R, R_T, R_C) оценивается по шкале от 1 до 25, соответственно суммарный экологический риск R может составлять от 4 до 100 баллов, что позволяет для оценки суммарного экологического риска использовать удобную шкалу.

Оценка экологического риска по каждому из факторов, созданная на основе экспертных заключений, приведена в табл. 3, суммарного — в табл. 4.

Таблица 3

**Характеристики
экологического риска для каждого фактора**

Характеристика риска	Значение в баллах
Несущественный	1–2
Малый	3–5
Возможный	6–10
Существенный	11–19
Высокий	20–25

Таблица 4

**Характеристики
суммарного риска**

Характеристика риска	Значение в баллах
Несущественный	4–8
Малый	9–20
Возможный	21–35
Существенный	35–60
Высокий	61–100

В соответствии с (9), экологический риск, вследствие аварийности, например, проливов нефтепродуктов, R_A определяется как

$$R_A = P_A \cdot T_A, \quad (10)$$

где P_A — вероятность реализации опасности; T_A — тяжесть последствий.

С использованием балльных оценок P_A и T_A лежат в диапазоне 1–5, тогда риск R_A — в диапазоне 1–25.

Оценка вероятности реализации опасности приведена в табл. 5, тяжести последствий — в табл. 6.

Таблица 5

Вероятности реализации опасности P_A

Качественная характеристика частоты	Частота события	Баллы
Практически невозможно	$< 10^{-6}$ в год	1
Маловероятно	10^{-6} — 1 раз в 20 лет	2
Редко	1 раз в 20 лет — 1 раз в 5 лет	3
Возможно	1 раз в 5 лет — 1 раз в год	4
Часто	Чаше, чем 1 раз в год	5

Таблица 6

Тяжести последствий T_A

Тяжесть последствий	Потенциальные последствия для людей	Баллы
Легкая	Без травмы, травма потенциально возможна	1
Незначительная	Незначительная травма без временной потери трудоспособности	2
Значительная	Легкий несчастный случай с потерей трудоспособности до 60 дней	3
Крупная	Тяжелый несчастный случай	4
Катастрофическая	Групповой несчастный случай или несчастный случай со смертельным исходом	5

Особенности оценки риска с помощью матрицы риска. При работе с матрицами риска следует предварительно провести анализ по следующим направлениям [5]:

- 1) идентификация опасностей: выявление и описание всех источников опасностей и путей (сценариев) их реализации (перечень нежелательных событий; описание источников опасности, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий, например, сценариев возможных аварий; предварительные оценки опасности и риска);
- 2) оценка риска: определение частот возникновения инициирующих и всех нежелательных событий; оценка последствий возникновения нежелательных событий; обобщение оценок риска;
- 3) разработка рекомендаций по уменьшению риска — технических и организационных.

Матрица оценки суммарного риска приведена на рис. 1.

Тяжесть последствий						
Вероятность реализации		1	2	3	4	5
	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Рис. 1. Матрица оценки рисков

Управление рисками.**Методики снижения рисков загрязнения ПТС, образованных водными объектами**

Важным этапом управления рисками является выбор наиболее эффективных мер по их снижению, при этом план соответствующих мероприятий составляется с учетом финансовых ограничений. Наибольшую сложность при этом представляет разработка очередности мероприятий для предотвращения нежелательных событий в связи с высокой степенью неопределенности, связанной с нечеткостью, так как частично или полностью отсутствует информация о возможных состояниях системы и со случайностью в связи с необходимостью возрастания требуемого для принятия решения объема информации об окружающей среде. В этом случае целесообразно использовать методы поддержки принятия решений.

Предложенная методика основана на применении вероятностно-статистических критериев для определения стратегии управления экологическими рисками, которая может включать мероприятия по модернизации оборудования, планово-предупредительным ремонтам, совершенствованию средств коллективной защиты, организации обучения персонала и т.п. При этом накладываются ограничения на финансовые затраты и время. Например, на нефтяном терминале, если наиболее вероятной причиной аварии на объекте являются ошибочные действия персонала. При этом эффективной стратегией будет организация обучения. Если же мы выберем мероприятия по установке автоматических блокировок, стратегия будет менее эффективной, но снижение риска произойдет, поскольку даже при ряде ошибочных действий произойдет срабатывание защитной автоматики. В случае разрушения конструкций из-за их устаревания, например образование утечки нефти вследствие коррозии трубопровода и последующего пожара, данные стратегии будут мало эффективны, усилия должны были быть приложены к проведению капитального ремонта.

Стратегии могут быть комплексными, предусматривающими ряд мер. Выбор той или иной из них предложено осуществлять на основе применения различных критериев в зависимости от вероятного риска. Например, критерий Байеса позволяет

минимизировать риск, т.е. с вероятностной точки зрения такая стратегия будет оптимальной. Но он не учитывает маловероятные события, которые могут привести к катастрофическим последствиям, например, крупным транспортным авариям с человеческими жертвами. В этом случае необходимо использовать критерий Вальда.

На рис. 2 приведен пример применения вероятных стратегий действий по минимизации рисков.

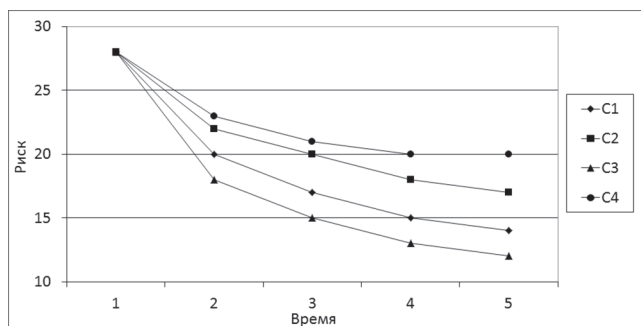


Рис. 2. Пример применения различных стратегий:

C_1, C_2, C_3, C_4 — сценарии ликвидации нефтеразливов, приводящие к минимизации рисков и ущербов

Важным принципом управления риском является вовлечение представителей заинтересованных сторон в процесс разработки и принятия управленческих решений. Представители заинтересованных сторон вносят в процесс исследования и обсуждения возможных альтернатив решения так необходимые ученым данные, сведения, экспертные оценки, получить которые можно, только находясь «внутри» рассматриваемой ситуации.

Для того чтобы *риск-менеджеры* и представители заинтересованных сторон могли принять верное и эффективное решение в области управления риском, им необходимо владеть всей полнотой информации о потенциальной угрозе, связанной с той или иной ситуацией, а также о вероятности трансформации этой угрозы в опасную ситуацию.

Такой взгляд на проблему оценки и управления рисками в условиях их множественности, позволит понизить неопределенность в процессе принятия решений и уменьшить финансовые затраты на проведение необходимых мероприятий.

Заключение

Любая экологическая проблема, будь то угроза безопасности окружающей среды или здоровья человека, может существовать в двух стадиях: реальная или потенциальная. В идеале, потенциальные угрозы должны быть спрогнозированы, рассмотрены и предотвращены на самых ранних стадиях их появления. В общем же случае, наличие проблемы может быть установлено при помощи различных индикаторов и методов, таких как:

- 1) проведение постоянного контроля и ведение кадастра вредных сбросов и выбросов; также ведение учета токсичных выбросов (Toxic Release Inventory);

- 2) проведение биологического мониторинга, например, измерение уровня содержания свинца в крови детей, проживающих в прибрежной территории и пользующихся трансграничной водной системой, или количества больных анемией;
- 3) проведение тестов на токсичность различных веществ на лабораторных животных с целью выявления химических элементов, способных негативно воздействовать на состояние здоровья человека или водного объекта;
- 4) проведение тестов на токсичность на контрольных представителях различных биологических видов, что позволит определить воздействие загрязнений на экосистемы;
- 5) контроль за уровнем заболеваемости, например, участвовавшие случаи заболевания астмой тяжелых форм, или значительное превышение общенациональных показателей заболеваемости раком или врожденных увечий в отдельной местности;
- 6) эпидемиологические исследования, например, наблюдения за условиями труда портовых работников и моряков, вредными воздействиями на производстве и связанными с ними уровнями заболеваемости;
- 7) жесткое отслеживание соблюдения локальных и национальных экологических стандартов с тем, чтобы контролировать концентрации вредных веществ в воздухе, воде, почве или пище;
- 8) выдача разрешений на осуществление определенного вида деятельности (например, размещение в береговой зоне промышленных предприятий, слив сточных вод и т.д.), при неисполнении требований которых (равно как и при нарушении существующих стандартов) к нарушителям применяются санкции в установленном законом порядке;
- 9) проведение опросов общественного мнения среди местных жителей с целью выяснения их отношения к решениям, непосредственно затрагивающим их интересы;
- 10) изучение докладов специалистов в области охраны окружающей среды, способных привлечь внимание общественности к опасностям и риску, сопряженным с принятием окончательных решений на основе предварительной или неполной информации.

Литература

1. *Бабаев Н.С., Кузьмин И.И.* Абсолютная безопасность или «приемлемый риск». — М., 1992.
2. *Елохин А.Н., Елохин А.А.* Проблема выбора критериев приемлемого риска. // Проблемы анализа риска, 2004, т. 1, № 2, с. 138–145.
3. *Карлин Л.Н., Музалевский А.А.* Рискологические исследования в РГГМУ. // Безопасность жизнедеятельности, 2011, № 2, с. 5–20.
4. *Музалевский А.А., Карлин Л.Н.* Экологические риски: теория и практика. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 448 с.
5. *Музалевский А.А.* Управление рисками. // Безопасность жизнедеятельности, 2012, № 10, с. 2–24.
6. Управление по вопросам охраны здоровья, техники безопасности и охраны труда Великобритании (Health and Safety Executive — HSE). Официальный сайт. — Электронный ресурс: [http://www.hse.gov.uk/index.htm] (дата обращения: 21.01.2013).
7. *Фрумин Г.Т., Мохсен Абдулхакам Мохсен Ахмед* Оценка риска для водных экосистем при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. // Материалы межвузовской конференции «География и смежные науки. LXI Герценовские чтения». — СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2008, с. 307–315.
8. *Pitblado R., Bardy M., Nalpanis P., Crosssthaite P., Molazemi K., Bekaert M., Raghunathan V.* International comparison on the application of societal risk criteria. // Process Safety Progress, 2012, vol. 31, iss. 4, p. 363–368. — DOI:10.1002/prs.11525.

С.И. Биденко, Н.Е. Сердитова, С.В. Травин, Н.Б. Михайлов, М.М. Хренов

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

S.I. Bidenko, N.E. Serditova, S.V. Travin, N.B. Mikhailov, M.M. Khrenov

INFORMATIONAL SPACE OF MANAGEMENT OF REGIONAL ECO-ECONOMIC ACTIVITY

Показано методологическое значение категории «Единого информационно-го пространства» (ЕИП) в системе эколого-экономического регулирования региона, определены подходы к его структурированию. Обсуждены термины и понятия, связанные с данной категорией. Постулируется переход от структуры «организация – функции – иерархия» ЕИП к подходам организационной, функциональной и технологической упорядоченности

Ключевые слова: информационное пространство, информационный ресурс, система эколого-экономической активности (ЕЕ-активность) региона (СЭА), эколого-экономическая ситуация (обстановка) в регионе (ЭЭ-ситуация), упорядоченность множества объектов системы эколого-экономической активности (СЭА), эколого-экономическое регулирование территории

The methodological significance of the category of «Unified informational space» in the system of environmental-economic regulation of the region is shown. Approaches to its structuring are defined. Terms and concepts associated with this category are discussed. The transition from the structure «organization — function — hierarchy» of CIS to well-regulated organizational, functional and technological unity is postulated.

Key words: informational space, informational resource, the system of environmental-economic activity (EE-activity) of the region, ecological- and economic situation in the region (EE-situation), environmental and economic regulation of the territory.

Управление социумом включает в себя важный аспект экономического регулирования региона (территории) [14, 16, 21]. В последнее время установлены и исследуются тесные прямые и обратные связи экономики с экологической ситуацией. Сформировалась и развивается целая синтетическая дисциплина «экологическая экономика» (экоэкономика) [22–26]. Имеются в виду не хозяйственные вопросы экологической деятельности, а решение экономических проблем территории с учетом экологической составляющей (ограничений) функционирования социума [30, 33, 36–38], т.е. некий синтетический эколого-экономический подход к вопросам регулирования территории.

Экоэкономика характеризуется более глубоким подходом к решению проблем окружающей среды, используя законы естественных наук. Например, для понимания проблемы истощения океанских рыбных запасов экоэкономика, наряду с экономическим взглядом на рыбу как на производственный ресурс, обращается к биологии и экологии популяций. То же относится к вопросам лесоводства, сельскохозяйственной деятельности, добывающей промышленности и др.

Экоэкономика подчеркивает важность источников энергии, особенно ископаемого топлива, в современных экономических системах. Все экосистемы зависят от потребляемой энергии, однако природные системы практически полностью опираются на солнечную энергию. Быстрый рост экономического производства в XX столетии потребовал глобального энергопотребления, и глобальные экономические системы требуют еще больше энергообеспечения в XXI в. Центральной проблемой экоэкономики являются энергозапасы и последствия использования энергии для окружающей среды.

Фундаментальным признаком экоэкономики является то, что деятельность человека лимитируется потенциальной емкостью экологической системы. Потенциальная емкость определяется как уровень потребления населением и хозяйством, который имеющаяся природно-ресурсная база может поддерживать без истощения. Например, если поголовье пастбищных животных превысит определенный порог, запасы кормов начнут истощаться, что неизбежно приведет к сокращению поголовья.

Экоэкономика указывает на такие ограничения для экономического роста, как запасы энергии, истощающиеся природные ресурсы и кумулятивный (накапливающийся) ущерб для окружающей среды. Экоэкономика подчеркивает, что стандартная экономическая теория придает экологическим факторам недостаточный вес и что основные приоритеты экономической деятельности необходимо привязывать к экологическим пределам.

Управление экоэкономическими процессами реализуется через традиционные организационно-технические структуры регулирования хозяйственной активностью региона [14, 17, 39]. Этому во многом способствуют различные средства и системы автоматизации, которые, в свою очередь, опираются на соответствующее информационное обеспечение [1, 5, 41].

В последнее время появляется множество публикаций, посвященных категории «единого информационного пространства» той или иной предметной области (ведомства, отрасли, направления деятельности и т.д.), в том числе системы эколого-экономической активности региона [8, 13, 18, 19, 27, 28]. В этих работах исследуется и обобщается большой объем сведений по проектированию, разработке и применению различных по уровню, организационной принадлежности и функциональному назначению автоматизированных систем и средств управления соответствующими предприятиями, организациями и видами деятельности. Часто целью этих работ является создание концепции построения в ведомстве (организации, предметной области) непрерывной информационно-расчетной среды, связывающей единой кибернетической технологией все уровни и органы управления сложной территориальной природно-социальной системой.

Поиск базовой категории, «кибернетического эфира», пронизывающего и организующего систему автоматизированного управления, давно занимает теоретиков и практиков — разработчиков автоматизированных систем управления (АСУ). В исторической ретроспективе поиск и решение этой проблемы искалось в подходах и на путях разработки баз данных, баз знаний, систем поддержки принятия решений, искусственном интеллекте, нейронных сетях и других научно-технических приложениях. Часто на роль глобального «кибермедиа» выдвигается категория ЕИП. Именно в этом состоит основополагающее, пронизывающее всю предметную область автоматизированного

управления значение указанной кибернетической категории. Выделение понятия «единое информационное пространство отрасли (ведомства, направления деятельности)», обоснование его роли в системе автоматизации органов управления, определение базовых (основных) понятий (категорий) АСУ ведомством (отраслью, направлением деятельности) — это значимый теоретический шаг в развитии современной информатики и кибернетики.

Цель создания ЕИП состоит в расширении возможностей системы управления регионом (ведомством, отраслью) по полноте, качеству и своевременности представления информации посредством формирования единой информационной среды процессов управления. Под ЕИП в литературе понимается совокупность информационных ресурсов и унифицированных правил создания, потребления, доступа и использования этих ресурсов. К информационным ресурсам предъявляются требования актуальности и полноты. Формально информационное пространство определяется как множество информационных ресурсов с отношениями (декартово произведение) и операциями (объединение, пересечение, вычитание, дополнение и др.) над ними.

К ключевым понятиям автоматизированного управления в публикациях относятся функции управления, организационная структура органов управления, уровни управления, информационные ресурсы и информационные технологии управления.

Под функцией управления подразумевается связанная с обработкой информационного ресурса логически завершенная последовательность действий органа управления (лица, принимающего решение), реализующая определенный этап управления (уяснение задачи, оценка обстановки, выработка решения и т.д.) регионом и в соответствующей предметной области (задаче) управления (экономика, экология, логистика, ресурсное обеспечение и т.п.). Функция управления определяется на множестве информационных ресурсов и содержит множество возможных управляющих воздействий на контролируемые объекты.

Информационная технология представляется совокупностью средств, методов и способов обработки информации, направленных на формирование информационного ресурса и поддержку функций управления.

В качестве объектов ЕИП системы СЭА региона определяются информационные ресурсы управления данной отраслью. В свою очередь, под информационным ресурсом управления понимается совокупность знаний, данных, технологий, систем анализа и обработки информации, служащих для выполнения конкретных функций регулирования. То есть данные, выступающие основой поддержки управления СЭА. Сюда в первую очередь входит информация об обстановке, в которой функционирует территориальная организационно-техническая система. Это информация о своих эколого-экономических объектах (и органах управления в том числе), негативных факторах социо-среды, а также данные о самом регионе (территории), районе эколого-экономической активности (физико-географические условия). Понятно, что обстановка — это привязанная к определенной территории система природных и социальных (антропогенных) факторов геосреды, участвующих в эколого-экономической (ЭЭ) активности региона (их расположение, состояние, функционирование и взаимосвязи).

Отношения на множестве объектов, т.е. структура пространства, вводятся формально, как их алгебраическое декартово произведение.

Содержательно же ЕИП структурируется по принадлежности соответствующих информационных ресурсов одной из трех содержательных осей (координат): иерархическому уровню СЭА (I), функциям управления (F) и организационно-административной структуре СЭА (S) (рис. 1).

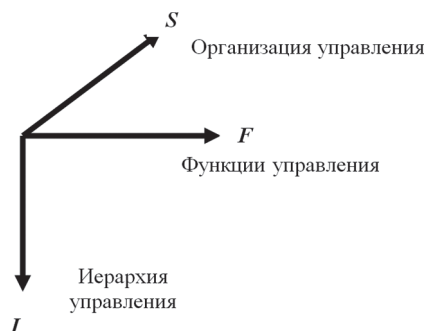


Рис. 1. Традиционное представление структуры единого информационного пространства

На иерархической координате располагаются информационные ресурсы (ИР) регионального (областного), районного и муниципального уровней СЭА.

К функциям управления относятся ИР, обеспечивающие: отображение задач, поставленных вышестоящими органами управления, освещение и оценку ЭЭ-обстановки, выработку рекомендаций, реализацию принятых решений.

Административные ИР поддерживают организацию управления и функционирования, различные виды обеспечения СЭА (мониторинг, автоматизация управления, наблюдение, измерения (дистанционное зондирование), анализ данных обстановки, заказы и поставки, образование, логистика, метрология, материально-техническое обеспечение и т.д.).

Предложенные подходы позволяют в единых терминах строить как частные категории автоматизированного управления (функциональная система, организационная система, информационное поле, информационный ресурс), так и формировать глобальные представления, которые создают предпосылки повышения качества процессов управления СЭА за счет обеспечения неразрывной информационной технологии их реализации.

Отдавая отчет в фундаментальности введенных понятий и определений автоматизированного управления, авторы публикаций не настаивают на их логической завершенности и приглашают научную общественность к широкой дискуссии по проблеме формирования единой информационной среды поддержки управления. Такое обсуждение действительно может иметь место. Отправной точкой здесь служит само определение пространства, его общепринятая трактовка. Как известно, пространство — это совокупность упорядоченных объектов или множество объектов со структурой [1–6]. Структура пространства задается отношениями на исходном множестве объектов. Поэтому для конструирования информационного пространства (ИП) СЭА следует определиться с его объектами и структурой.

Объектами ИП должны быть такие первичные элементарные информационные единицы, которые существуют независимо друг от друга и по определению не связаны между собой. Если исходить из того, что объектом ЕИП следует считать информационный ресурс (ИР), который является «совокупностью сведений элементов об обстановке, необходимых лицу, принимающему решение, для реализации функций управления», то мы получим не элементарную независимую частицу информации, а некоторую логическую конструкцию, элементы которой связаны, минимум, двумя отношениями. Это отношение предметно-содержательной упорядоченности, агрегирующее информацию в кибернетическую категорию «обстановка». И это отношение функциональной упорядоченности, структурирующее данные по этапам управления. Т.е. в самом определении первичного объекта пространства (информационный ресурс) содержатся прямые ссылки на отношения над объектами пространства.

Следовательно, поиск корректного определения объекта ИП следует продолжать. Представляется, что объект ИП может быть определен как единица информации или данные, циркулирующие в среде автоматизированного управления СЭА. И далее уже на этих единицах информации строить соответствующие отношения. Хотя, наверняка, могут быть предложены и другие подходы к описанию объектов ИП.

Определившись с основными единицами (объектами) ИП, можно переходить к рассмотрению его структуры, т.е. отношений на множестве информационных единиц (данных) системы автоматизированного управления СЭА.

В литературе, как указывалось выше, предлагается трехмерная структура ЕИП: иерархические уровни СЭА, ось функций управления и номенклатура органов управления. Отношения — абстрактное декартово произведение на множестве информационных ресурсов. Можно согласиться с таким упорядочением ИП. При этом, однако, возникают вопросы: каким образом представляются объекты пространства в информационно-технологическом аспекте? Где указание на то, с помощью чего формируются и используются информационные ресурсы? Описание упорядочения подпространства средств обработки информации отсутствует.

Какие же отношения реально формируют структуру ИП? Во-первых, должен быть решен вопрос системотехнической упорядоченности объектов пространства. ИП должно содержать технологическое подпространство, которое описывает непрерывную информационно-технологическую среду (техническое, информационное, программное обеспечение) автоматизированного управления, т.е. в ЕИП должна иметь место некая системотехническая или технологическая ось *T*. Далее, интуитивно ясно и из предлагаемых в публикациях определений ЕИП следует, что оно должно содержать отношения кибернетической (функциональной) упорядоченности [12, 17, 20], т.е. связи между единицами информации, обеспечивающие реализацию функций управления территориальным объектом (оценка обстановки, выработка решения, планирование, реализация решения). Отношения функциональной упорядоченности формируют совокупности данных, которые предназначаются для информационной поддержки функций управления в АСУ. Это введенная в литературе ось *F*.

Известно, что функции управления реализуются соответствующими организационными структурами (органами управления). В этих структурах (управления, отделы, службы) формируется и обрабатывается информация, которая потребляется при

реализации функций управления. Организационная упорядоченность описывается введенной в публикациях осью *S*.

Отметим, что при структурировании ИП вряд ли целесообразно вводить какие-либо операции над объектами, так как операция сама по себе является формой отношения.

Также в определенной мере дискуссионным представляется подход, связанный с выделением иерархической оси (*I*) ЕИП.

Во-первых, на любом уровне управления СЭА (регион, область, район, муниципальное образование) реализуются общие контрольные функции оценки обстановки, выработки рекомендаций, планирования и реализации решения. Уровни управления при единых оперативных функциях отличаются только количеством, генерализацией (обобщением) данных и темповой напряженностью обрабатываемых сведений, а также степенью ответственности за принимаемые решения и их последствия. При значительном сокращении в настоящее время организаций и штатных единиц СЭА их органами управления на современном этапе реформирования (оптимизации) хозяйственной и экологической деятельности в регионах контролируются практически одни и те же немногочисленные объекты ЭЭ-активности, сохранившиеся к настоящему времени.

Во-вторых, известно, что любая организационная граница, иерархический барьер создают объективную предпосылку к разрывности информационной среды процессов управления. История автоматизации органов управления различных гражданских и военных ведомств с очевидностью демонстрирует, что каждая служба, управление или отдел, если только самостоятельно развертывает собственную автоматизированную систему, в последнюю очередь озадачивается вопросами информационной совместимости как по горизонтали, так и по вертикали.

Таким образом, введенные отношения организационной, функциональной и технологической упорядоченности с необходимой полнотой и достаточной степенью детализации структурируют ИП СЭА. Они определяют: кто (организация), что (функции) и каким образом (технология) делает с информацией в процессе автоматизированного управления территориальными системами ЭЭ-активности. При этом должна обеспечиваться сквозная непрерывная обработка информации на всех иерархических и структурных уровнях системы управления.

Информационное пространство СЭА при таком подходе может быть определено как множество единиц информации (данных), упорядоченное в организационном, оперативном и технологическом отношениях в целях обеспечения непрерывного функционирования соответствующей системы управления (рис. 2).

Постулированное таким образом ИП органов управления территориальных систем ЭЭ-активности создает предпосылки к единому пониманию структуры информационной поддержки управления, формированию однородной сквозной непрерывной информационно-технологической среды процессов управления СЭА.

Сформулированные подходы к структурированию ИП СЭА позволяют переходить к рассмотрению более сложных производных пространственных понятий. Это геоинформационные и геокИБернетические аспекты ИП, проблемы активности информации в АСУ, вопросы построения топологии и метрики ИП и многие другие [7, 9–11, 15, 29, 31, 34, 35].

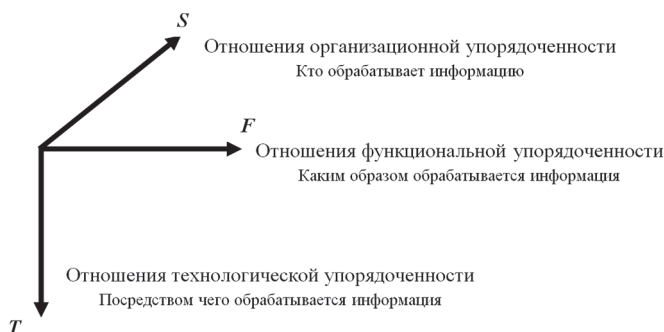


Рис. 2. Структура ЕИП в терминах отношений организационной, функциональной и технологической упорядоченности

В придании логической связности и структурной целостности сущностной основе информационной базы автоматизированного управления и состоит основополагающее теоретическое значение категории «Единое информационно-функциональное пространство», соответствующей территориально-отраслевой структуры региона.

Литература

1. Белов В.С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения. — М.: МЭСИ, 2005. — 111 с.
2. Биденко С.И., Самотонин Д.Н., Яшин А.И. Геоинформационные модели и методы поддержки управления. — СПб.: изд-во ФВУ ПВО, 2003. — 224 с.
3. Биденко С.И., Комарицын А.А., Яшин А.И. Геоинформационная система поддержки принятия решений. — СПб.: изд-во СПбГЭТУ, 2004. — 132 с.
4. Биденко С.И., Яшин А.И. Геоинформационные технологии. — Петродворец: изд-во ВМИРЭ, 2004. — 272 с.
5. Биденко С.И., Якушев Д.И. Геоинформационные управляющие системы и технологии. — СПб.: изд-во СПбУ МВД, 2014. — 248 с.
6. Биденко С.И., Коваленко С.Г. Модельно-методическая поддержка построения и функционирования автоматизированной системы контроля документов в пунктах пропуска. — СПб.: «Технолит», 2015. — 420 с.
7. Биденко С.И., Днов В.Н., Травин С.В. Геоинформационный подход к реализации методики работы командира по управлению силами флота. // Морской сборник, 2015, № 9, с. 41–48.
8. Губадуллина Т. Методологические проблемы развития эколого-экономических отношений в современных условиях. — Казань: «Гатполиграф», 1999. — 112 с.
9. Зиновьев А.В., Биденко С.И. и др. Концепция геопространственного представления и анализа экологической ситуации территории. // Вестник ТвГУ, сер. «Биология и экология», 2015, № 2, с. 133–143.
10. Зиновьев А.В., Биденко С.И. и др. Геопространственное представление территориальных экологических систем. // Вестник ТвГУ, сер. «Биология и экология», 2015, № 2, с. 144–153.
11. Кудж С.А. Научно-методические и технологические основы единого информационного пространства межведомственной деятельности. Дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2011. — 302 с.
12. Манойло А.В. Государственная информационная политика в особых условиях. — М.: МИФИ, 2003. — 388 с.
13. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона. Под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. — М.: «Наука», 2001. — 175 с.
14. Нестеров П.М., Нестеров А.П. Менеджмент региональной системы. — М.: «ЮНИТИ-ДАНА», 2002. — 365 с.
15. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2014, № 10, с. 21–24.

16. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. — М.: «Макс Пресс», 2010. — 208 с.
17. Панамарев Г.Е., Биденко С.И. Геоинформационная поддержка управления сложными территориальными объектами и системами. — Новороссийск: изд-во МГА, 2011. — 202 с.
18. Перекрестова Л.В., Нелюбова Н.Н. Информационное пространство управления предприятием. — Волгоград: изд-во Волгоградского гос. ун-та, 2004. — 210 с.
19. Поляков А.А., Цветков В.Я. Информационные технологии в управлении. — М.: МГУ, 2007. — 428 с.
20. Пыльнева Т.Г. Совершенствование управления региональными эколого-экономическими системами (теория и практика). Дис. ... д-ра экон. наук. — М., 2002. — 307 с.
21. Розенберг И.Н., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Комплексные инновации в управлении сложными организационно-техническими системами. Под ред. В.И. Якунина. — М.: «Феория», 2010. — 248 с.
22. Санжина О.П., Ершова С.А. Проблемы управления регионом как социально-эколого-экономической системой. — Улан-Удэ: изд-во ВСГТУ, 2000. — 109 с.
23. Сердитова Н.Е. Экономика природопользования: эколого-экономическая перспектива. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 365 с.
24. Сердитова Н.Е. Экономика природопользования. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 314 с.
25. Сердитова Н.Е. Методология применения геоинформационных технологий в задачах оценки состояния территорий. // Учёные записки РГГМУ, 2011, № 18, с. 219–223.
26. Сердитова Н.Е. Методология применения геоинформационных технологий в задачах дистанционного зондирования. // Учёные записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 220–226.
27. Соловьёв И.В. и др. Единое информационно-управляющее пространство ВМФ. От идеи до реализации. — СПб.: «Ника», 2003. — 490 с.
28. Соловьёв И.В., Майоров А.А. Проектирование информационных систем. Фундаментальный курс. Под ред. В.П. Савиных. — М.: «Академический проект», 2009. — 398 с.
29. Схиртладзе А.Г., Скворцов А.В., Чмырь Д.А. Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий. — М.: «Абрис», 2012. — 615 с.
30. Угольников Г.А. Управление эколого-экономическими системами. — М.: «Вузовская книга», 1999. — 132 с.
31. Цветков В.Я. Модели в информационных технологиях. — М.: «Макс Пресс», 2006. — 104 с.
32. Цветков В.Я. О пространственных и экономических отношениях. // Международный журнал экспериментального образования, 2013, № 3, с. 115–127.
33. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Экономика и экология: развитие катастрофы. — М.: «Наука», 1996. — 271 с.
34. Шилин М.Б., Биденко С.И. и др. Концепция моделирования геоэкологической ситуации. // Учёные записки РГГМУ, 2015, № 39, с. 157–164.
35. Шилин М.Б., Биденко С.И. и др. Геопространственное структурирование экологической ситуации региона. // Учёные записки РГГМУ, 2015, № 40, с. 174–183.
36. Эколого-экономические районы (теоретико-методологические аспекты развития). Под ред. д.г.н. М.Д. Шарыгина. — Пермь: изд-во Перм. ун-та, 1995. — 192 с.
37. Эколого-экономическое обоснование сбалансированных форм регионального развития в системе «Общество – природа» (Цели, задачи, решения). Под ред. О.П. Литовки, М.П. Федорова. — СПб.: изд-во СПбГТУ, 2001. — 368 с.
38. Якобсон А.Я., Якобсон Б.Б. Эколого-экономические системы как объект информации управления и районирования. — Новосибирск: ИЭИОПП, 1987. — 19 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

П.П. Бескид, Е.А. Байков, Е.П. Истомин, А.Г. Соколов, А.А. Фокичева

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ И ТЕРРИТОРИЯМИ

P.P. Beskid, E.A. Baikov, E.P. Istomin, A.G. Sokolov, A.A. Fokicheva

GEOINFORMATION MANAGEMENT AS A MODERN APPROACH TO THE CONTROL OF SPATIALLY DISTRIBUTED SYSTEMS AND TERRITORIES

Рассмотрены современный геоинформационный подход к управлению пространственно-распределенными организационно-техническими системами и территориями, основанный на привлечении для управления пространственной информации, основные аспекты и комплексные модели обоснования решений в геоинформационном управлении: институциональная, экономическая, техническая, социальная, экологическая. Представлена методика анализа характеристик территории и приведены основные информационные массивы, обеспечивающие решение практических задач управления на различных уровнях: территория, объекты в пределах территории.

Ключевые слова: геоинформационный подход к управлению, территории, модели, информационные массивы.

The article deals with modern geoinformation approach to governance spatially-distributed organizational-technical systems and territories, involving management of spatial information. Discuss the main aspects and the integrated model for decision support in join information management: institutional, economic, technical, social, environmental. The presented method of analysis of the characteristics of the territory and gives the basic information arrays, providing solutions to practical management tasks on different levels: territory, objects within the territory.

Key words: the GIS-approach to management, site, models, information arrays.

Эволюция технологий управления сложными системами опирается на систему факторных условий, которые в современном мире применительно к пространственно-распределенным системам и территориям включают процесс глобализации, уровень развития мировой экономической системы (мировые рынки), уровень развития технологий управления и наличие и возможности информационных сетей различного масштаба. Современные факторные условия позволяют по-новому взглянуть на современную систему управления как сложную, распределенную в геопространстве

систему взаимодействия различных субъектов и объектов управления, что и определяет возникновение феномена геоинформационного управления [5].

Определим геоинформационное управление как управление с привлечением пространственной информации. Целью геоинформационного управления территорией выступает разработка и реализация информационно-обеспеченного рационального варианта из альтернативных вариантов управленческого решения на соответствующем уровне геоинформационного управления. Основные элементы геоинформационного управления включают функции прогнозирования, планирования, организации, мотивации и контроля, основанные на привлечении пространственной информации, соотношенной с нормативно-правовой базой. Результат геоинформационного управления — рациональное управленческое решение на основании принятых критериев, включающее пространственные характеристики и атрибутивное описание. Пространство при этом следует рассматривать в широком смысле — как логически мыслимую форму, которая служит средой существования других форм и тех или иных конструкций, объектов. Объекты как конструкции пространства представляют собой точки, характеризующиеся совокупностью свойств в соответствии с определенными для пространства отношениями. Пространственные аспекты управления требуют расширить применимость геоинформационных систем: необходимо рассматривать их как основные системы информационного обеспечения принимаемых решений для развития пространственно распределенных организационно-технических систем и территорий. Такой подход позволит конкретизировать и дополнить систему требований к геоинформационным системам, сделать их неотъемлемой частью систем государственного и муниципального управления, систем управления сложными пространственно-распределенными объектами.

Развитие территории как сложной организационно-технической системы (ОТС) — ее неотъемлемое свойство, характеризующее необратимый процесс изменения характеристик ОТС во времени и пространстве. Можно определить управление развитием территориальной организационно-технической системы как целенаправленный процесс изменений, основанный на существующих объективных факторах и ориентированный на удовлетворение потребностей заинтересованных групп (субъекта управления) и общества в целом в условиях ограниченности доступных ресурсов.

С точки зрения геоинформационного подхода к управлению геопространство можно структурировать — выделить взаимосвязанные компоненты пространства решений, включающие:

- координатное (географическое) пространство — предполагает размещение объектов, конструкций в принятой системе координат, например, трехмерное пространство — x, y, z — φ, λ, h , или другая принятая система координат. Координатное пространство характеризуется: координатами объектов, расстояниями, геометрическими фигурами, границами и др.;
- факторное пространство — размещение в географическом пространстве объективных и субъективных факторов, влияющих на принятие и реализацию управленческих решений. Характеризуется: координатами размещения, особенностями и параметрами факторов (природные, ресурсные, предпринимательские и др.), доступностью и затратами для их использования в целях управления и др.;

- пространство событий. Событие представимо как ограниченное во времени и пространстве явление, конкретный временной факт, результат деятельности системы, которые свершаясь, отменяют или дополняют прежние результаты наблюдения и исследования системы. События индивидуализируются относительно системы в своей уникальной, неповторимой и ограниченной во времени и пространстве сущности. С точки зрения геоинформационного управления событие — то, что имеет место, происходит, наступает в произвольной точке пространства и времени, существенное значимое происшествие, явление или иная деятельность как факт существования системы, оказывающее влияние на управленческие решения. Событие характеризуется: координатами, временем возникновения, масштабами (пространственными, временными и др.), последствиями или уровнем воздействия на пространственную ОТС и др.;
- пространство состояний объектов управления (фазовое или атрибутивное пространство) относится к конкретному объекту управления. Динамика существования объектов во времени как жизненный цикл существования объектов и в пространстве как движение объектов ограничивает и изменяет условия управления и, соответственно, управленческие решения. Пространство состояний объектов управления характеризуется некоторой совокупностью переменных, атрибутов. Поэтому каждое такое состояние можно представить вектором n -мерного пространства переменных состояния, включающим: координаты размещения объектов в географическом пространстве, взаимное влияние объектов (система отношений, связей), свойства, атрибуты, в том числе время, значимость для управления, например, вес для выбора альтернатив, степень участия в событиях и др.
- пространство решений, которое составляет основу геоинформационного управления. Решение объединяет все элементы геопространства и характеризуется: координатами границ области реализации решения (зона ответственности, время разработки и реализации решения), уровнем решения (юрисдикция, подотчетность объектов управления, масштаб), степенью формализации (нормы, стандарты, законы, обязательность исполнения), содержанием (исполнители, время реализации, технологии реализации, результаты и форма их представления и др.).

В пространстве решений существенную роль играют субъективные факторы: культура, динамизм населения, лидерство, существующие и потенциальные возможности, такие как развитость науки, экономики, технологий и др.

Существующие уровни пространства решений:

- надстрановой — глобальный, международный, макрорегиональный;
- страновой, микрорегиональный — регионы государства;
- уровень местного самоуправления — муниципальный;
- организационный;
- групповой, индивидуальный.

Особенность пространства решений: уровни принятия решений в определенном смысле и с некоторыми ограничениями образуют иерархическую систему, связаны между собой системой вертикальных и горизонтальных связей. Сложность современной

пространственной ОТС и множество субъектов управления элементами со своими целями приводят к ограниченности иерархии управления и возрастанию значимости системы горизонтальных связей.

Процессы глобализации и ускорение научно-технического прогресса привели к укрупнению организационно-технических систем, агрегированию отдельных элементов, формированию и укреплению устойчивых глобальных взаимосвязей, возникновению новых глобальных центров принятия решений. В современных условиях ясно, что реализовать эффективное управление развитием систем любого уровня невозможно без учета всех элементов деятельности в ретроспективном или историческом, перспективном или стратегическом, а также в пространственном аспектах. Определяющими условиями управления развитием становятся: человеческий фактор, экологические аспекты деятельности, социокультурные процессы и ограничения.

Сложность и разнонаправленность целевых установок, существенные отличия форм представления характеристик элементов систем предполагают использование различных форматов их формализованного представления, необходимость разработки методов измерения, создание методов, процедур, алгоритмов согласования, агрегированного представления гетерогенной информации для использования ее в системах и процедурах принятия решений.

Основные факторы геоинформационного управления обладают низкой динамикой, что делает управление стратегическим — принятие и реализация решений ориентируются на длительный период и являются квазистационарными. Наиболее динамичными представляются элементы пространства объектов и событий. Поэтому наиболее адекватными методами управления являются методы стратегического управления, что делает необходимым исследование возможности модификации основных инструментов геоинформационного управления развитием объектов управления с учетом пространственных характеристик ОТС и территорий. Систематизация инструментов геоинформационного управления позволяет сосредоточиться на особенностях основных методов анализа — институционального, экономического, технического, социального, экологического.

Институциональный анализ решений

Любые решения предполагают необходимость учета внешних условий достижения его целей различного характера, принятых в обществе и отражающих существующую практику управления развитием систем любой сложности и назначения (так называемые «правила игры» или институты). Институты создаются людьми и выступают в качестве ограничений, способствующих организации взаимоотношений и взаимодействия субъектов и объектов управления. Такой подход снижает уровень неопределенности при взаимодействии, создает определенный порядок. Институциональные ограничения формируют соответствующее пространство, в котором действуют субъекты и объекты управления, население. Они могут быть формальными — официально закрепленными в форме соответствующих решений и документов (например, нормы права), а также неформальными (например, добровольно взятые на себя обязательства, нормы поведения и др.). Все вместе они образуют институциональную структуру общества.

Рост значимости и сложности институциональных условий возрастает с ростом уровня решения. Для стратегических решений высшего уровня (регион, государство, межгосударственный уровень) правительствам могут создаваться специальные условия для эффективных решений (вплоть до принятия специальных законов и других нормативных актов).

Институты могут быть формальными и неформальными [2, 4, 6, 8] и для использования результатов анализа институциональных условий возможны два варианта:

- действующие правила не носят ограничивающего развитие организации характера — *условие институционального согласия*. Главная задача использования результатов анализа — обеспечение приемлемости институциональных условий с технической, социальной, экологической и других точек зрения;
- имеющиеся ограничения оказывают негативное воздействие на деятельность организации — *условия институционального противоречия или конфликта*. Главная задача использования результатов анализа — разрешение противоречия (конфликта), которое может затруднить деятельность организации (сделать невозможной).

Система институтов должна включать новации: технические, организационные, социальные, культурные и др., а также рассматриваться в ретроспективном и перспективном ракурсе. На данном уровне анализа исследуются благоприятные возможности для реализации решений в перспективе, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Модель комплексного институционального анализа решений

Экономический анализ решений

Экономический анализ позволяет оценить эффективность решений с точки зрения общества — дать оценку используемых ресурсов и полученных результатов по

их общественной альтернативной стоимости (альтернативные издержки для общества или издержки упущенных возможностей). Экономический анализ должен быть объективным, комплексным, конкретным, системным, регулярным, экономичным, деятельностью. Классификация элементов содержания экономического анализа, реализуемого в процессе геоинформационного управления, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация категорий экономического анализа

Признаки	Содержание
Объекты управления	Народнохозяйственный (страновой, государственный), отраслевой, региональный, анализ в масштабе союзов, концернов, ассоциаций и др., местный, в масштабе предприятий, организаций
Аспекты исследования	Общеэкономический (финансово-экономический), технико-экономический, функционально-стоимостной, управленческий (функциональная диагностика)
Субъекты	Внешний, внутренний
Время проведения	Ежедневный, подекадный, ежемесячный, поквартальный, годовой, среднесрочный, долгосрочный (стратегический)
Характер решений	Итоговый, оперативный, перспективный (прогнозный)
Содержание	Полный (комплексный), тематический (частичный, выборочный)
Широта охвата	Внутрихозяйственный, межхозяйственный, региональный, национальный, международный

В экономическом анализе информация служит целям геоинформационного управления и, следовательно, ориентирована на будущее состояние пространственно распределенных систем и территорий. Поэтому целью экономического анализа является подготовка и представление субъектам управления достоверной, полной и своевременной экономической информации для принятия управленческих решений, направленных на достижение целей организации.

Технический анализ решений

Основное внимание технического анализа ориентируется на решение как логически стройную систему материальных (сооружения, оборудование, сырье, материалы и др.), нематериальных (знания, технологии, опыт и др.), финансовых институциональных и иных компонентов, каждый из которых имеет определенные технические, технико-экономические и нормативные характеристики, что в совокупности позволит получить оценку качества решения.

Сложность и многообразие организационно-технических компонентов решения при управлении территориями позволяет структурировать технический анализ и ранжировать направления по их значимости, как показано на рис. 2.

Пространственный технический анализ особенно значим для российских условий (размеры территорий, различные административные условия, инфраструктура и др.). Ключевые факторы анализа включают:

- природная среда в границах ответственности (географическое положение, климат, ресурсы и др.);

- хозяйственное воздействие на окружающую среду (качественная и количественная оценки, конфликты и др.);
- социально-экономические последствия (экономическая и социальная политика, стимулы и ограничения, государственная политика и цели местного самоуправления и др.);
- состояние инфраструктуры (транспортная, экономическая, социальная инфраструктура, урбанизация, качество населения и др.).

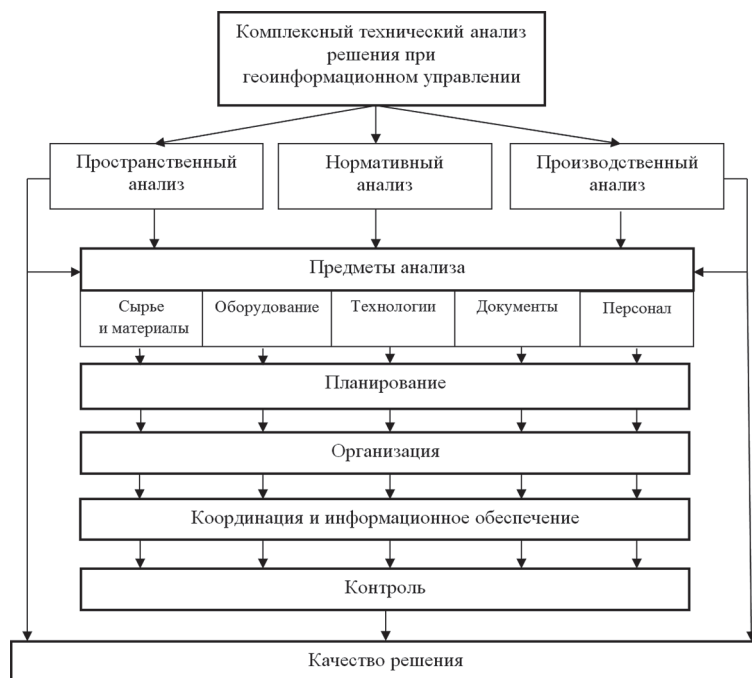


Рис. 2. Модель комплексного технического анализа решения

Социальный анализ решений

Любое решение по управлению развитием пространственно распределенных ОТС и территорий следует понимать как элемент функционирования социально-экономической и экологической системы. Поэтому решение можно рассматривать как социальное явление, реализующее взаимосвязь между социально-экономической и экологической системой, субъектом управления и потребителями результатов решения.

Связи социальной роли личности и общества можно представить в виде определенной концептуальной схемы, представленной на рис. 3. Понимая общество как непрерывный процесс жизнедеятельности, можно выделить узловые, необходимые для продолжения этого процесса, формы организации и регулирования отношений между людьми, их деятельности и поведения — «социальные институты».

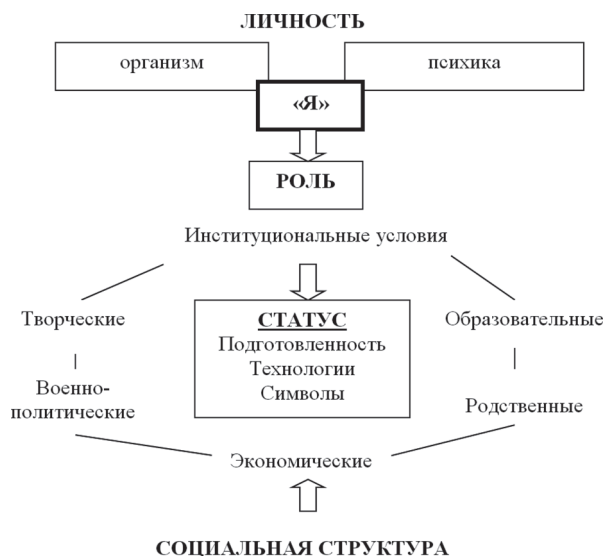


Рис. 3. Связь социальной роли личности и общества

На социальный статус человека как на его соотносительное с другими людьми положение в обществе решающее влияние оказывают три переменные: доход, власть и почет. При этом учитываются как его ситуационная роль, так и весь набор его основных ролей, который, собственно, и определяет положение в обществе. Социальный анализ (как и другие виды анализа) должен учитывать цели решения, организационно-технические условия его разработки и реализации.

В отличие от других видов анализа социальные анализ ориентируется на решение в процессе управления проблемы бесконфликтности заинтересованных субъектов и социальных групп во внешней и внутренней среде на основе обеспечения непротиворечивости систем интересов.

Экологический анализ решений

Экологический анализ решений ориентирован на выявление существующих в пространственно распределенных ОТС и территориях внешних эффектов (экстерналий), которые можно определить как источники экологической выгоды (положительные экстерналии) или экологического ущерба (отрицательные экстерналии). Специфика экологического геоинформационного анализа выгод и ущербов состоит в:

- отсутствии рынков экологических товаров и услуг;
- неопределенности прав собственности на природные блага;
- расплывчатости распределения экстерналий в пространстве и времени;
- распределении ответственности за оценки экологических экстерналий между множеством независимых субъектов;
- сложности количественной оценки экологической выгоды и ущерба.

Экологическое состояние ОТС и территории можно характеризовать двумя группами факторов, показанных на рис. 4.



Рис. 4. Экологические факторы развития территории

Специфика экологического анализа в системе геоинформационного управления основывается на необходимости исследования привлекательности пространственно распределенных систем и уровней рисков населения, подвергающегося негативным воздействиям. Кроме того, в анализе должны учитываться постоянно действующие (детерминированные) факторы как основа стратегических решений.

Реализация решений на основе методологии геоинформационного управления территориями и пространственно распределенными системами, как следует из рассмотренных методов анализа, предполагает необходимость комплексирования методов в соответствии с определенными требованиями:

- интеграция субъектов и объектов различных уровней управления — государственный (федеральный и региональный), местного самоуправления (муниципальный), коммерческие организации, общественные организации и др.;
- привлечение и использование информации, распределенной во времени и в пространстве;

- привлечение и использование информации о природных факторах;
- оценка источников и уровня рисков принимаемых решений.

Современные методы, отвечающие предъявленным требованиям включают: дорожное картирование, кластерный анализ территорий, управление рисками и др.

Дорожное картирование

Под «дорожной картой» следует понимать наглядное представление всесторонне обоснованного поэтапного и многовариантного сценария развития определённого объекта, процесса, продукта, технологии, бизнеса, компании, отрасли и т.д. [1, 11]. Технически «дорожная карта» может быть выполнена в виде графической схемы, сетевого графика, алгоритма, блок-схемы и т.д., отображающих важнейшие пути и ожидаемые результаты следования по этим путям в так называемых «узловых точках». «Узловая точка (узел)» карты — это определённый важный этап развития объекта (процесса) и одновременно пункт принятия управленческих решений, а отрезки между «узлами» — это причинно-следственные связи между ними. Также на этой схеме могут отображаться применительно к конкретным «узловым точкам» возможные риски, рекомендации по разрешению возникающих проблем, необходимые мероприятия и финансово-экономические инструменты.

В зависимости от объекта дорожного картирования специалистами, как правило, выделяются следующие разновидности «дорожных карт» [1]:

- отраслевые (рыночные, промышленные) «дорожные карты» — план-сценарии развития отрасли, индустрии (отдельного рынка, сектора промышленности);
- корпоративные «дорожные карты» — план-сценарии развития отдельного предприятия, корпорации и т.д.;
- продуктовые «дорожные карты» — план-сценарии развития продукта или продуктовой линейки во времени;
- технологические «дорожные карты» — план-сценарии развития высоких технологий, технологического сектора;
- процессные «дорожные карты» — план-сценарии развития или реализации отдельных бизнес-процессов (например, стратегии, стратегического плана и т.п.) конкретного предприятия, корпорации.

В качестве иллюстрации применения инструментов дорожного картирования в стратегическом управлении и, собственно, в стратегическом планировании рассмотрим так называемые процессные технологии. С помощью данных технологий могут, в частности, прогнозироваться и отражаться на «дорожных картах» возможные варианты реализации стратегий предприятия различных уровней, как показано на рис. 5.

Так, например, корпоративная стратегия предприятия может предусматривать в качестве основного варианта использование на первом этапе стратегии связанной обратной диверсификации, предполагающей поглощение предприятий в добывающей отрасли с целью получения контроля над поставляемым сырьём. В качестве альтернативного варианта может рассматриваться интеграция с предприятиями, поставляющими основные комплектующие материалы. В последующем на втором этапе возможен переход к стратегии прямой вертикальной диверсификации с присоединением

сбытовой сети производимой продукции. Также могут анализироваться гипотетические варианты интеграции с соответствующими сервисными и транспортными структурами. Затем при благоприятствующих условиях, на третьем и четвертом этапах, может планироваться связанная горизонтальная диверсификация с выходом на новые географические рынки как альтернатива продуктовому расширению. В случае возникновения на рынке нестабильной ситуации предприятию, возможно, придется отказываться от амбициозных устремлений и наступательных планов. В качестве альтернативной стратегии может предусматриваться стратегия несвязанной конгломератной диверсификации путем объединения капиталов с непрофильными, но перспективными компаниями. И в случае крайне неблагоприятной обстановки может быть использован резервный вариант возврата на прежний рынок и реализации там стратегии концентрированного роста.

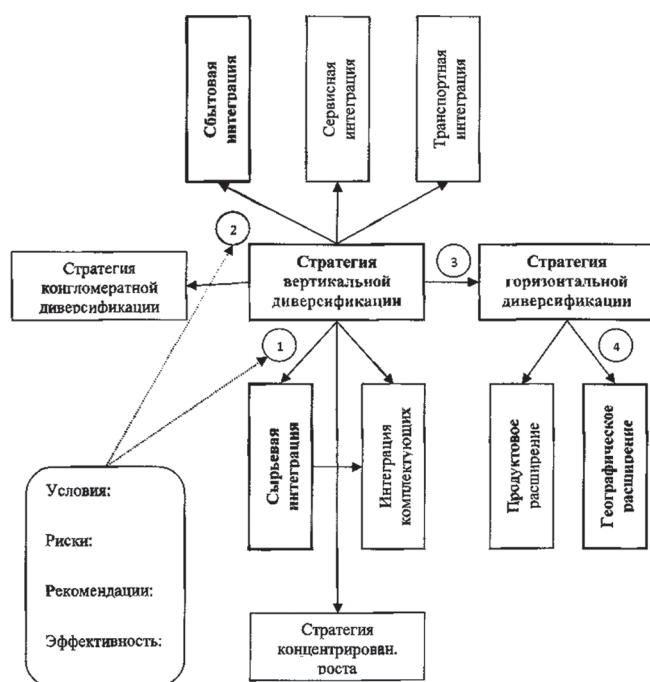


Рис. 5. «Дорожная карта» реализации корпоративной стратегии предприятия [1]

Следует при этом заметить, что на каждом из рассматриваемых этапов, и в особенности в узловых точках, должны предусматриваться и отражаться на «дорожной карте» прогнозируемые условия, возможные риски нестабильности, предлагаемые с учетом этого рекомендации и ожидаемая эффективность того или иного варианта в целях обоснованного выбора стратегических управленческих решений.

«Дорожные карты» могут также применяться для наглядного отображения непосредственно организации процесса стратегического планирования. В этом случае

данные технологии имеют главной целью обеспечение эффективного управления работой соответствующих структур и персонала, осуществляющих стратегическое планирование. «Дорожная карта» в этом случае должна давать полное представление о содержании и порядке разработки всего спектра плановых документов конкретной компании на всех иерархических уровнях. Особое внимание должно уделяться разрабатываемым бюджетам, являющимся связующим звеном между всеми плановыми документами, как показано на рис. 6.

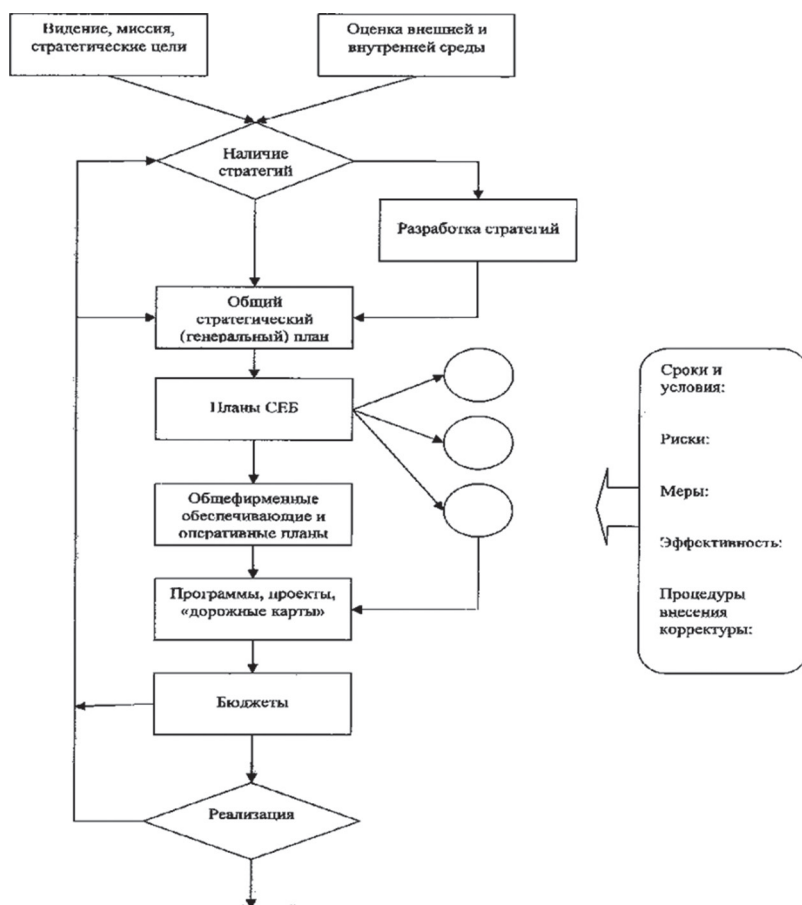


Рис. 6. «Дорожная карта» стратегического планирования деятельности предприятия [1]

В качестве обязательной информации, обеспечивающей процесс разработки планов, на «дорожной карте» с необходимой степенью детализации должны размещаться сведения о сроках и условиях планирования, основных рисках нестабильности и мерах по их нивелированию, разработке дополнительных или резервных документов для таких случаев.

Должно также предусматриваться отображение результатов расчетов прогнозной эффективности стратегий и промежуточной оценки, дающей основание для корректуры тех или иных плановых документов. Процедуры внесения корректуры в стратегии и планы на «дорожной карте» должны быть продуманы и отражены с особой тщательностью.

Таким образом, «дорожное картирование» как принципиально новая и перспективная технологии в настоящее время становится все более популярными и применяется в постоянно расширяющемся спектре областей. Несомненно, что и в стратегическом управлении дорожные карты могут широко использоваться, учитывая их несомненные достоинства и преимущества [1, 11].

Кластерный анализ территорий

Кластерный подход к управлению развитием территорий является одним из современных методов геоинформационного управления, позволяет стимулировать инновационную деятельность, способствует развитию прогрессивных технологий и совершенствованию всех этапов совместной экономической деятельности субъектов, заинтересованных в развитии территории [7, 10]. Кластерный анализ — представляет собой процедуру многомерного анализа, позволяющую на основе множества показателей, характеризующих состояния объекта, сгруппировать их в классы или кластеры таким образом, чтобы объекты, входящие в один класс, были отличными по ряду признаков от объектов других классов, например, расположение в созданной системе координат. Отличие объектов может определяться в терминах расстояния, как в евклидовой метрике, подобия и др.

Кластерный анализ применяется для идентификации опасных состояний ОТС в том случае, если нарушения в объектах существенно изменяют зависимости выходных переменных от входных воздействий или областей значений переменных.

Основная проблема кластерного анализа в геоинформационном управлении рисками развития ОТС состоит в сложности наглядного представления результатов анализа субъекту управления и необходимости объединении в процессе анализа количественных и качественных характеристик, атрибутов объекта. Это связано с тенденциями развития экономики под влиянием интегрированных структур, которые в современном мире составляют каркас индустриально развитых стран и мирового хозяйства в целом, повышают уровни макроэкономического регулирования производства, стабильность экономического сотрудничества, выступают в процессе партнеров государства в выработке и реализации стратегической линии в процессе модернизации экономики.

Привлекательность интегрированных структур основывается на возможности получения синергического эффекта за счет объединения компетенций и ресурсов участников. Такой подход позволяет добиваться лидерства, как в глобальном, так и в местном масштабе. Чаще всего субъекты объединяются в стратегические союзы с целями:

- сотрудничества в сфере технологий;
- создания новых товаров;
- устранения пробелов в технологических или производственных навыках и опыте;

- совместного формирования новой компетенции при условии снижения рисков инноваций;
- повышения эффективности сбыта;
- реализации эффекта масштаба в производстве и маркетинге;
- выхода на новый рынок и др.

Территориальная интеграция субъектов управления получила развитие в форме кластеров — группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в соответствующих отраслях, а также связанных с их деятельностью организаций в определенных областях, конкурирующих, но вместе с тем интегрированных по географическому признаку. Такие группировки предприятий одной отрасли формируются потому, что одна или несколько крупных фирм, достигая конкурентоспособности на мировом рынке, распространяет свое влияние и деловые связи на ближайшее окружение, постепенно создавая устойчивую сеть из лучших поставщиков и потребителей. В свою очередь, успехи такого окружения оказывают положительное влияние на дальнейший рост конкурентоспособности всех участников этой группировки компании.

Преимущественно это неформальные объединения крупных лидирующих фирм с множеством средних и малых предприятий, создателей технологий, связующих рыночных институтов и потребителей, взаимодействующих друг с другом в рамках единой цепочки создания стоимости, сосредоточенных на ограниченной территории и осуществляющих совместную деятельность в процессе производства и поставки определенного типа продуктов и услуг. Роль крупного бизнеса в процессе образования кластеров заключается в привлечении малых и средних предприятий для налаживания производства на основе тесной кооперации и субконтрактационных связей при активном деловом и информационном взаимодействии. Это способствует развитию всех участников кластера и обеспечивает им конкурентные преимущества по сравнению с другими обособленными предприятиями, не имеющими столь крепких взаимосвязей.

В практике управления выделяют три основных вида кластеров:

- интегрированные объединения с регионально ограниченной формой экономической деятельности внутри родственных секторов, обычно привязанные к тем или иным научным учреждениям (НИИ, университетам и т.д.);
- вертикально интегрированные производственные системы на основе связей в узких сферах деятельности, образованные вокруг головных фирм или сети основных предприятий, охватывающих процессы производства, поставки и сбыта;
- отраслевые интегрированные структуры в различных видах производства с высоким уровнем агрегации (например, «химический кластер») или на еще более высоком уровне агрегации (например, «аэрокосмический кластер»).

Среди основных принципов формирования кластеров можно выделить:

- географический — построение кластера четко связано с определенной территорией, начиная от местных до глобальных;
- мультиотраслевой — несколько отраслей/секторов могут входить на равных правах в крупный географический кластер;

- вертикально интегрированный — кластер с иерархической технологической связью смежных этапов производственного или инновационного процесса;
- латеральный — объединение в кластер разных секторов одной отрасли, что обеспечивает эффект масштаба;
- фокусный — объединение нескольких фирм вокруг одного центра — лидирующего крупного предприятия, НИИ или университета.

Использование кластерного подхода в управлении развитием территории предполагает использование определенной методики планирования и контроля, включающей несколько этапов:

- 1) проведение стратегического анализа потенциала развития территории, включающего в себя анализ текущего состояния территории и основных тенденций (возможностей, угроз и т.п.) развития;
- 2) географический, отраслевой, фокусный и др. кластерный анализ, с целью выявления действующих, зарождающихся и потенциальных признаков кластеров на территории;
- 3) оценка конкурентных преимуществ территории и обоснование стратегии развития;
- 4) формирование стратегического плана и программы развития территории, согласование принятых стратегических решений со стратегическими планами более высокого уровня (регион, государство в целом). Реализация стратегии предполагает ежегодную корректировку планов и программ развития территории с учетом динамики результатов управления.

Наиболее эффективное существование кластера рассматривается как «симбиоз кооперации и конкуренции», учитывающий положительные эффекты территориальной агломерации. Синергический эффект может быть достигнут в результате сотрудничества и эффективного использования возможностей всех заинтересованных партнеров в длительном периоде. Конкуренция внутри кластера помогает оптимизировать систему, а обмен информацией, специалистами, технологиями позволяет развивать систему и дает возможность перетекать финансовым ресурсам в сектора, наиболее необходимые для развития кластера.

Наиболее распространенные методы анализа эффективности реализации кластерного подхода к стратегическому управлению территорией можно разделить по источникам информации на две большие группы: основанные на анализе официальной государственной статистики и основанные на анализе косвенной информации и экспертных оценках.

Управление рисками

Управление рисками развития территории следует рассматривать как функцию системы управления, представляющую процесс целенаправленного воздействия субъекта на объект управления для предупреждения или снижения уровней опасности, сокращения ущерба элементам организационно-технической системы и окружающей среде. Решение проблемы управления рисками развития территории предполагает необходимость привлечения пространственной информации, т.е. для пространственно

распределенных объектов управления управление рисками (в силу специфики самого объекта и пространственного распределения опасностей) приобретает смысл геоинформационного управления рисками. Это значит, что разработка управленческих решений и основные функции управления основаны на привлекаемой пространственной информации о распределении факторов риска и учете их воздействия на объекты управления с учетом пространственного положения последних.

Опасности развития территории возникают как следствия воздействия некоторых негативных внешних и внутренних факторов. Проявления опасности можно оценивать как несоответствие характеристик воздействующих факторов характеристикам объектов и территории в целом, которое может вызывать нежелательные последствия непосредственно или косвенно. Характер воздействия опасностей на территорию носит системный характер, оценивать уровни воздействия необходимо на сложную иерархическую систему: «человек (индивидуум) — общество — техносфера — геосистема».

Реализация опасных факторов может оцениваться в виде:

- прямого или косвенного ущерба для территории и объектов, проявляющегося во времени постепенно или внезапно (резко): отказ технической системы, невыполнение задачи, разрушение, гибель и т.п.;
- потенциального свойства системы (объекта), не приводящего к полной потере способности функционировать, но снижающего ее эффективность: потеря управляемости, травма, загрязнение, утрата разнообразия, частичная утрата работоспособности, снижение конкурентоспособности и т.п.

Применительно к территории можно выделить некоторые существенные характеристики (свойства), определяющие неотвратимость появления рисков развития [9]:

- развитие любой организационно-технической системы и территории потенциально опасно, что заключается в скрытом, неявном характере опасных факторов, проявляющихся в определенных условиях. В процессе управления развитием территории практически невозможно предугадать и выявить все опасные факторы;
- опасности основываются на свойстве открытости систем — потоках вещества, энергии и информации, которыми территория и объекты управления обмениваются с внешней средой и которые существуют в ее границах. Поэтому возникновение опасности может быть characterized превышением определенного порога (порогов, предельно допустимых уровней) характеристик этих потоков;
- источниками опасностей развития территории могут служить факторы:
 - техногенные — дефекты, неисправности, неоптимальность характеристик, неправильное использование и др.;
 - экономические — рост затратности, снижение конкурентоспособности, неудовлетворенность потребителей и др.;
 - социальные — рост преступности, снижение рождаемости, политическая нестабильность, слабость культуры и др.;
 - информационные — информационная перегрузка, готовность человека и общества к восприятию информации, влияние информации на воспитание молодежи и др.;

- экологические — вредные воздействия на человека и природную среду, деградация природной среды, сокращение ресурсного потенциала и др.
- опасности действуют в пространстве и во времени, что предполагает выделение определенных зон и интервалов воздействия, периодичности проявления факторов опасности, частоты воздействия и других показателей опасности.

Классификация (таксономия) опасностей может быть проведена по определенным признакам (табл. 2).

Таблица 2

Классификация опасностей развития ОТС

Классификационный признак	Виды опасностей развития
Природа происхождения	Природные, техногенные, антропогенные, информационные, экономические, экологические, смешанные
Характер проявления	Физические, химические, биологические, психофизиологические, организационные
Время проявления последствий	Кратковременные (импульсивные), долговременные (кумулятивные, с накоплением последствий)
Место локализации в среде	Атмосферные, гидросферные, литосферные, космические, организационные (коллектив, предприятие, корпорация), семейные
Сфера деятельности	Бытовые, производственные, спортивные, военные, дорожно-транспортные и др.
Приносимый ущерб	Социальный, технический, экономический, экологический и т.д.
Характер воздействия на человека	Активные (оказывают непосредственное воздействие на основе внутренней энергии), пассивно-активные (активизирующиеся за счет энергии человека), пассивные (проявляются опосредованно)
Причина возникновения	Добровольные (человек самостоятельно выбирает опасный вид деятельности, зону опасности и др.), принудительные (нахождение вблизи источника опасности по необходимости, по месту жительства и др.)
Структура	Простые (один воздействующий фактор), сложные (несколько факторов), производные (косвенные факторы)
Сосредоточенность	Концентрированные (по пространству, времени, объекту воздействия и др.), рассеянные (распределенные по пространству, времени, объектам воздействия и др.).

Таким образом, опасности представляют в общем случае многоаспектные явления, проявления которых (последствия) носят сочетанный (системный) характер. Как правило, опасность одиночных несчастных случаев, происшествий, явлений достаточно низка, но риск (последствия для объекта) велик. Для групповых событий (процессов) имеет место противоположная закономерность: опасность возрастает с ростом сложности и размеров объекта, но риск снижается вследствие возрастания устойчивости и надежности сложного объекта и соответственно роста допустимых уровней опасности (порога опасности, допустимого уровня характеристик объекта и воздействия).

Процесс развития опасности можно представить соответствующими алгоритмами. Типовой алгоритм воздействия на объект опасных внешних факторов: *образование, накопление опасных факторов → выброс и перенос опасных факторов на объект → воздействие опасных факторов на объект (взаимодействие с объектом) → реакция объекта*

на внешнее воздействие → нарушение процессов функционирования объекта → разрушение объекта → образование внутренних опасных факторов → выброс опасных факторов самим объектом → вторичное воздействие опасных факторов (взаимодействие) и т.д.

Типовой алгоритм воздействия опасных внутренних факторов на объект: *образование, накопление внутренних опасных факторов → нарушение процессов функционирования объекта → разрушение объекта → выброс опасных факторов самим объектом → вторичное воздействие опасных факторов (взаимодействие) на объект → перенос опасных факторов на другие объекты и т.д.*

Каждому такому событию можно поставить в соответствие частный показатель в виде вероятности события, что позволит сформулировать логико-вероятностную модель проявления опасности — принятия решения при управлении рисками развития объекта. Для реализации опасности необходимо выполнение нескольких условий:

- опасность реально существует (присутствует);
- объект находится в пространственной или временной области существования опасности (фактора воздействия, условий);
- уровень проявления опасности (воздействия фактора) достаточен для нарушения функционирования объекта (его поражения).

Измерение опасностей (квантификация) представляет собой количественное выражение соответствующих понятий через систему показателей. Для опасностей используются показатели:

- *потенциал* — проявляется в количественном выражении через предельно достижимые значения характеристик объекта, внешних и внутренних воздействий (уровень шума, запыленность воздуха, напряженность электрического тока, потребности, покупательная способность, требования к уровню подготовки персонала и др.);
- *качество* — отражает специфические особенности объекта и воздействия, возможности их взаимодействия и адаптации (физический состав, входы и выходы объекта, его предназначение, доступность для воздействия и др.);
- *ущерб* — количественная мера последствий реализации опасности. Может быть измерен количественно (экономический ущерб, затраты на ликвидацию последствий реализации опасности) или качественно (последствия для индивида — психологический ущерб; социальные последствия — изменение социально-экономических условий функционирования объекта).

Нереализованные опасности носят потенциальный, т.е. скрытый характер, что предполагает решение проблемы их идентификации: обнаружения и установления количественных, временных, пространственных и иных характеристик, необходимых и достаточных для разработки профилактических и оперативных мероприятий, направленных на обеспечение нормального функционирования ОТС качества жизни населения на исследуемой территории. Для этого выявляются номенклатура опасностей, вероятность их проявления, пространственная локализация (координаты), возможный ущерб и другие параметры, необходимые для решения конкретной задачи.

Возникновение риска обуславливается:

- существующими источниками опасностей (факторы риска);
- уровнями развитости факторов, превышающих установленные нормативы;

- объектами, находящимися в зоне существования факторов риска (опасности);
- объектами, недостаточно защищенными от действия опасных факторов.

Данные условия предполагают определенный алгоритм управления рисками: *анализ риска → нормирование приемлемых уровней факторов риска → оценка защищенности объектов риска → разработка мероприятий по повышению защищенности объектов → оценка последствий воздействия факторов риска → анализ риска...*

В качестве обобщенного показателя риска как комплекса событий, влияющих на реализацию потенциала территории, может быть рекомендован средний индекс риска, характеризующий относительную величину нереализованного потенциала:

$$R_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i}{n}, \quad (1)$$

где $Q_i = 1 - P(x_i \in D_i)$ — вероятность наступления риска по i событию; x_i — события, влияющие на потенциал территории; D_i — границы допустимых значений для параметров x_i ; k_i — коэффициент ущерба; n — количество исследуемых параметров.

Данный индекс принимает значения от 0 до 1 и не несет в себе особенности ущербов. В то же время — это показатель, который определяет уровень возможных потерь от комплекса прогнозируемых событий, приводящих к ущербу.

Долевой показатель индекса риска события, влияющего на реализацию потенциала территории, может быть определен из соотношения (2), который является индикатором значимости i -го события:

$$IR_i = \frac{Q_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i}. \quad (2)$$

Для событий, описываемых с помощью параметрических моделей, расчеты Q_i и k_i могут осуществляться по методикам, представленным в работах [8, 9].

Относительный показатель ущерба k_i показывает на потери потенциала при наступлении i -го события и представляет собой отношение величины фактического ущерба к величине максимально возможного ущерба (не более значения потенциала). В зависимости от классов рисков управления территориями методы оценки данного показателя также будут различными.

Для событий, приводящих к снижению потенциала, которые могут быть описаны случайными процессами $x_i(t)$ и допустимыми значениями для них C_i :

$$k_i = \frac{J_i - C_i}{J_{\text{max}}}, \quad (3)$$

где $J_i = \int_{t_0}^{t_3} x_i(t) dt$ — интеграл, рассчитываемый во временном интервале от t_0 до t_3 при наличии хотя бы одной реализации случайного процесса $x_i(t)$; J_{max} — максимально возможное снижение потенциала от i -го события.

Заключение

Геоинформационный подход к управлению пространственно распределенными системами и территориями основывается на привлечении пространственной информации. Пространство при этом рассматривается в широком смысле — как логически мыслимая форма, которая служит средой существования других форм и тех или иных конструкций, объектов. Привлечение пространственной информации реализуется в процессе институционального, экономического, технического, экологического и социального направлений анализа потенциала территории. Методы обоснования решений должны отвечать определенным требованиям. Таким требованиям отвечают методы построения дорожных карт, кластерный анализ и методы управления рисками развития территории.

Литература

1. *Байков Е.А.* Стратегическое управление предприятиями в условиях нестабильности. — Saarbrücken, Ger.: LAMBERT Academic Publishing, 2014.
2. *Зоринова Е.М., Истомин Е.П., Синченко Ю.Н., Соколов А.Г.* Пространственные аспекты размещения экономических объектов. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 29, с. 211–219.
3. *Истомин Е.П., Кирсанов С.А., Соколов А.Г., Колбина О.Н.* Феномен геоинформационного управления и принципы его реализации. // Вестник СПбГУ, сер. 7, 2014, вып. 4, с. 180–188.
4. *Истомин Е.П., Кирсанов С.А., Соколов А.Г., Яйли Д.Е.* Управление государственными и муниципальными ресурсами. — СПб.: «Андреевский издательский дом», 2014. — 485 с.
5. *Истомин Е.П., Слесарева Л.С., Зоринова Е.М., Соколов А.Г.* Геоинформационные аспекты управления рисками устойчивого развития приморской рекреационной территории. // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013, № 9.
6. *Истомин Е.П., Соколов А.Г.* Теория организации: системный подход. 2-е изд. — СПб.: «Андреевский издательский дом», 2012. — 315 с.
7. *Портер М.* Конкуренция. — Издательский дом «Вильямс», 2005. — 608 с.
8. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями. // Отчет о НИР, РГГМУ, 2014, № 01201459336.
9. Разработка основ геоинформационного управления рисками устойчивого развития экономических объектов и территорий. // Отчет о НИР, РГГМУ, 2013, № 0120354017.
10. *Соколов А.Г., Коршунов И.Л., Цыбин А.Р.* Принципы кластерного анализа в стратегическом управлении муниципальным образованием. // Материалы II Международной научно-практической конференция «Менеджмент в сфере культуры и медиакommunikаций: инновационные подходы и технологии», 31 марта 2015. — СПб.: СПбГИКиТ, 2015, с. 78–89.
11. *Байков Е.А., Евменов А.Д., Морцагина Н.А.* Стратегический менеджмент. — СПб.: СПбГИКиТ, 2015. — 269 с.

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

А.А. Алимов

ВЫЗОВЫ И УГРОЗЫ XXI ВЕКА: ЧТО ПРОИСХОДИТ, КТО ВИНОВАТ И ЧТО ДЕЛАТЬ?

А.А. Alimov

CHALLENGES AND THREATS IN THE XXI CENTURY: WHAT IS GOING ON, WHO IS TO BLAME AND WHAT IS TO BE DONE?

В статье рассматриваются понятия «глобализация», «устойчивое развитие», «экологическая политика», «вызовы» и «угрозы», «экологическое образование», «социальная экология», дается их характеристика на основании рассмотрения вопроса формирования основных способов и путей развития современного общества при использовании оптимальных возможностей и подходов к снижению уровня угроз и вызовов за счет использования имеющихся и перспективных средств. Используются современные характеристики «мягкой» безопасности, «мягкой» политики и «мягкой» силы, направленные на понижение уровня сложности проявлений современных глобальных вызовов и угроз.

Ключевые слова: глобализация, устойчивое развитие, мягкая сила, мягкая безопасность, вызовы и угрозы, глобальное сообщество, экологическая политика, социальная экология.

The article covers such definitions as “globalization”, “sustainable development”, “environmental policy”, “challenges” and “threats”, “environmental education”, “social-environmental ecology” characteristics of them are provided on the basis of investigation of the problem of formation main approaches of development of modern global society, aimed at resolving global problems and decreasing the level of threats and challenges on the basis of using optimal resolving of new and perspective ways. Such modern characteristic as “soft” security, “soft” policy, “soft” power are used in the frames of lowering the levels of problematic manifestation of modern global challenges and threats.

Key words: globalization, soft power, sustainable development, global safety, challenges and threats, environmental policy, state environmental (ecological) policy, environmental education, social ecology.

*Памяти Льва Николаевича Карлина,
одного из редких ректоров технических
и естественных ВУЗов, понимавших
значение гуманитарных наук.*

С легкой руки политологов, специалистов в области международных отношений и мировой политики в современный дискурс о глобальных проблемах в научный оборот вошли новые определения, понятия и соответствующие пути решения вопроса глобальной социо-эколого-экономической безопасности. Вместе с тем в научной литературе наших дней сохраняются традиционные термины, понятия и определения. Пожалуй, можно сказать, что к началу XXI в. подтвердилась правильность выдвинутой почти сто лет назад идеи В.И. Вернадского о том, что человеческие знания будут развиваться не по наукам, а по проблемам. Поэтому возникает необходимость интеграции наук и знаний, т.е. межнаучный (но не многонаучный) подход к решению глобальных проблем.

Нынешнее понимание перспектив развития мирового сообщества связано с осознанием и разработкой двух, по нашему мнению, наиболее сложных, а вместе с тем и важных процессов современности: глобализации и устойчивого развития. Нужно сказать, что оба эти понятия появились как в теоретическом, так и практическом плане во второй половине XX в., и что они связаны лишь с частичным пониманием того, что глобальные проблемы не придуманы представителями современной научной мысли, а есть нечто иное, как результат многовекового развития мирового сообщества. Глобализация и устойчивое развитие имеют общие корни и общее проявление, в первую очередь, в рамках нашей статьи, на глобальном уровне. Пересечение этих двух процессов по-новому ставит вопрос о развитии мирового сообщества в рамках научно обоснованного определения целей, способов и задач, стоящих в настоящее время практически перед всеми современными государствами.

Юбилейная Генеральная Ассамблея ООН, отмечавшая в 2015 г. свое 70-летие, имела в повестке дня вопросы обеспечения безопасности как в глобальном, так и региональном масштабе. При этом важно подчеркнуть, что в обращении глав государств и правительств к этому высокому всемирному Форуму звучали призывы к решению современных глобальных проблем за счет адекватной политической реакции на новые вызовы и угрозы. Но, к сожалению, все выше названные призывы и предложения происходят на фоне неблагоприятного состояния в международных отношениях и мировой политике. Современная картина мировых политических процессов отличается, во-первых, многоакторностью и, во-вторых, наличием недоверия, сложившегося между государствами.

Принято считать, что автором термина-понятия «глобализация» явился американский экономист Теодор Левитт, представитель Гарвардской школы бизнеса, который на протяжении значительного периода времени был главным редактором известного издания «Harvard Business Review». Но нельзя безоговорочно считать только Т. Левитта автором названного выше определения. Тогда термин «глобализация» включал в себя понимание того, что это есть процесс глубокой интеграции мирохозяйственных связей, существовавших в то время. В своей работе «Globalization of Markets», опубликованной в журнале «Harvard Business Review» он и изложил свое понимание процесса глобализации. Однако этот термин широко не использовался до конца 1990-х гг. в научных изданиях, а если и упоминался, то только в основном в экономическом плане. Вместе с тем, в литературе по вопросам содержания и форм проявления глобализационных изменений часто упоминается имя другого американского ученого, но уже не экономиста, а социолога — Р. Робертсона, который термин «глобализация» использовал примерно

на 10 лет раньше, чем Т. Левитт. Но связывал он его не столько с экономической составляющей мирового развития, сколько с вопросами социологии, психологии и других гуманитарных наук.

Как Т. Левитт, так и его последователи определяли глобализацию как процесс, значительно снижающий преграды на пути перетока товаров и услуг, рабочей силы и капитала. Как и во многих других случаях, связанных с определением объективных явлений и процессов, сам Т. Левитт и его коллеги не уделяли серьезного внимания формированию и развитию глобализационных изменений, в которые все более широко вовлекались страны, расположенные в разных регионах мира. Более того, термин «глобализация» в его первоначальном появлении получил другие характеристики и определения. Поскольку корни теории и практики глобализации в основном были связаны с ведущей ролью Соединенных Штатов, то в дальнейшем появились такие термины-понятия, как «вестернизация», «американизация» и даже «макдонолизация», связанные именно с активной деятельностью США в этом процессе.

В рамках дискурса по вопросам значимости и важности глобализации на достаточно длительном периоде времени, ставились следующие вопросы: когда было ее начало? в чем заключались ее проявления в глобальном масштабе? как сказалась глобализация в различных регионах мира? возможен ли конец глобализации и когда он наступит? Участники дискурса значительно расходились в оценках и определениях отдельных характеристик глобализационных изменений.

Будучи ограниченными размерами статьи, мы не сможем рассмотреть все стороны глобализационного дискурса и остановимся только на отдельных вопросах. Так, время начала глобализации определялось по-разному. «Размах» времени был от появления человека разумного до второй половины XX в. Но, пожалуй, наиболее распространенные временные рамки начала процесса глобализации это — осевое время в истории человечества и/или конец XV в., что связывается с результатами великих географических открытий и/или с великими переселениями народов [10, 116]. Но и в этом случае нельзя не учитывать такие факторы, как давние торгово-экономические связи Европы с рядом азиатских стран, или знаменитые крестовые походы, которые проводились с определенной целью — получения новых земель и т.п.

С другой стороны, не остался без внимания исследователей и вопрос о воздействии глобализационных процессов на состоянии государств, размывания государственной власти и даже на частичную потерю суверенитета. В этой связи следует отметить, что закрепленные в Вестфальских документах (1648) принципы суверенитета действительно изменились к середине XX в. в связи с необходимостью учёта не только интересов отдельных государств, но и необходимости их сотрудничества в разных сферах. Так, можно сказать, что окружающая среда, энвайронментальные (экологические) процессы воздействовали на формирование принципа субсидиарности, т.е. частичного отказа от своих суверенных прав и интересов. Пожалуй, в этом отношении наиболее удачным примером является сотрудничество в области окружающей среды и устойчивого развития в рамках Европейского Союза. В настоящее время Российская Федерация, к сожалению, не отличается высоким уровнем государственной экологической политики [9, 15]. Но глобализация, как общемировой процесс в своем развитии должна была преодолеть значительные трудности. Среди них назовем параллельный глобализации

процесс регионализации, включение вопросов преодоления глобальных проблем и ряд других. Действительно, глобализация и регионализация — это параллельные процессы, но они разнонаправлены и системно определяемы. Поскольку невозможно представить, что все страны мира одновременно, «равной шеренгой» вошли бы в глобализирующийся мир, то регионализацию можно характеризовать как процесс «собираания» сил по отдельным регионам, чтобы в последствии глобализационные процессы отличались эволюционностью и поэтапностью.

Конец XX в. ознаменован новыми факторами, в частности, научно-техническим переворотом. Интеллект, знания, технологии становятся важнейшими экономическими активами. Информационная революция, базирующаяся на соединении компьютера с телекоммуникационными сетями, коренным образом уже преобразовала человеческое бытие. Глобализация сжимает время и пространство, открывает границы, позволяет устанавливать контакты в любой точке земного шара. Она превращает индивидов в граждан мира. Но при этом вовсе не исчезают национальные интересы, стратегическое значение и геополитические реалии. Они просто медленно трансформируются. Показателем такого рода изменений можно назвать определение национальных приоритетов, высказанных тремя известными государственными и политическими деятелями. Один из них — У. Черчилль утверждал, что у Великобритании нет друзей и врагов, а есть только собственные национальные интересы. В истории России такого рода парадигма была выдвинута императором Александром III, который вовсе не был сверхвоинственным лицом, но все же констатировал, что у России есть две опоры, два условия успешного развития: армия и флот. Кстати, именно с того времени Россия изображалась в виде сильного медведя. Но известно, что и в наши дни такое представление остается в использовании характеристики нашей страны оппонентами самостоятельного и национально-ориентированного развития Российской Федерации. И, наконец, экс-президент США Б. Клинтон, говорил, что интересы США заключаются в том, чтобы своих противников превратить в своих сторонников.

Вопрос о возможном конце процесса глобализации также не был оставлен без внимания. Так, в докладе Национального разведывательного совета США «Контуры мирового будущего (Проект 2020)» включены как вопросы перспективы развития России, так и возможного участия ее в процессе глобализации на равных началах как с ведущими государствами, так и странами развивающегося мира. Характерной чертой этого прогноза является отдельный учёт роли и места африканских и азиатских стран (Китай, Индия и др.), получивших в ходе революционно-освободительного движения формальную политическую независимость, но оставшихся в рамках объятия экономической зависимости. Кроме того, отдельной «строкой» оценивается роль Бразилии, которая, по мнению авторов, к 2020 г. может превзойти экономику всех европейских стран, кроме самых крупных [4, 12]. Вообще нужно сказать, что авторы указанного прогностического обзора дают не только факты, отражающие развитие глобализации, но также выделяют возможные сложности и противоречия этого процесса. Назовем наиболее важные из них [4, 7–8]:

- подъем новых держав;
- новые проблемы управления (с учётом так называемого «Глобального управления»);

- всеобъемлющее чувство ненадежности;
- расширение мировой экономики
- ускоренные темпы научного прогресса и распространение технологий двойного назначения;
- сохранение социального неравенства;
- феномен глобального старения;
- замедление процесса демократизации;
- распространение радикальной исламской идеологии;
- потенциальная возможность катастрофического терроризма;
- распространение оружия массового поражения;
- усиление давления на международные институты.

В Докладе её авторы попытались дать ответ на возможное продолжение и/или конец глобализационных изменений в мире. В частности, был поставлен вопрос о том, какие тенденции в процессе глобализации усилятся, а какие — замедлятся или даже остановятся. Так, определяя перспективы развития глобализации, авторы пишут: «Однако будущее глобализации неоднозначно; государства и независимые игроки — включая частные компании и неправительственные организации — будут бороться за право определять ее контуры. Некоторые аспекты глобализации, такие как растущая взаимозависимость, основанная на революции в сфере информационных технологий, почти наверняка окажутся необратимыми. Но возможно также, хотя это и маловероятно, что процесс глобализации может быть замедлен или даже остановлен, подобно тому, как эпоха глобализации в конце XIX и в начале XX в. была повергнута вспять катастрофической войной и глобальным экономическим спадом» [4, 14–15].

Назовем другие опасные тенденции, которые, по нашему мнению, могут спровоцировать конфликтные ситуации: борьба государств за «первое» место в мире без учета главных геополитических изменений; усиление активности нетрадиционного ислама и его распространение не только на сами исламские государства, но и на другие страны, включая европейские; долгосрочная аренда земель богатыми странами на территории бедных и др. К сожалению, усиление радикального ислама проявляется в наши дни не только по устной или письменной пропаганде, но и с применением оружия. В данном случае можно говорить о реальной региональной угрозе военных столкновений с применением традиционного определения «жесткой» или «военной» силы. Однако в стратегировании социально-экономического и политического развития мирового сообщества в последние 10–15 лет появились новые подходы к снижению напряженности в мировых политических процессах. Они получили название «мягкой силы», «мягкой опасности», «мягкой безопасности», «умной силы» («Soft Power», «Soft Threat», «Soft security», «Smart Power» — соответственно) и др. Правда, в России термин «мягкая сила» как потенциальное направление внешней политики стал использоваться в официальных политических и научных кругах с середины 2012 г. Эту парадигму внес в научный оборот американский политолог Джозеф Най, известный эксперт по международным отношениям. И в первый раз термин «мягкая сила» был им использован в 1990 г.

Надо отметить, что Дж. Най признается в мировом научном сообществе одним из главных основателей влиятельной в США неолиберальной школы международной политики. При этом Дж. Най является не только теоретиком, но практиком высокого

уровня. Известно, что он занимал высокие правительственные посты: в 1977–1979 гг. — помощник заместителя Государственного секретаря по вопросам безопасности, науки и технологии, Председатель группы Национального совета безопасности по вопросам нераспространения ядерного оружия; в 1993–1994 гг. председатель Национального разведывательного совета; в 1994–1995 гг. — заместитель министра обороны по вопросам международной безопасности.

В настоящий момент термин «мягкая сила» и «умная сила» используется достаточно широко и их синтез означает возможность использовать как невоенные способы ведения международных действий, так и военные, в случае когда ситуация определяет такую необходимость. Более того, в последнее время используется и другой, сравнительно недавно появившийся термин «глобальное управление» — «global governance». Правда, этот термин еще не полностью вошел в политическую лексику, поскольку такое состояние дел и возможностей еще не наступило. Как отмечают авторы интересной работы «Глобальное управление», это есть один из подходов к возможности планировать совместное будущее [5, 6]. Иными словами, говорят авторы названной работы, в современный период развития глобализации «...возрастает всеобщее внимание к проблеме управления международными отношениями и мировой политикой» [5, 6]. Однако процесс развития отношений между государствами на пороге XX и XXI в. несколько замедлен в связи с целым рядом сложностей, связанных с постепенным формированием «многополярного мира». Что же стало первопричиной такого рода изменений? Можно, по мнению авторов работы «Глобальное управление», назвать, по крайней мере, три группы вопросов.

1. Первая группа, в сущности, связана с вопросами, выходящими за рамки международных отношений и мировой политики, такие как успехи кибернетики, программирование развития возможных событий, прикладные работы в области управления организациями, повышение уровня управления в целом, в том числе и в области международных отношений;
2. Новые тенденции в мирополитических процессах, многоакторность мировой политики, повышение динамики глобализационных изменений, что в конечном итоге связано с потребностью перехода от двусторонних отношений и даже многосторонних, к взаимодействию глобального плана;
3. Изменения, связанные с окончанием холодной войны, что вызвало целый ряд новых глобальных и региональных проблем, включая изменения в глобальном распределении значимости ведущих государств. [5, 6].

Вообще считается, что впервые в широкий оборот понятие «глобальное управление» было введено во второй половине 1980-х гг. немецким политиком В. Брандтом и его коллегами по работе в Комиссии ООН по глобальному управлению («Commission on Global Governance»). Но в данном случае речь идет не о научном исследовании, а о документе ООН, практически так же, как и понятие «устойчивое развитие» («Sustainable Development») в докладе Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию, известном под названием «Наше общее будущее» [6]. Однако в настоящее время, в связи с повышающейся активностью России в глобальных мирополитических процессах, происходит новый поворот в отношении проблемы глобального управления.

Эти изменения происходят в рамках глобализационных процессов и в определенной мере связаны с необходимостью решения глобальных проблем. Можно с полной уверенностью говорить о том, что экологическая проблема является одной из важнейших на современном этапе развития мирового сообщества.

Первые сигналы об опасности негативных изменений в окружающей человека природной среде прозвучали в начале второй половине XX в. Именно тогда появились первые международные неправительственные экологические международные организации и первое место, несомненно, принадлежало Римскому клубу. Несмотря на различные оценки деятельности этой организации, она внесла значительный вклад в понимание и осознание изменений, происходивших в биосфере. Не случайно первый доклад Римскому клубу, «Пределы роста» получил название «первого экологического колокола». К сожалению, эта работа в России была опубликована только в 1993 г., главным образом по причинам не научного, а политико-идеологического характера. Вообще к настоящему времени имеется более 15 докладов Римскому клубу, которые, с одной стороны были построены по такому же принципу, как и «Пределы роста», но вместе с тем они внесли и много нового, в решении глобальной экологической проблемы. Несомненно, именно начало 1970-х гг. заложило основы одного из подходов социально-экологической направленности в решении планетарной экологической проблемы. Тогда совпали по времени два важных фактора дальнейшего развития путей и способов предотвращения нарушения равновесности биосферы. Во-первых, это выход уже названного нами доклада «Пределы роста», во-вторых, в 1972 г. состоялась первая международная конференция ООН по окружающей среде. Поэтому именно в начале 1970-х гг. «стартовали» два процесса: научного развития теории взаимодействия общества и природы и практическая деятельность международных межправительственных и неправительственных организаций. К настоящему времени имеются сотни научных работ и целый ряд теоретических подходов в этом плане. Однако даже перечисление их займет слишком много места. Поэтому назовем лишь отдельные из них. Конечно, наиболее масштабный теоретический подход — это концепция ноосферного развития, предложенная несколько десятков лет назад выдающимся российским ученым В.И. Вернадским. Правда, предсказание В.И. Вернадского о возможном развитии коллективного разума все-таки еще не реализовано. Но можно говорить о понимании глобальной социально-экологической проблемы значительным количеством ученых, политиков, государственных деятелей и т.д. [7].

При появлении конкретных данных о негативном состоянии окружающей среды в середине XX в. выделилось три направления понимания этой проблемы и отношений к ней со стороны науки и практики. Можно назвать такие как армагонистические или алармистские — в основном определяющие глобальную экологическую ситуацию в положении безысходности; технико-технологические — отличающиеся оптимизмом и убежденностью в том, что решения этой проблемы можно добиться за счет использования новых, экологически ориентированных технологий и методик; и, наконец, направление о равновесности биосферы и широкого, межнаучного, интеграционного подхода. В этом, третьем, варианте научных изысканий и практических действий и формировалось понятие об устойчивом развитии. В настоящее время имеется, по крайней мере, две точки зрения по вопросу выделения теоретического и практического

подходов в определении первого упоминания по этому вопросу. Так, например академик К.Я. Кондратьев считал, что впервые этот термин появился в 1974 г. в документах Всемирного совета церквей как реакция на возникновение на возникновение в развивающихся странах возражения по поводу преувеличенности состояния окружающей среды в таких условиях, когда миллионы людей страдают от нищеты и голода [3, 29–61]. Вообще вопрос о соотношении численности населения и способностью нашей Планеты обеспечивать их естественные, биологические потребности был в первые, пожалуй, поставлен Томасом Робертом Мальтусом в 1895 г. И, по мнению его открывателя, был объективным законом, согласно которому рост народонаселения опережает рост средств существования, что влечет за собой обнищание и снижения качества жизни.

Вместе с тем ряд специалистов считает, что впервые такое определение было использовано в документах Международного Союза Охраны Природы и Природных Ресурсов «МСОП», неправительственной международной организации, созданной в 1948 г. и получившей консультативный статус при ЮНЕСКО. Эта авторитетная организация, связанная с «семьей» Организации Объединенных Наций широко известна и в наши дни, особенно в связи с тем, что именно по инициативе МСОП была создана первая «Красная книга», первый том которой был опубликован в 1968 г.

Официально термин «устойчивое развитие» появился в документе ООН, получившим название «Наше общее будущее» — доклада Международной Комиссии по Окружающей Среде и Развитию (МКОСР), опубликованной в Советском Союзе в 1989 г.

Приведем слова из этого документа, которые, по мнению авторов доклада, определяют содержание понятие «устойчивое развитие»: «Устойчивое развитие — это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Оно включает два ключевых понятия: — понятие потребностей, в частности потребностей необходимых для существования беднейших слоев населения, которые должны быть предметом первостепенного приоритета; — понятия ограничений, обусловленных состоянием технологии и организацией общества, накладываемых на способность окружающей среды удовлетворять нынешние и будущие потребности» [6, 52].

Вообще, как известно, это понятие получило негативную оценку и критику, особенно в российской научной литературе. Это выразилось в двух основных сюжетах: неправильный перевод термина на русский язык, поскольку «environmental development» — это «поддерживаемое развитие; расплывчатость определения, особенно в отношении так называемых потребностей, ибо в данное время мы не можем определить каковы будут потребности (кроме основных, биологических) у будущих поколений.

Более того, примерно в это же время была опубликована работа российского ученого П.Г. Олдака под названием «Равновесное природопользование: взгляд экономиста» [8]. Автор этой работы, будучи экономистом, предложил новый подход к развитию мирового сообщества, и он соединил: экономический фактор, экологический фактор и социальный фактор. Практически эта парадигма полностью совпадает с парадигмой «устойчивого развития». К сожалению, работа П.Г. Олдака не была оценена в зарубежной и даже российской литературе, ибо она была опубликована в Новосибирске небольшим тиражом, и попросту говоря, не попала «в нужное время и в нужное место», хотя была оценена отдельными представителями отечественной науки.

Наше понимание «устойчивого развития» полностью совпадает с определением, предложенным П.Г. Олдаком, но хотелось бы сделать некоторые дополнения. Во-первых, что касается «устойчивости», то следует рассматривать устойчивость биосферы как огромной открытой экосистемы. В экологии понятие устойчивости определяется следующим образом: устойчивость — это способность экосистемы выдерживать и смягчать нагрузку, на нее воздействующую. Такое определение следует относить и к биосфере, как к экосистеме, только в данном случае мы говорим о «несущей или хозяйствующей ёмкости» той тонкой пленки жизни, о которой говорил В.И. Вернадским.

В наше время вопрос заключается не в том, чтобы только использовать теоретические знания, но и формировать практику устойчивого развития. Для этого, по нашему мнению, важным фактором в этом «социо-эколого-экономическом поле» является повышения уровня образования, как в области социальной экологии, так и в рамках образования в области устойчивого развития. При этом мы понимаем «социальную экологию» как комплексное, интегративное направление научных исследований и соответствующей практики, имеющим своим объектом процесс взаимодействия общества и природы, а предметом — закономерности и механизмы такого взаимодействия. Цель социальной экологии в таком случае заключается в разработке и применимости оптимальных путей и способов этого определяющего положения.

Надо констатировать, что в Российской Федерации уровень такого образования является крайне низким. Мы выделяем три уровня (или направления) экологического образования: во-первых, это подготовка экологов, как будущих специалистов в области биолого-экологической направленности, или «Геккелевской» экологии; во-вторых — это прикладная экология, понимание которой должны быть соответственно направлено на различные отрасли хозяйства. И, наконец, социальная экология, которая должна рассматриваться как межпредметный курс в высшем образовании, направленный на формирование экологического сознания и экологической культуры.

Здесь следует напомнить, что решением соответствующих структур ООН только в прошлом году закончилось «десятилетие образование для устойчивого развития», которое проводилось под эгидой ЮНЕСКО, но не нашло нужного отражения в российских высших учебных заведениях. На это обратил внимание такой видный российский специалист, как уже выше отмеченный в статье, как Н.Ф. Глазовский, который отметил значимость такого образования и подчеркнул, что России в этом направлении надо сделать еще очень много усилий, для реального становления социально-экологического образования для устойчивого развития. Кстати он же предложил создание специальной магистерской программы по устойчивому развитию [2, 10].

Для более широкого взаимодействия современных государств в области сохранения устойчивости биосферы, улучшения государственной и международной политики, по всей вероятности, необходимо формирование и развитие экологической дипломатии, основные теоретические и практические основы которой в наши дни практически не имеют место. В случае нашей работы мы можем назвать к настоящему времени крайне ограниченное внимание в этой сфере. Одной из таких попыток можно считать работу автора, опубликованную в 2003 г. в «Вестнике Санкт-Петербургского университета» [1, 107].

Вместе с тем следует отметить, что глобализационные процессы далеко не всегда оцениваются положительно. Есть многочисленные критики этого концепта, да и на практике сформировалось достаточно явно выраженное негативное отношение к процессу глобализации. Это связано с появлением когорты антиглобалистов и альтерглобалистов. Если первые категорически не воспринимают глобализацию, то альтерглобалисты определяют свое отношение к этой тенденции положительно, но настаивают на изменении самой направленности и содержательной части процесса. Один из последних примеров повышения активности и значимости антиглобалистов — конференция в Москве 14–20 сентября. В ее решениях было обращение в ООН о необходимости еще раз провозгласить положение о праве наций на самоопределение.

В заключение нашей статьи, следует сказать, что будущее мира зависит в значительной степени от активности не только политических лидеров и государственных деятелей, но и того как будет развиваться гражданское общество не только в отдельных странах, включая, конечно, Россию, но и в рамках планетарных тенденций и явлений.

Литература

1. *Алимов А.А.* Экологическая политика и экологическая дипломатия (понятийный аппарат и отдельные направления). // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета, сер. 6, 2003, вып. 3, с. 101–109.
2. *Глазовский Н.Ф.* Состояние проблемы и перспективы развития образования в области устойчивого развития за рубежом. // Устойчивое развитие и экологический менеджмент. Материалы Международной научно-практической конференции, 17–18 ноября 2005 г. — СПб., 2005, с. 3–29.
3. *Кондратьев К.Я.* Устойчивое развитие в контексте проблем общества потребления. // Устойчивое развитие и экологический менеджмент. Материалы Международной научно-практической конференции, 17–18 ноября 2005 г. — СПб., 2005, с. 29–61.
4. *Контуры мирового будущего.* — Изд-во «Европа», 2005.
5. *Лебедева М.М., Харкевич М.В., Касаткин П.И.* Глобальное управление. — М.: МГИМО, 2013. — 205 с.
6. *Наше общее будущее.* Доклад Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию. — М., 1989.
7. *Ноосферизм. Арктический взгляд на устойчивое развитие России и человечества в XXI веке.* Т. I, II. — СПб., 2007.
8. *Олдак П.Г.* Равновесное природопользование: взгляд экономиста. — Изд-во Новосибирского университета, 1983.
9. *Федоров Ю.* Критический вызов для России. // Проблемы глобализации — Pro et Contra, 1999, с. 5–7.
10. *Чешков М.* Глобализация: сущность, нынешняя фаза, перспективы. // Проблемы глобализации — Pro et Contra, 1999, с. 114–127.

В.И. Биненко

**О ПЕРВЫХ БЕСПОСАДОЧНЫХ ПЕРЕЛЁТАХ НА САМОЛЁТЕ АНТ-25 ПО
МАРШРУТУ МОСКВА – СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС – США**

V.I. Binenko

**ABOUT THE FIRST NON-STOP FLIGHTS THE ANT-25 ROUTE ON THE
ROUTE MOSCOW – NORTH POLE – USA**

Статья посвящена первым беспосадочным перелётам на самолёте АНТ-25 по маршруту Москва – Северный полюс – США и организации дрейфующей станции «Северный полюс-1», которая поддерживала радиосвязь с экипажем АНТ-25, передавала на борт метеоинформацию над СП в момент полёта.

Ключевые слова: Арктика, самолёт, обледенение, метеоусловия, навигационные приборы.

The article is about the first of nonstop flights to the ANT-25 on the Moscow – North Pole – the U.S. and the organization of the drifting station «North Pole-1», which maintained radio contact with the crew of the ANT-25, passed on board meteorological information over the joint venture in time of flight.

Key words: Arctic, aircraft, icing, weather, navigational instruments.

Из истории исследований Арктики

Введение

Идея перелёта через Северный полюс из Москвы в США была высказана осенью 1934 г. полярным летчиком С.А. Леваневским, который стал Героем Советского Союза (медаль номер два) за спасение челюскинцев и была поддержана правительством СССР. Первая попытка транарктического беспосадочного перелета была апробирована в августе 1935 г. на одномоторном туполевском самолете АНТ-25 С.А. Леваневским вместе с Г.Ф. Байдуковым и В.И. Левченко, но проект не увенчался успехом из-за неисправности маслосистемы двигателя, поступления угарного газа в кабину самолёта над Баренцевым морем и они были вынуждены вернуться обратно. После этого С.А. Леваневский стал сторонником дальних перелетов, но только на многомоторных самолетах, и такое мнение Леваневского было поддержано многими, но не Г.Ф. Байдуковым, который в 1936 г. предложил лётчику-истребителю В.П. Чкалову возглавить продвижение проекта беспосадочного перелета в США на основе одномоторного АНТ-25. 20–22 июля 1936 г. на самолёте АНТ-25 был совершён испытательный беспосадочный перелёт из Москвы через Северный Ледовитый океан, Петропавловск-Камчатский на остров Удд (ныне — остров Чкалов) протяжённостью 9374 км, который показал возможность длительных беспосадочных полётов на АНТ-25 и за что командиру — В.П. Чкалову, второму пилоту — Г.Ф. Байдукову, штурману А.В. Белякову было присвоено звание героев СССР.

В этом же году в обстановке полной секретности началась практическая подготовка к броску в район Северного полюса четырехмоторных самолетов АНТ-6 (ТБ-3) и одного двухмоторного Р-6 (АНТ-7). Они должны были доставить участников научно-исследовательской экспедиции (начальник — И.Д. Папанин, гидролог П.П. Ширшов, геофизик, метеоролог Е.К. Федоров, радист Э.Т. Кренкель) и необходимый груз на дрейфующий лед. Экспедиция получила название «Северный полюс-1» (СП-1). Руководил ею академик О.Ю. Шмидт и его заместитель по летной части М.И. Шевелев [2, 3, 8, 11].

5 мая 1937 г. летчик П.Г. Головин и еще 4 человека на самолете — разведчике Р-6 (АНТ-7) вылетели с острова Рудольфа (Земля Франца-Иосифа), где была построена опорная база экспедиции «Север-1» в район Северного полюса. 21 мая 1937 г. после полёта Головина, флагманский самолет М.В. Водопьянова АНТ-6 «Авиаарктика» Н-170 впервые в истории успешно прилепился в район Северного полюса на огромную льдину толщиной в 3 м, и площадью 4 км^2 у $89^\circ 26' \text{ с.ш.}$, 78° з.д. Вскоре туда прилетели остальные самолеты экспедиции и было положено начало работы дрейфующей станции «СП-1» под руководством И.Д. Папанина. После организации дрейфующей станции «СП-1», стало возможным получение разрешения на арктические беспосадочные перелёты из Москвы в США на самолёте АНТ-25 экипажами В.П. Чкалова и лётчика-испытателя туполевских самолётов М.М. Громова. С.А. Леваневскому — предложили лететь третьим на тяжелом четырехмоторном самолете «Н-209» конструкции Болховитинова [2, 3, 11].

Техническая сторона трансарктических перелётов

Совет Труда и Оборона СССР (СТО) уже в декабре 1931 г. решил создать самолет РД (рекорд дальности) АНТ-25 и поручил это Центральному аэрогидродинамическому институту (ЦАГИ), где было организовано мощное конструкторское бюро (КБ), руководимое А.Н. Туполевым. Туполев поручил решение этой задачи конструкторской бригаде, возглавляемой П.О. Сухим, который считал, что для РД нужен большой мощности, экономичный и надежный двигатель отечественного производства. Выбор пал на бензиновый мотор АМ-34Р с воздушно-водяным радиатором мощностью 900 л.с., сконструированным А.А. Микулиным. АНТ-25 — цельнометаллический свободнонесущий однодвигательный низкоплан с трёхлопастным винтом и большим удлинением крыла (размах крыльев 34 м и рекордное удлинение, равное 11 м) был разработан в 1932 г. в ЦАГИ и построен в 1933 г. Крыло не только выполняло аэродинамические функции, но впервые в мире было построено как вместилище бензина (свыше 7 т), что резко снизило общий вес самолета. Вес пустого самолета составлял 4 200 кг, а максимальный взлетный — 11,5 т, посадочный — 7,6 т. В 1934 г. специально для АНТ-25 в Шелково была построена взлетная полоса [2, 3, 7, 11].

На этом самолёте было совершено несколько рекордных полётов. Летом 1934 г. экипаж М.М. Громова провёл лётные испытания АНТ-25 (были две вынужденные аварийные посадки из-за неполадок карбюратора мотора и не тех жиклёров), а в сентябре 1934 г. совершили рекордный по дальности и продолжительности полёт по замкнутому маршруту — 12 411 км за 74 ч 2 мин, (командир экипажа — М.М. Громов). Зимой 1934/1935 г. было уже два самолёта, практически полностью испытанных и годных для

официального установления мирового рекорда дальности полёта без посадки. В июле 1936 г. на АНТ-25 был совершён первый беспосадочный перелёт из Москвы на Дальний Восток протяжённостью 9 375 км (командир экипажа — В.П. Чкалов) [2, 3, 11].

Арктический вариант АНТ-25 отличался тем, что уменьшили размеры радиатора системы водяного охлаждения двигателя, перевели конец дренажной трубки рабочего масляного бака за радиатор, чтобы не допустить обледенения его конечной части. Дренажную трубку резервного маслобака, ранее выходявшую за борт самолета, обрезали, остаток загнули в виде вопросительного знака и оставили внутри кабины. Поставили трехлопастный металлический винт с системой управления в полете углами атаки лопастей, что давало возможность более точно подбирать оптимальный режим полета; сконструировали систему борьбы с обледенением лопастей, что являлось большой победой наших конструкторов того времени, обеспечивших полет самолета в облачности. Доска пилота на переднем сидении оборудовалась приборами, необходимыми для управления самолета в любых условиях днем и ночью, а также для контроля работы двигателя и всех обеспечивающих его систем. Важным прибором был радиокompас, с поворотной рамкой-антенной, позволявший штурману и летчику вести самолет на работающую радиостанцию, стоящую на маршруте. Он помогал не только лететь на работающую станцию, но и измерять пеленг боковых работающих радиостанций.

Был установлен и испытан альфометр — прибор, позволяющий определять качество смеси бензина и воздуха, не доводя двигатель до положения, когда послышится звонкий и весьма опасный выхлоп мотора в карбюратор. Этот прибор счетчик горючего, которое поступало из единого пропускного бака в карбюратор, позволял более уверенно знать, сколько фактически израсходовано бензина и какое количество осталось на борту самолета.

Для астрономической ориентировки имелся секстант — навигационный измерительный инструмент, используемый для измерения высоты светила над горизонтом с целью определения географических координат той местности, в которой производится измерение. Например, измерив высоту Солнца в астрономический полдень, можно, зная дату измерения, вычислить широту местности. Имелся прибор Сомнера, определяющий географическую широту и долготу местоположения наблюдателя по измеренным высотам небесных светил путём построения высотных линий положения — Сомнеровых линий. Над фюзеляжем возвышался прозрачный колпак, в котором был размещен солнечный указатель курса (СУК) с довольно сложной оптической системой и надежным высокоточным часовым механизмом. СУК должен был сыграть важную роль в выполнении полета по прямой, где магнитный Северный полюс оказывает такое сильное воздействие на привычные нам магнитные авиационные компасы, что ими пользоваться невозможно [11]. Этим прибором мог пользоваться штурман. А для летчиков перед стеклом передней пилотской кабины, на капоте, укреплен штырь, тень от которого падала на тот или иной участок белого круга, разбитого на 24 части, изображающий циферблат солнечных часов. Такой примитивный прибор позволял летчику держать курс вдоль заданного меридиана на север при полете к полюсу и на юг, конечно, при корректировке его штурманом. Самолёт был оборудован гироманитным компасом (гироманитный компас — гироскопический прибор для определения курса самолёта относительно магнитного меридиана), альтиметром, прибором для

18 июня 1937 г. в 1 ч 04 мин по Гринвичу с подмосковного аэродрома Щелково взлетел самолет АНТ-25 под управлением командира экипажа В.П. Чкалова (второй пилот и сменный штурман — Г.Ф. Байдуков, штурман и радист — А.В. Беляков). В.П. Чкалов осуществил взлёт самолета АНТ-25 массой 11 180 кг (из них горючего 5735кг) при температуре воздуха 8 °С, СЗ ветре на уровне полосы 1,5 м/с и давлении 7488,8 мм рт. ст., оторвавшись от полосы над главным входом на аэродром.

Через 1 ч 43 мин набрали высоту 1000 м, в смену Г.Ф. Байдукова и через 5 ч 26 мин над Онегой на высоте 1420 м из-за утечки масла под радиостанцией образовалась лужа, в 7 ч 25 мин масло стало бить меньше, но не стал работать масломер, перекачали масло, через 7 мин снизили утечку масла. Впереди появилась многоярусная облачность (1-й циклон) и уже в 8 ч 47 мин идут (в смену Г.Ф. Байдукова) между облаками на высоте 2000 м внизу Sc облачность выше As 10 баллов над Кольским п-вом (температура за бортом –5 °С, внутри кабины 7 °С) и далее слепой полёт в течение 1 ч со слабым обледенением. Появился треск в кабине от тряски в силу разновесности обледеневших лопастей воздушного винта. Подача давления с помощью ручного насоса на капельник антиобледенитель уменьшила треск за счёт схода льда с лопастей и хвостового оперения.

В 10 ч 32 мин на высоте 2480 м стало ясно, пересекли берег и уже летели над Баренцевым морем. В 10 ч 37 мин третий выхлоп в моторе. Обнаружили трещину в мембране уровня сектанта. А без него не оценить силу ветра, нельзя определить, куда сносит машину. Тем не менее удалось определить Сомнерову линию, оценить уклонение, высоту Солнца и географические координаты места нахождения на высоте 2820 м (широта 76°00' и долгота 45°00'). В 16 ч 10 мин передали по радио место своего нахождения.

В 17 ч 15 мин на высоте в 4000 м идут между облаками (СУК не работает), за бортом –24 °С, в кабине –1 °С, хотя подогрев открыт полностью, опять полёт в слепую в смену Г.Ф. Байдукова, обледенение самолета, стабилизатора и антенны, с которым пришлось бороться несколько часов. В 20 ч 20 мин достигли Земли Франца Иосифа, радио маяк с о-ва Рудольфа не прослушивается. Третий циклон встретился на подходах к полюсу, но его удалось удачно обойти. После того, как миновали Северный полюс, следовало переустановить солнечный указатель курса (СУК), чтобы он начал показывать на юг, что успешно и сделал А.В. Беляков

19 июня к 4 ч 15 мин на высоте 4200 м пролёт над полюсом, компас штурмана ходит почти кругом, переходили на СУК, определяют координаты при ясном Солнце. «Штурман передал по радио Папанину, Кренкелю, Федорову и Ширшову наш привет, низкий поклон и огромное спасибо за те сообщения с полюса, которые позволили центру разрешить нашей тройке полет. Привет, друзья! Счастливого Вам плавания в полярном море на льдине! Прощай, Северный полюс!» [2, 7].

АНТ-25 приближался к магнитному северному полюсу. Теперь самый примитивный СУК-4 с его штырем, похожим на обычный гвоздь, становился «гвоздем» всего полета на самом трудном его участке. Штурману полюс доставил много хлопот. 40 мин потребовалось на перевод СУК на 123-й меридиан, ведущий к западному побережью США.

В 9 ч 00 мин перешли на крайние баки на высоте 4850 м, у В.П. Чкалова сводит ногу. К 11 ч 45 мин перевалили облачность на высоте 5600 м, смогли определить координаты места нахождения (за бортом –3 °С, в кабине –1 °С). В 12 ч 30 мин снизились до 5000 м, внизу земля с озёрами и заливами. Замёрзла параотводная трубка, к 13 ч

42 мин по Сомнеровой линии определили координаты пролёта над землёй Бенкса, стёкла кабины у Байдукова замёрзли, не видно водомерной трубки, срезали лёд финкой. К 15 ч 30 мин снизились до 3600 м, где можно жить без подпитки кислородом, апельсины, яблоки замёрзли — отогревали на отопителе кабины.

Чтобы не лететь в облаках поднялись до высоты 6100 м к 23 ч 55 мин (за бортом -20°C), но облака ещё выше — опять слепой полёт, в водяном бачке нет воды, кислород на исходе, ещё может хватить на час. 20 июня в 0 ч 40 мин на высоте 6000 м закончился кислород. Из-за кислородного голодания пилоты были вынуждены сменяться каждый час. С 0 ч 48 мин снижение через облачность до 3850 м — слепой полёт ночью вдоль побережья. В 8 ч 15 мин начал работать радиокомпас на Беленгейм (Сан-Франциско), в кабине -9°C , Байдуков ведёт по радиокомпасу. В 12 ч 00 мин снижение до 3000 м, в просветах облаков бухта и горы слева по борту самолёта мигают огоньки маяков. К 14 ч 00 мин выходят на маяк Портланда, из-за ориентировки много споров, внизу рваная облачность до 300 м. Решили набирать высоту в надежде долететь до Сан-Франциско. Плохо с водой, в запасном бачку помпа не забирает, бензин кончается. «Из-за резкой смены высоты сработал редукционный клапан водяной системы охлаждения двигателя, и через него выбросило катастрофически много воды. Головки цилиндров двигателя перестали омываться холодной водой, что через 5–6 мин грозило пожаром. Ручной насос работал вхолостую (воды не было). Запасной бачок тоже был пуст. А самолет уже планировал вниз (так как обороты двигателя были сбавлены). Чкалов и Беляков сумели в течение нескольких минут найти выход из положения: наполнили запасной бачок питьевой водой из резиновых мешков (но незамерзшими оказались всего несколько литров), а когда ее не хватило, по совету Г.Ф. Байдукова, добавили даже содержимое шаров-пилотов (то, что было приготовлено врачом для анализов) [2]. Ситуацию удалось спасти.

В 15 ч 41 мин делают разворот на Портланд и в 16 ч 20 мин посадку на военном аэродроме Бараксе в Ванкувере, расположенный возле Портленда, осуществил Г.Ф. Байдуков. Всего в воздухе провели 63 ч 16 мин со средней скоростью 125 км/ч. Израсходовано 7933 л — 5658 кг, т.е. в баке осталось 77 кг.

Героический экипаж АНТ-25 перелетел с одного континента на другой по неизвестной трассе, впервые в человеческой истории через Северный и магнитный полюс, через области, которые именовались до сих пор «полюсом неприступности» [2, 7, 11].

В ходе полета летчикам пришлось не раз столкнуться с проблемой кислородного голодания: высота полета, усугублявшаяся усталость (головокружения, носовые кровотечения, учащенный пульс и т.п.). Особенно нехватка кислорода ощущалась при выполнении физической работы: подкачке масла в рабочий бак мотора (в полете масло охлаждалось и загустевало) или переключении на питание из других баков (крайних, крыльевых; для этого приходилось лезть в крыло и вручную переключать краны). У экипажа были с собой кислородные маски, но количество его было ограниченным, так что его приходилось экономить. За первые 40 ч полета только два раза удалось подкрепиться. Ели перемерзшие яблоки и апельсины. А Чкалов и этого не попробовал: довольствовался плотно набитой трубкой [2, 7].

Рис. 2 позволяет сравнить планируемый маршрут перелётов АНТ-25 из Москвы через Северный полюс в США, приложенный к штурманскому бортовому журналу

рис. 2а [7], и фактических маршрутов перелётов экипажа В.П. Чкалова — сплошная линия (18–20.06.1937) и М.М. Громова — пунктирная линия (12–14.07.1937) на рис. 2б.

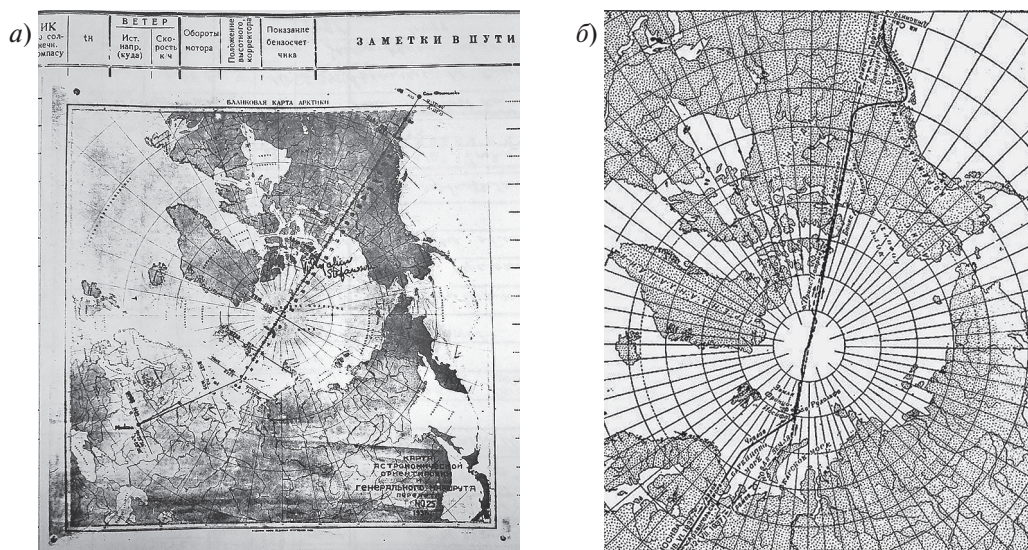


Рис. 2. Маршруты перелётов АНТ-25:

а — планируемый маршрут перелётов АНТ-25 из Москвы через Северный полюс в США;
б — фактические маршруты перелётов экипажа В.П. Чкалова — сплошная линия (18–20.06.1937)
и М.М. Громова — пунктирная линия (12–14.07.1937)

Рекомендации почерпнутые из опыта перелёта экипажа В.П. Чкалова в США, были переданы в Москву для М.М. Громова, в частности, по увеличению запаса кислорода и антиобледенителя, по навигации и радиосвязи. Самолёт был заправлен на полтонны больше горючего, чем у Чкалова. Сняли с самолёта надувную резиновую лодку на случай вынужденной посадки в океане, ружья, соль, тёплую одежду, запас продовольствия, запасное масло и прочее — всего на 250 кг, и это способствовало успешному перелёту экипажа М.М. Громова, стартовавшего 12 июля 1937 г. Вторым пилотом был А.Б. Юмашев, штурманом — С.А. Данилин, но уже до Сан-Франциско [2]. Им удалось преодолеть на опытном экземпляре АНТ-25 № 1 практически за то же время 62 ч 17 мин, значительно большее расстояние — 11 500 км в до Сан-Диего, а по прямой — 10 148 км. Мировой рекорд дальности был побит! Международная Авиационная Федерация (ФАИ) наградила М.М. Громова и его экипаж медалью де Лаво за лучшее мировое достижение 1937 г.: два мировых рекорда дальности полёта — по прямой и по ломаной линии без посадки.

Автор идеи перелета через Северный полюс в США С.А. Леваневский стартовал 12 августа 1937 г. в 18 ч 15 мин на тяжелом четырехмоторном самолете «Н-209» конструкции Болховитинова. В 13 ч 40 мин следующего дня самолет пролетел над Северным полюсом. В 14 ч 35 мин с борта самолета была получена тревожная

последняя радиограмма об отказе одного из двигателей, вследствие чего, по-видимому, снижение высоты полёта, попадание в облако, обледенение, падение самолёта и гибель экипажа.

В 1938 г. за первые научные результаты исследований в Арктике, выполненных И.Д. Папаниным, Е.К. Федоровым, П.П. Ширшовым в ходе экспедиции СП-1 (доложенные на заседании президиума РАН) и в ходе межконтинентального перелёта А.В. Беляковым — им были присвоены учёные степени докторов географических наук, а М.М. Громова — доктора технических наук [2, 3, 9, 11].

Участники перелёта пересекли все США, встречались с тысячами американцев, с президентом США Ф. Рузвельтом и госсекретарём Холлом, который заявил: «Никакая работа дипломатов не смогла бы сделать за 10 лет того, что сделали Вы своим перелётом для сближения народов Советского Союза и Америки» [2, 3, 11]. Они пересекли Атлантику и Европу могли сравнить уровень жизни за рубежом и в СССР, когда волна очередного большого террора 1936—1938 гг. касалась большинства жителей страны, когда и они были, как объектами, так и субъектами доноительства, поиска врагов и приходилось даже им бесспорным героям жить и работать в рамках двойных, тройных стандартов — думать одно, говорить другое, делать третье.

В начале 1938 г., сверх популярному в СССР В.П. Чкалову Сталин предложил должность наркома внутренних дел, но он отшутился, сославшись на то, что не является специалистом в области внутренних органов. В.П. Чкалов, по словам его жены, последние месяцы перед гибелью спал с револьвером под подушкой [2, 6].

1 декабря 1938 г. Чкалов был вызван из отпуска в Москву для испытания самолета-истребителя И-180 конструкции Н.Н. Поликарпова. 15 декабря он впервые поднял самолет в воздух. Чкалов всегда говорил перед вылетом «Поехали» (много позже эту привычку переймет Юрий Гагарин). У самолета отказал мотор, когда летчик шел уже на посадку. Валерий Павлович старался увести самолет от падения на жилые дома, спасти самолет. В письме Берия от 15 декабря [6, 8], говорилось о том, что все роли уже распределены: «Производившимся нами до этой аварии расследованием было установлено, что самолет в результате преступного отношения директора 156 завода тов. Усачева был сдан... с рядом дефектов...». Товарищ Усачев уже называется преступником, а еще идет следствие, работает правительственная комиссия и выводов этой комиссии пока нет. В дефектной ведомости было перечислено 45 дефектов и недоработок. Никто не пострадал и не понёс ответственность за гибель В.П. Чкалова! Г.Ф. Байдуков сделал вывод, «что Чкалова фактически убили, обязав его вылетать на недоделанном самолете» [2].

Заключение

Научные исследования выполненные в Арктике в ходе экспедиции СП-1 [1, 9, 11], нашли своё продолжение и к настоящему времени в Арктическом бассейне уже работает СП-37, в 1979—1980 гг. проводились комплексные спутниковые, самолётные исследования над СП-22 в ходе выполнения Первого глобального эксперимента, ПИГАП по изучению полярного аэрозоля, протяженной облачности и радиации [5], осуществляется мониторинг основных метеорологических и гидрологических

характеристик атмосферы, льда и морских акваторий Северного Ледовитого океана и его морей с помощью автоматических станций и буев, а также дистанционного зондирования морских льдов на Северном морском пути [1, 4, 10, 11]. Всё это имеет огромное значение в свете освоения природных ресурсов северных морей, для задач, связанных с изучением и проверкой численных методов моделирования погоды и климата с привлечением статистического банка экспериментальных данных накопленных за последние десятилетия в Арктике.

Литература

1. *Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А., Радионов В.Ф.* Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций). // Климат прилёдного слоя атмосферы Арктического бассейна. Т. 2. Под ред. д.г.н., проф. Г.В. Алексеева. — СПб.: Гидрометеиздат, 2004. — 144 с.
2. *Байдуков Г.Ф.* Москва—Северный полюс—США. Год 1937. // Новая и новейшая история, 1987, № 2.
3. *Громов М.М.* На Земле и в небе. — «Военная литература», 1997. — 266 с.
4. *Йоханнессен О.М., Александров В.Ю., Фролов И.Е., Сандвен С., Петтерссон Л.Х., Бобылев Л.П., Клостер К., Смирнов В.Г., Миронов Е.У., Бабич Н.Г.* Научные исследования в Арктике. Т. 3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. — СПб.: «Наука», 2007. — 437 с.
5. Первый глобальный эксперимент, ПИГАП, «Полярный аэрозоль, протяженная облачность и радиация». Т. 2. Под ред. К.Я. Кондратьева, В.И. Биненко. — Гидрометеиздат, 1981. — 152 с.
6. Центральный архив ФСБ РФ, ф. 3, оп. 5, пор. 83, л. 417—419.
7. *Чкалов В.Н., Байдуков Г.Ф., Беляков А.В.* Штурманский бортовой журнал самолёта № 025, 18—20 июня 1937 г. — 14 с.
8. *Чкалова В.В.* Чкалов без грифа «Секретно». — М.: Полиграфресурсы, 1999.
9. *Федоров Е.К.* Полярные дневники. — Л.: Гидрометеиздат, 1982.
10. *Johannessen O.M., Alexandrov V.Yu., Frolov I.Ye., Sandven S., Bobylev L.P., Pettersson L.H., Kloster K., Smirnov V.G., Mironov Ye.U., Babich N.G.* Remote sensing of sea ice in the Northern Sea Route: studies and applications. — Chichester, UK: Springer-Praxis, 2006.
11. Электронный ресурс: [<http://ru.wikipedia.org/wiki>].

ПОД ЗНАКОМ ЛЬВА

Российскому государственному гидрометеорологическому университету в ноябре 2015 г. исполняется 85 лет. Из них 25 лет мы прожили под руководством Льва Николаевича Карлина, которого не стало год назад. Как и чем дышал Гидромет (вначале институт, а затем с 1988 г. — университет) под знаком Льва целую четверть века?

Это был небольшой вуз с большими перспективами и возможностями для сотрудников и преподавателей, принявших систему ценностей, которую в Гидромете ощущал каждый. Уникальный гидрометовский дух задавался, конечно же, первым лицом — ректором Львом Николаевичем Карлиным, для которого университет был одновременно и его домом, и его детищем. Лев Николаевич не уходил в отпуск, хотя официально его, конечно, «отгуливал», но больше трех дней в Университете не отсутствовал. Его постоянная телефонная, электронная и реальная доступность, помноженная на способность с ходу вникнуть в проблему, была привычной для нас и не воспринималась как нечто исключительное. Этим отношением к университету, исходящим от ректора — мощного харизматика — заражались коллеги, сотрудники, студенты. Нам хотелось подражать Льву Николаевичу и хотелось быть на него похожими.

Работа в режиме нон-стоп — еще одна черта Льва Николаевича. Знатоки особого режима Карлина знали, что поговорить с ректором в спокойной обстановке и обсудить текущие или стратегические проблемы можно в субботу, а то и в воскресенье. Даже в эти дни жизнь в кабинете ректора не замирала. Лев Николаевич в эти дни консультировал своих аспирантов и параллельно выслушивал посетителей. В будние дни, когда вал текущих вопросов носил ректора по административным волнам вне университетских стен, все знали от секретаря, когда ректор придет и были уверены, что ректор найдет минуту для каждого.

С легкими вопросами ко Льву Николаевичу можно было обратиться прямо в коридоре, пока он шел в свой кабинет или поднимался на второй этаж по лестнице. Сколько фотографий хранит фотоархив студенческой газеты «Бореальная зона», на которых запечатлена высокая худощавая фигура ректора в ореоле гривы серебряных волос и его стремительный проход по коридору второго этажа в окружении самых разных лиц. В течение этих нескольких минут ректор мог ответить на многие вопросы и дать рекомендации, разрешения, указания. Получив ответы на свои вопросы, люди, как лодки от крейсера, отчаливали и плыли по своим делам.

Дверь в кабинет Льва Николаевича всегда была открыта. Секретарь ректора, порой, по его же просьбе, запирали дверь кабинета снаружи, чтобы дать тому возможность сосредоточиться и не отвечать на входящие звонки. Эта военная хитрость была хорошо известна всем коллегам и принималась по умолчанию: раз ключ торчит снаружи, а ректор в университете, значит, его нельзя беспокоить. «Понятно!» — говорили коллеги и молча удалялись из приемной.

Он не брал больничных листов, потому что был активным спортсменом, прекрасно играл в баскетбол, отлично плавал, купальный сезон у него был круглогодичным. Спорт входил в ректорский ежедневный обиход и стал естественным стилем жизни в университете. Спортивные секции для студентов были сильной стороной университета четверть века. Найти время побросать мяч в баскетбольную корзину в спортзале Университета было свойственно Льву Николаевичу, студенты или коллеги нередко составляли ему компанию.

Будучи хранителем традиций, ректор не боялся нового и приветствовал его. Это качество, как магнит, привлекало к нему университетскую молодежь, студентов. Многие именно из-за личности ректора и его редкого обаяния оставались работать на благо университета после получения дипломов, занимали административные позиции, начинали преподавательскую деятельность. Пример ректора, прошедшего путь от студента океанфака до ректора РГГМУ показывал им: работай, желай, смей — все условия для этого есть в вузе. И молодежь это остро чувствовал, ценила работу рядом с ним, набиралась административного, научного, педагогического, человеческого опыта.

Студенты гордились ректором. Лев Николаевич всегда находил время для судейства студенческих университетских конкурсов, принимал участие в университетских спортивных соревнованиях, придирчиво и со вниманием прочитывал каждый номер студенческой газеты «Бореальная зона» от доски до доски, вовремя, как бы ни был занят, давал интервью газете в рубрику «Пять вопросов ректору», радовался каждой победе студентов в Олимпиадах по предметам, профессиональным конкурсам, старался материально или морально поощрить победителей, никогда не жалел средств на студенческие проекты и поддерживал их, курировал.

15 лет назад Лев Николаевич решил открыть в РГГМУ специальность «связи с общественностью», потому что сам был публичным человеком и как блестящий прогнозист понимал, как важно университету правильное позиционирование в условиях резкого и длительного демографического спада и начавшихся образовательных реформ, как важно лоббирование интересов университета в Администрации Санкт-Петербурга, как важна узнаваемость университета, символика, флаг, гимн, как значимы специальные мероприятия и конференции, публикации в массмедиа и регулярные выступления на телевидении.

Будучи от природы PR-специалистом, Лев Николаевич хорошо чувствовал свой формат: его понятные всем и каждому комментарии на телевидении по поводу прогнозов погоды ждали многие петербуржцы. А регулярная надпись на телеэкране «Лев Карлин, ректор Российского государственного гидрометеорологического университета» рождало в сознании массового зрителя прочную склейку профессионализма, обаяния и успешности личности ректора с Гидрометом в целом. Его регулярное появление на телевидении было образцом выстраивания грамотных отношений между Университетом и средствами массовой информации. Эффективность этих отношений незамедлительно сказалась и на приемной компании в университет, когда абитуриенты валом валили на социально-гуманитарный факультет РГГМУ. Человек-бренд, так можно говорить о Льве Николаевиче.

Демократичность Льва Николаевича, его абсолютное и порой даже ироничное равнодушие к статусности, делало его человеком, к которому тянулись люди. Не случайно он стал депутатом ЗАКС Санкт-Петербурга от Красногвардейского района. Лев Николаевич одинаково внимательно относился к людям самого разного социального положения и был естественен в проявлении своего искреннего интереса к ним в

оказании самых элементарных знаков человеческого расположения: подвести на машине, позвонить по личному номеру мобильного телефона, запросто прийти на защиту диссертации для поддержки.

Ректор, будучи человеком открытым и публичным, не отмечал день своего рождения. Даже юбилеи. В день своего рождения, 27 декабря, он не приходил на работу. Ректор не переносил официоза и приема официальных поздравлений в свой адрес, хотя сам приходил с подарками и цветами на юбилеи своих коллег. Может, в этом было еще и тайное желание не замечать коварного счетчика лет, приближающего дату — 65-летие, когда по закону свое детище — Гидромет — нужно будет передавать в другие руки.

Еще об одном качестве нашего ректора нельзя не сказать — острая память. Лев Николаевич хорошо знал не только всех сотрудников и профессорско-преподавательский персонал, но и студентов. Он был в курсе, кто, когда проходил по конкурсу и с каким успехом, когда и где защитился, кто чем болеет и когда и почему уволился. Активных и одаренных студентов, тех, в которых видел профессиональный или социальный задор, всегда старался сохранить для университета или давал рекомендации о трудоустройстве на позиции, которые помогали выстаивать прочные профессиональные или административные связи в дальнейшем. Он не забывал о том благе, которое сотрудник внес в общее дело университета и не отказывал в помощи никому.

Благодарность — качество редкое для руководителя такого уровня, как ректор. Льву Николаевичу это качество было присуще. Кто не помнит знаменитую коллекцию львов в ректорском кабинете: игрушечных, каменных, металлических, гипсовых, которые ему дарили то ли в шутку, то ли всерьез коллеги. Цена той коллекции в денежном эквиваленте, конечно, копеечная, Лев Николаевич шутливо к ней относился, с большой иронией, но всегда благодарил того, кто сделал такой подарок и ставил его на полку в дополнение к уже стоящим экземплярам. И вообще, он благодарил за все: даже за домашние варенья-соленья.

Мужественность — еще одно львиное качество ректора. 1 сентября 2014 года было грустным. Лев Николаевич как всегда пришел на торжественную линейку, посвященную «Дню знаний» в парк Валентины Терешковой. И первый раз не смог выстоять на торжественной линейке 45 минут. Он впервые присел на стул — силы покидали его стремительно, но он находил в себе мужество держаться браво, шутил, приветствовал всех своим неизменным: «Здорово!». Преподаватели и сотрудники старались стоять к нему поближе, чтобы попасть в поле объектива фотографа вместе со Львом Николаевичем. Сердце щемило, но надежда жила. Фотоотчет о последнем 1 сентября со Львом Николаевичем Карлиным можно найти в архиве на сайте университета. Одна из фотографий — Лев Николаевич улыбается и смотрит в небо, где разлетаются искры залпов салюта и летят в небо воздушные шары, раскрашенные в цвета Гидромета. Это был прощальный салют для него.

Конечно, такая ректорская вовлеченность во все аспекты университетской жизни кажется странной теперь. Но Лев Николаевич не мог иначе. Это был его стиль: «Одно окно». 25 лет в этом окне всегда горел свет. И окно это всегда было открыто для всех нас.

Помним его таким.

Е.В. Быкова

* * *

18 декабря исполнилось 90 лет Ирине Георгиевне Максимовой, в течение четверти века (с 1990 по 2015 г.) возглавлявшей Редакционно-издательский отдел (РИО) РГГМУ и все это время являвшейся внештатным экспертом Учебно-методической комиссии Минобрнауки Российской Федерации. Ирина Георгиевна окончила в 1951 г. Метеорологический факультет Ленинградского гидрометеорологического института (ЛГМИ) и получила назначение на работу редактором в Гидрометеиздате, где приобрела профессиональные навыки редактирования и издания научной и учебной литературы. С 1964 г. Ирина Георгиевна работает в ЛГМИ — старшим лаборантом, старшим инженером, а с 1969 г. — старшим редактором РИО. В период преобразования ЛГМИ в Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) Ирина Георгиевна становится заведующей РИО и возглавляет этот отдел вплоть до ухода на пенсию. Заслугой Ирины Георгиевны является организация регулярного выпуска научных трудов, учебников, учебных пособий, методических указаний, учебных программ и прочей учебно-методической документации. Научные и учебно-методические издания РГГМУ неизменно пользовались и продолжают пользоваться успехом не только внутри вуза, но и во всех университетах России, а также за рубежом. Монографии, учебники и учебные пособия, изданные в РГГМУ, отмечались почетными грамотами и дипломами на всех общероссийских и многих международных выставках — не только за высокий научный уровень, но и за качество полиграфического издания. Помимо огромной работоспособности, энтузиазма, умения и желания работать с авторами, для Ирины Георгиевны, по словам бывшего ректора ЛГМИ профессора Н.П. Смирнова, характерна ЛЮБОВЬ К КНИГЕ, которую она привила нескольким поколениям выпускников ЛГМИ — РГГМУ. За многолетний добросовестный труд Ирина Георгиевна награждена медалью «Ветеран Труда».

* * *

В летнюю навигацию 2015 г. Морской институт РГГМУ провел несколько экспедиционных исследований. В мае были выполнены океанографические работы по обеспечению водолазных спусков в рамках поисковой экспедиции в районе затонувшего в период Великой Отечественной войны военного катера вблизи о. Сескар. Экспедиционное судно предоставлено командованием ЛенВМБ в рамках плана работы Морской военно-исторической экспедиции (в числе учредителей — Л.Н. Карлин). Погружения выполнил Дмитрий Столбов. Попутно была испытана новейшая аппаратура связи и позиционирования для управления работой водолаза с борта судна. В результате выполнена фото- и видеосъемка затонувшего катера типа «Морской охотник». РГГМУ обеспечивал проводившиеся спуски информацией по течениям. В августе были выполнены экспедиционные исследования по проекту «Обобщение материалов о состоянии природной среды на объекте «Строительство ВОЛС Санкт-Петербург — Кронштадт. Подводный участок через акваторию Финского залива». Исследования включали в себя полный комплекс изучения характеристик для составления тома ОВОС (гидрометеорологические, гидробиологические и микробиологические, а также качество воды и донного грунта). Геологические исследования выполнены специалистами ВСЕГЕИ.

В результате проведенных работ получены и обобщены самые современные сведения о состоянии морской природной среды в Невской губе и влиянии на нее техногенных воздействий. В ноябре выполнены морские исследования в районе порта Бронка (южный берег Финского залива). Их задачей явилось изучение скорости осаждения осадка из пятна мутности, математическое моделирование распространения взвеси и контроль за состоянием морских биологических сообществ. Организатором морских исследований является директор Морского института доцент С.В. Лукьянов.

* * *

19–21 августа проректор по развитию Д.В. Леонтьев и начальник отдела по связям с ВМО Н.Н. Филимонова приняли участие в 9-м Форуме ректоров Университета Арктики в г. Умеа (Швеция). В ходе Форума состоялись многосторонние и двусторонние встречи ректоров Университета Арктики, в ходе которых были обсуждены предложения и принята Декларация.

* * *

29–30 сентября Комиссия Географии океана Русского Географического общества провела в Санкт-Петербурге 9-ю Международную конференцию по географии и картографированию «Арктика: геополитические и политико-экономические проблемы освоения». Основными темами для обсуждения на Конференции стали хозяйственное освоение и экологические проблемы Арктического региона, история исследований Арктики, технические и технологические аспекты освоения северных территорий, политико-экономические проблемы развития регионов и муниципальных образований Арктической зоны РФ, вопросы геополитики и безопасности. Начальник отдела по связям с ВМО Н.Н. Филимонова выступила на Конференции с докладом «Арктическое направление внешней политики Китая и Индии». Декан Океанологического факультета РГГМУ А.С. Аверкиев рассказал участникам Конференции о гидрометеорологическом обеспечении и океанографических наблюдениях на Северном Морском пути по материалам рейса океанографического исследовательского судна «Адмирал Владимирский». От кафедры Экологии было сделано два доклада: «Экологически дружественный порт в Арктике на примере порта Сабетта» (В.А. Жигульский, М.Б. Шилин) и «Содержание тяжелых металлов в озере Биенда-Стемме на архипелаге Шпицберген» (Г.Т. Фрумин, А.С. Демешкин). Менее чем через неделю после доклада на Конференции аспирантом А.С. Демешкиным в диссертационном совете РГГМУ была успешно защищена кандидатская диссертация по результатам мониторинга озерных систем Шпицбергена.

* * *

1–3 октября в Лиссабоне (Португалия) состоялось очередное заседание Экологической комиссии Центральной Дреджинговой ассоциации (ЦЕДА), корпоративным членом которой является РГГМУ. В заседании принял участие зав. кафедрой Экологии проф. М.Б. Шилин. Основной темой заседания было обращение с донным грунтом

(«дреджинговым материалом»), извлекаемым в процессе дноуглубительных работ. Материалы заседания использованы профессором кафедры Экологии В.А. Жигульским при подготовке доклада для Законодательного собрания Правительства Санкт-Петербурга «Экологическая безопасность при обращении с донными грунтами Невской губы». Доклад сделан В.А. Жигульским в Мариинском дворце 27 октября. В докладе были представлены совместные научно-практические разработки кафедры Экологии и ООО «Эко-Экспресс-Сервис» в области использования, складирования и захоронения «дреджингового материала». Заседание Экологической комиссии вел ее неизменный председатель А.Н. Кривенченко. Предложения, сформулированные участниками заседания, направлены на формирование Стратегии обращения с дреджинговым материалом в Санкт-Петербурге. Необходимость разработки такого документа отмечена всеми выступавшими в дискуссии. Заведующий кафедрой Экологии М.Б. Шилин представил депутатам и экспертам русский перевод методического издания ЦЕДА «Экологические аспекты дреджинга». Перевод и издание книги выполнены в РГГМУ. Телерепортаж о заседании Экологической комиссии вел новостной канал Регионального телевидения.

* * *

С 4 октября по 6 ноября специалист отдела по связям с ВМО Д.В. Мигулин проходил стажировку в международном отделе и отделе по международным связям в рамках программы Эронет Плюс. Во время стажировки была проведена презентация РГГМУ, установлены контакты с представителями факультетов университета Пуатье; разработаны 6 флаеров для новой программы мобильности МИС. Д.В. Мигулин принял участие в Дне Международного студента (прием в мэрии г. Пуатье), в информационном Дне Международных исследований (PhD), изучил опыт разработки брендбуков университета, посетил лаборатории и кампусы университета Пуатье, прошел тренинг и ознакомление с CMS университета.

* * *

7 октября начальник отдела международных проектов К.Н. Антонова и профессор О.М. Покровский приняли участие в семинаре по климату в Генеральном консульстве Германии. Семинар был приурочен к Конференции ООН по изменению климата (COP 21) в Париже. В семинаре приняли участие представители администрации Санкт-Петербурга и Ленинградской области, НКО, занимающиеся климатом, представители бизнеса и дипломатических структур. В ходе семинара обсуждались перспективы продолжения дебатов по изменению климата, вызовы и возможности исследования данных вопросов, а также пути улучшения сотрудничества в области исследования климата и его изменений.

* * *

14–15 октября начальник отдела международных проектов К.Н. Антонова участвовала в ежегодной встрече координаторов программы академической мобильности

Университета Арктики North2North в Стокгольме (Швеция). Во встрече принимали участие администрация Университета Арктики, национальные агентства, представители 30 университетов Дании, Исландии, Канады, Норвегии, США и Финляндии. Во время встречи обсуждались вопросы, связанные с процедурой подачи заявок на получение стипендии, форма заявления, сроки подачи и процедурные вопросы, связанные с предоставлением университетам информации о количестве выделенных стипендий, особые условия предоставления стипендий некоторыми странами (США, Канада, Дания), отсутствие национальных агентств — в других странах (Россия, Исландия). Было предложено рассмотреть вариант подписания многостороннего соглашения об обеспечении гарантий качества образования или разработать дополнительную документацию к заявке, гарантирующую соблюдение принципов академической мобильности, обозначенных в Болонской декларации и в Декларации 9 Форума Ректоров Университета Арктики в г. Умеа.

* * *

16–17 октября в ходе конференции «Справедливое признание: лучшие практики и инновационные подходы» (Москва, ФГБУ «Главный государственный экспертный центр оценки образования») начальник отдела международных проектов К.Н. Антонова провела переговоры с целью рекрутинга иностранных студентов с директором ФГБУ «Главэкспертцентр», президентом сети информационных центров ЕНИК-НАРИК, директором центра признания и обеспечения качества образования Франции, директором отдела планирования и политики, Отдела по международному сотрудничеству и обмену, Министерства образования Китайской Народной Республики, генеральным директором Германского дома науки и инноваций, главой представительства Германской службы академических обменов при посольстве ФРГ, руководителем Центра Академической информации Латвии, директором Китайской службы по академическим обменов, экспертом в области признания иностранного образования Комитета по высшему образованию Швеции, экспертом по признанию регионального офиса Международного бакалавриата (Нидерланды), представителем Свободного университета Берлина (Freie Universität Berlin).

* * *

26–30 октября Всемирная Организация Продовольствия и Сельского хозяйства ЮНЕСКО (Food and Agriculture organization — FAO) провела в г. Пушкин международный семинар по организации мониторинга и контроля распространения саранчи. Национальные программы борьбы с нашествиями саранчи представили делегаты Азербайджана, Армении, Афганистана, Грузии, Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркмении и Узбекистана. От стран Северной Африки был сделан один обобщенный доклад. Эксперты отметили проникновение саранчи во все более северные районы, что связано с потеплением климата и ростом площадей необрабатываемых сельскохозяйственных угодий, являющихся идеальными местами размножения наиболее опасных видов саранчовых. По мнению эксперта FAO, профессора Университета

Вайоминга (США) А. Лачининского следует ожидать появления саранчи уже в ближайшем будущем на ветлендах и увлажненных пустошах, образовавшихся вдоль побережья о. Котлин после постройки Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений («дамбы»). Работой семинара руководили эксперты ФАО Анни Монард, Марион Чирис, Мохамед Хамуйни и Александр Лачининский. Гостями семинара стали вице-губернатор Ленинградской области, Председатель комитета по агропромышленной и рыбохозяйственной политике Ленинградской области С.В. Яхнюк и заместитель Председателя комитета по агропромышленной и рыбохозяйственной политике Ленинградской области Т.А. Агапова. От РГГМУ в работе семинара принял участие заведующий кафедрой Экологии профессор М.Б. Шилин.

* * *

27–28 октября в Москве в рамках официальных мероприятий председательства Российской Федерации в БРИКС состоялся ряд научно-образовательных мероприятий под эгидой Министерства образования и науки Российской Федерации. От РГГМУ в мероприятиях принял участие руководитель Контактной точки БРИКС от России по приоритетному направлению «Предотвращение и смягчение отрицательных последствий природных катастроф», директор Департамента НИИПР Г.Г. Гогоберидзе. 27 октября старшие должностные лица «пятерки» обсудили и согласовали проекты Московской декларации министров и Рабочего плана в области науки, технологий и инноваций БРИКС на 2015–2018 гг. В ходе встречи российская сторона представила приоритетные направления развития, утвержденные на заседаниях специально учрежденного Совета Российской Федерации по научно-технологическому и инновационному сотрудничеству БРИКС. Делегаты утвердили проекты Московской Декларации, Рабочего плана в области науки, технологий и инноваций БРИКС на 2015–2018 гг., а также сформировали пакет рекомендаций министрам стран БРИКС в сфере науки, технологий и инноваций. 28 октября министры по науке, технологиям и инновациям стран БРИКС объединения подписали Московскую декларацию, отражающую основные направления сотрудничества стран БРИКС на среднесрочную перспективу. В мероприятии приняли участие заместитель министра образования и науки Российской Федерации Людмила Огородова, начальник Управления международных связей Министерства науки, технологий и инноваций Бразилии, посол Карлос Кардим, Министр науки и технологий и наук о Земле Индии Харш Вардхан, заместитель министра науки и технологий Китайской Народной Республики Цао Цзяньлинь, Министр науки и технологии Южно-Африканской Республики Наледи Пандор. Участники встречи обратили внимание на то, что для повышения эффективности национальных исследовательских инфраструктур необходимо формирование общего научного пространства стран БРИКС. Такая интеграция позволит решать задачи высокой сложности и взаимодействовать с другими странами на качественно новом уровне. Координация и объединение ресурсов БРИКС в этом направлении позволит получить синергетический эффект и обеспечить глобальную конкурентоспособность научно-технических комплексов стран БРИКС с ведущими мировыми центрами. Особое место в Декларации уделено вопросам создания Совместной научно-исследовательской и

инновационной платформы для обеспечения основательного и скоординированного подхода внутри исследовательского сообщества стран БРИКС по пяти согласованным закреплённым за странами тематическим областям научно-технической кооперации, в одной из которых РГГМУ является Контактной точкой БРИКС от России.

* * *

28–30 октября в Российском государственном педагогическом университете им. А.И. Герцена прошла IV Международная конференция «Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие». Доцент кафедры Экологии И.С. Семенова в очередной раз приняла участие в работе конференции. Ее статья «Исторический опыт и перспективы туристского использования дачных поселков Курортного района Санкт-Петербурга» опубликована в только что вышедшей коллективной монографии в разделе «Природное и культурное наследие в туризме».

* * *

29 октября в г. Нью-Дели (Индия) состоялась первая установочная встреча должностных лиц стран БРИКС по приоритетному направлению «Предупреждение и ликвидация природных катастроф» согласно Декларации о сотрудничестве по реализации многосторонних исследовательских проектов и Рабочему плану 2015–2018 гг. стран БРИКС в области науки, технологий и инноваций, подписанному Министрами науки, технологий и инноваций стран БРИКС в Москве 28 октября 2015 г. Встреча была организована в виде специализированной сессии БРИКС, на площадке 6-й ежегодной конференции Международного сообщества по комплексному управлению рисками катастроф. Во встрече приняли участие ведущие представители профильных организаций и министерств Бразилии, Индии и Китая. От Российской Федерации в работе сессии принял участие координатор контактной точки БРИКС от России по приоритетному направлению «Предупреждение и ликвидация природных катастроф», директор Департамента НИиПР Г.Г. Гогоберидзе. Участники встречи представили текущее состояние по приоритетному направлению для каждой из стран БРИКС и подчеркнули, что с учетом географического расположения стран БРИКС и разнообразия вопросов по предупреждению и ликвидации природных катастроф создаваемые в рамках совместной деятельности научно-технологические продукты будут полезны практически для всех регионов мира. Особая важность при этом придается вопросу координации научно-технологического сотрудничества стран БРИКС. Участники встречи одобрили озвученную в Декларации БРИКС идею создания совместной научно-исследовательской и инновационной платформы для обеспечения основательного и скоординированного подхода внутри исследовательского сообщества стран БРИКС. По приоритетному направлению «Предупреждение и ликвидация природных катастроф» было согласовано на первом этапе координирование деятельности на площадке Технологической платформы «Технологии экологического развития», путем совместного рассмотрения проектных предложений от стран БРИКС с последующей разработкой совместных проектов и их представлением на рассмотрение рабочим группам по финансированию

совместных исследовательских проектов стран БРИКС, включая возможности Нового банка развития БРИКС. В ходе встречи подчеркивалась важность регулярных встреч должностных лиц стран БРИКС по приоритетному направлению «Предупреждение и ликвидация природных катастроф», которые должны носить характер представления наиболее интересных совместных планируемых и реализуемых проектов и проходить в рамках крупных конференций. Следующую встречу предложено провести на площадке международной конференции «Управление рисками в прибрежной зоне в условиях меняющегося мира», которая будет проходить в Санкт-Петербурге 22–27 августа 2016 г. Подводя итог встречи, участники отметили, что находятся в начале совместного интересного пути и оценили масштаб и важность предстоящей работы, выразили уверенность в необходимости и успешности совместного сотрудничества в рамках приоритетного направления «Предупреждение и ликвидация природных катастроф».

* * *

2–7 ноября преподаватели РГГМУ — А.А. Ершова, доцент кафедры экологии РГГМУ, и Л.А. Тимофеева, доцент кафедры гидрологии суши, приняли участие в тренинге для преподавателей институтов-членов Всемирной Метеорологической организации (ВМО), который проводился в Варшаве (Польша) на базе Института гидрологии и водного хозяйства. Тренинг стал заключительным этапом специального курса повышения квалификации преподавателей в области гидрометеорологии, который проводился ВМО с января по ноябрь 2015 г. (на англ. языке). По окончании курса преподавателям был выдан диплом международного образца.

* * *

6 ноября из Кронштадта вышло в научный рейс океанографическое исследовательское судно (ОИС) гидрографической службы Балтийского флота «Адмирал Владимирский». В рейсе принимают участие студенты Океанологического факультета РГГМУ Н. Нижельский, А. Соколов и Ю. Татаренко. Маршрут рейса пролегает через Атлантический океан, Средиземное море, Суэцкий канал, Красное море и Индийский океан к берегам Антарктиды с заходом на станцию Прогресс. Весной судно будет возвращаться в Кронштадт Атлантическим океаном. В ходе экспедиции будут выполняться дрейфовые и якорные океанографические станции с измерениями температуры, солености и скорости течений, а также метеорологические наблюдения. Студенты будут нести вахту вместе со штатными океанологами ОИС «Адмирал Владимирский» и сотрудниками ААНИИ и пройдут настоящую морскую производственную и научно-исследовательскую практику. Основная гидрографическая цель исследований — уточнение морских карт в трёх морях Южного океана — море Космонавтов, море Лазарева и море Содружества. Перед отходом ОИС состоялся митинг, в нем приняли участие Главный штурман ВМФ России контр-адмирал Эдуард Луйк, начальник управления навигации и океанографии Минобороны РФ капитан 1 ранга Сергей Травин, командир Ленинградской военно-морской базы контр-адмирал Игорь Смоляк. Членов экспедиции от РГГМУ провожали декан Океанологического факультета А.С. Аверкиев,

профессор В.Н. Воробьев, студенты 4-го курса и 1-го курса магистратуры Океанологического факультета. Материалы о ходе экспедиции будут размещаться на официальном сайте Русского географического общества. Материалы, заметки и фотографии от студентов будут размещаться на сайте РГГМУ. Руководство экспедиции планирует возвращение ОИС «Адмирал Владимирский» в Кронштадт 16 апреля 2016 г.

* * *

17–18 ноября сотрудники кафедры Промысловой океанологии и охраны природных вод (Т.Р. Ерёмина, Е.В. Волошук, А.В. Исаев) и кафедры Экологии РГГМУ (Г.Т. Фрумин, А.А. Ершова) приняли участие в ежегодном Форуме Трехстороннего сотрудничества по Финскому заливу (Россия – Финляндия – Эстония), проходившем в Таллине (Эстония). Основной темой Форума стало подведение научных итогов Года Финского залива — 2014. Сотрудниками РГГМУ было сделано несколько устных докладов, посвященных моделированию и оценке формирования биогенной нагрузки на Финский залив, оценке современного экологического состояния водной среды, а также оценке влияния недавно появившегося в заливе вида-вселенца (арктическая полихета) на структуру трофической цепи и экосистему в целом.

Хронику подготовили *К.Н. Антонова, М.Б. Шилин*

Список авторов

- Аверкиев Александр Сергеевич*, д.г.н., декан океанологического факультета РГГМУ
Алимов Андрей Алексеевич, к.и.н., доц., зав. каф. социально-гуманитарных наук РГГМУ
Аполинарлова Мария Михайловна, магистрант каф. комплексного управления прибрежными зонами, РГГМУ
Атаджанова Оксана Алишеровна, м.н.с., СПбФ Института океанологии им. П.П. Ширшова, РАН
Байков Евгений Александрович, д.воен.н., проф., Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
Барышников Николай Борисович, д.г.н., проф., РГГМУ
Бескид Павел Павлович, д.т.н., проф, зав. каф. информационных технологий и систем безопасности, РГГМУ
Биденко Сергей Иванович, д.т.н., проф., проректор Тверского государственного университета
Биненко Виктор Иванович, д.ф.-м.н., проф., в.н.с, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской АН
Быкова Елена Владимировна, д.фил.н., доц., Санкт-Петербургский государственный университет
Воробьев Владимир Николаевич, к.г.н., с.н.с, советник при ректорате РГГМУ
Глухов Ярослав Владимирович, аспирант, Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Фёдорова, Москва
Гордеева Светлана Михайловна, к.г.н., доц. каф. ПО и ОПВ РГГМУ
Догановский Аркадий Михайлович, д.г.н., проф., РГГМУ
Дрегваль Мария Станиславовна, аспирант каф. гидрометрии, РГГМУ
Дроздов Владимир Владимирович, к.г.н., доц. каф. экологии, РГГМУ
Дробашевская Екатерина Александровна, аспирантка, РГГМУ
Ерёмина Татьяна Рэмовна, к.ф.-м.н., доц., зав. каф. промышленной океанологии и охраны природных вод, РГГМУ
Ершова Александра Александровна, к.г.н., доц., каф. экологии РГГМУ
Заболотников Геннадий Валентинович, к.г.н., начальник управления научных и инновационных исследований РГГМУ
Заболотских Елизавета Валерьяновна, к.ф.-м.н., с.н.с., лаборатория спутниковой океанологии, РГГМУ
Зимин Алексей Вадимович, к.ф.-м.н., и.о. зав. лаб., СПбФ Института океанологии им. П.П. Ширшова, РАН
Истомин Евгений Петрович, д.т.н., проф., декан факультета информационных систем и геотехнологий, РГГМУ
Канухина Анна Юрьевна, к.ф.-м.н., доц. каф. метеорологических прогнозов РГГМУ
Карлин Лев Николаевич, д.ф.-м.н., проф. РГГМУ
Коваленко Виктор Васильевич, д.т.н., проф., зав. каф. гидрофизики и гидропрогнозов, РГГМУ
Конonenko Марина Ростиславовна, к.э.н., доц. каф. комплексного управления прибрежными зонами, РГГМУ
Ковалев Дмитрий Сергеевич, в.ин. отдела тематической обработки данных Центра космического мониторинга Арктики, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск
Кочеткова Екатерина Сергеевна, ассистент, РГГМУ
Кудрявцев Владимир Николаевич, д.ф.-м.н, проф., РГГМУ
Лазарева Елена Олеговна, аспирант, РГГМУ
Липовицкая Ирина Николаевна, к.г.н., проректор по развитию Санкт-Петербургского института гуманитарного образования
Малинин Валерий Николаевич, д.г.н., проф., РГГМУ
Михайлов Николай Борисович, соискатель Тверского государственного университета
Моисеев Артём Владимирович, в.ин. СПбФ Института океанологии им. П.П. Ширшова, РАН
Музалевский Анатолий Александрович, д.т.н., проф., РГГМУ
Мякишева Наталия Вячеславовна, д.г.н., проф., РГГМУ
Овсейко Павел Павлович, аспирант каф. гидрометрии, РГГМУ

Погорельцев Александр Иванович, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. метеорологических прогнозов, РГГМУ
Попова Елена Сергеевна, д.г.н., зав. каф. МКОА РГГМУ
Родионов Анатолий Александрович, д.т.н., проф., засл. деят. науки РФ, директор, СПбФ Института океанологии РАН
Романенков Дмитрий Анатольевич, к.г.н, и.о. зав. лаб. СПбФ Института океанологии им. П.П. Ширшова, РАН
Сердитова Наталья Евгеньевна, д.г.н., проф., ученый секретарь Тверского государственного университета
Смышляев Сергей Павлович, д.ф.-м.н., проф., РГГМУ
Соколов Александр Геннадьевич, к.воен.н., зав. каф. морских информационных систем, РГГМУ
Соколов Андрей Андреевич, магистрант океанологического факультета, РГГМУ
Субботина Елена Сергеевна, к.г.н., доц. каф. гидрометрии, РГГМУ
Тертышников Александр Васильевич, д.т.н., гл.н.с., Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Фёдорова, Москва
Травин Сергей Викторович, к.т.н. доц., начальник управления навигации и океанографии Минобороны РФ
Угрюмов Александр Иванович, д.г.н., проф., РГГМУ
Фрумин Григорий Тевелевич, д.х.н., проф., РГГМУ
Хаймина Ольга Владимировна, к.г.н., ст.преп., РГГМУ
Хренов Михаил Михайлович, соискатель Тверского государственного университета
Чукин Владимир Владимирович, к.ф.-м.н., доц., РГГМУ
Шапрон Бертран, д.н., проф., зав. лаб. космической океанографии IFREMER, Франция, научн. рук. лаб. спутниковой океанографии, РГГМУ
Шилин Михаил Борисович, д.г.н., проф., зав. каф. экологии, РГГМУ

Условия публикации в журнале «Учёные записки РГГМУ»

Порядок представления рукописей

- Объем статьи может составлять до 1,5 авторских листов (1 а.л. равен 40 тыс. знаков), в исключительных случаях по решению редколлегии — до 2 авторских листов.
- Рукопись должна быть представлена в напечатанном виде, а также в виде файла в формате MS Word.
- При наличии иллюстраций, они должны быть включены в текст статьи, а также представлены в отдельных графических файлах, поименованных таким образом, чтобы было понятно, к какой статье они принадлежат и каким по порядку рисунком статьи они являются.
- Вместе с рукописью автор должен представить:
 - подписанный Договор на право использования научного произведения в журнале «Учёные записки РГГМУ», издателем (учредителем) которого является ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ);
 - анкету(-ы) (сведения об Авторе (Соавторах)), для Автора и всех Соавторов;
 - справку с места учебы (для студентов и очных аспирантов).
- Материалы можно направлять:
 - почтой (заказным письмом или бандеролью) по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, Российский государственный гидрометеорологический университет, Редколлегия журнала «Учёные записки РГГМУ» (также необходимо представить электронную версию материала на электронном носителе информации (флэш-карте (USB), CD-диске и т.п.));
 - электронной почтой (e-mail): rio@rshu.ru.
- Все статьи, направляемые авторами для публикации в журналах, рецензируются согласно Положению о рецензировании научных статей в журнале «Учёные записки РГГМУ».

Требования к оформлению рукописей

- Инициалы и фамилии авторов, название, аннотация, ключевые слова — на русском и английском языках.
- Аннотация статьи объемом до 7 строк на русском и английском языках не должна содержать ссылок на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.
- Пронумерованный список литературы (в алфавитном порядке, сначала на русском, затем на иностранных языках) приводится в конце статьи с обязательным указанием следующих данных: для книг — фамилия и инициалы автора (редактора), название книги, место издания (город), год издания; для журнальных статей — фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер, выпуск, страницы (первая и последняя). Разрешается делать ссылки на электронные публикации и адреса Интернет с указанием всех данных.

- Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок.
- Библиографические ссылки даются в квадратных скобках в виде порядкового номера источника в библиографическом списке. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы, например: [13, с. 23].
- Сноски помещаются на соответствующей странице текста.
- Названия зарубежных компаний приводятся в тексте без кавычек и выделений латинскими буквами. После упоминания в тексте фамилий зарубежных ученых, руководителей компаний и т.д. на русском языке, в полукруглых скобках приводится написание имени и фамилии латинскими буквами, если за этим не следует ссылка на работу зарубежного автора.
- Рисунки и таблицы располагать по тексту в соответствии со ссылкой.
- Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и озаглавлены. Текст подписи рисунка помещается под рисунком, номер и название таблицы — над таблицей.
- Формулы создаются с помощью встроенного редактора формул (Math Type, Microsoft Equation).
- Авторская правка в верстке — компенсационная, до пяти буквенных исправлений на странице.

Рекомендации по форматированию для подачи рукописи в редакционно-издательский отдел

- Формат: А4 (21×29,7 см) книжный.
- Поля: верхнее, левое, правое — 1,5 см; нижнее — 2 см.
- Колонтитулы: от края до верхнего — 0 см; до нижнего — 0,5 см.
- Номер страницы: внизу по центру, шрифт Times New Roman, 14.
- Междустрочный интервал — одинарный.
- Абзацный отступ — 0,75 см.
- Выравнивание — по ширине.
- Шрифт — Times New Roman, 14 (основной текст); Times New Roman, 12 (табличный текст, подрисовочная подпись, библиографический список, сноски).
- В формулах русские буквы набирать прямым шрифтом, латинские — курсивным, греческие — прямым, тригонометрические функции (sin, cos и др.) — прямым.

Внимание!

Статьи, направленные в редакцию без выполнения требований настоящих условий публикации, не рассматриваются. В случае отклонения статьи Редколлегия журнала направляет Автору мотивированный отказ.

Научное издание

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 41

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редактор: О.С. Крайнова
Компьютерная верстка: Ю.И. Климов

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 23.12.15. Формат 70×100 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,3. Тираж 500 экз. Заказ № 457.
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
Отпечатано в ЦОП РГГМУ

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
