

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 33

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762



Санкт-Петербург
2014

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

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 33. Научно-теоретический журнал. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 182 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:

Л.Н. Карлин, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор РГГМУ, председатель;

Р.М. Вильфанд, д-р техн. наук, директор ГМНИЦ РФ; **А.И. Грабовский**, начальник Департамента Гос. Гидрометслужбы по СЗФО РФ; **Ю.В. Кулешов**, д-р физ.-мат. наук, проф., зам. Начальника Военно-инженерной академии им. Ф.М. Можайского; **В.А. Румянцев**, академик РАН, директор института Озероведения РАН; **М.П. Федоров**, академик РАН, научный руководитель программы НИУ СПб ГПУ; **И.Е. Фролов**, д-р техн. наук, профессор, директор ГНЦ ААНИИ; **Б. Шапрон**, д-р наук, ведущий ученый института морских исследований IFREMER (Франция).

Редакционная коллегия:

Главный редактор: **Л.Н. Карлин**, д-р физ.-мат. наук, проф.

Зам. главного редактора: **В.Н. Воробьев**, канд. геогр. наук.

Члены редколлегии: **Н.Б. Барышников**, д-р техн. наук, проф.; **Л.П. Бескид**, д-р техн. наук, проф.; **В.Н. Малинин**, д-р геогр. наук, проф.; **И.Г. Максимова**, отв. секретарь; **Н.П. Смирнов**, д-р геогр. наук, проф.; **А.И. Угрюмов**, д-р геогр. наук, проф.; **И.П. Фирова**, 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) 444-81-55

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2014
© Авторы публикаций, 2014

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 33

A theoretical research journal

Published since October, 2005
4 issues a year

ISSN 2074-2762



St. Petersburg
2014

UDA 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 33. — St. Petersburg: RSHU Publishers, 2014. — 182 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.

Editorial Board:

L.N. Karlin, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Rector of RSHU, Chairman;

R.M. Vilfand, Doctor of Technical Sciences, Director of Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation; **A.I. Grabovsky**, Head of the North-Western Department of Roshydromet; **U.V. Kuleshov**, Doctor of Physics and Mathematics, deputy Head of Military Space Academy named after F.M. Mozhaisky; **V.A. Rumyantsev**, member of the Academy of Sciences, Director of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Science; **M.P. Fedorov**, member of the Academy of Sciences, research advisor of National Research University of St. Petersburg State Polytechnical University; **I.E. Frolov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of State Research Center «Arctic and Antarctic Research Institute»; **B. Chapron**, Doctor, Leading scientist of Institute for Marine Research IFREMER (France).

The Editorial Board:

Editor in Chief: **L.N. Karlin**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor.

Deputy Editor in Chief: **V.N. Vorobyev**, PhD. of Geographical Sciences.

Members of the Editorial Board: **N.B. Baryshnikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **P.P. Beskid**, Doctor of Engineering, Professor; **V.N. Malinin**, Doctor of Geographical Sciences, Professor; **I.G. Maximova**, executive secretary; **N.P. Smirnov**, Doctor of Geographical Sciences, Professor; **A.I. Ugryumov**, Doctor of Geographical Sciences, Professor; **I.P. Firova**, 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.: +7 812 444-81-55

© Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 2014

© Authors of publications, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Гидрология

<i>Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Овсейко П.П., Иванов В.А.</i> Пойменная составляющая максимальных расходов воды	7
<i>Германов И.В.</i> Расчет толщины ледяного покрова рек севера етр на основе метеорологических данных.	17
<i>Голованова Е.Ю.</i> Статистические характеристики рядов многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов (на примере России)	24
<i>Карпечко Ю.В., Мясникова Н.А.</i> Оценка изменения элементов водного баланса в первый год после рубок в таежной зоне Европейского Севера России	31
<i>Коваленко В.В., Гайдукова Е.В.</i> Чувствительность нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах к погрешностям определения составляющих уравнения водного баланса.	45

Метеорология

<i>Васильев В.А., Дергачева Т.С.</i> Количественная оценка возникновения и развития низовых пожаров на полигоне токсичных отходов в Ленинградской области	51
<i>Воинов Н.Е., Кузнецов А.Д., Симакина Т.Е., Сероухова О.С.</i> Текстуальный анализ спутниковых изображений мезомасштабной облачности	61
<i>Григорьев Н.О., Восканян К.Л., Караваева М.С.</i> О соотношении чувствительности и тепловой инерции различных видов термометров	69
<i>Драбенко В.А.</i> Использование оптических связей для разработки интегральных методов лидарного зондирования атмосферы	77

Экология

<i>Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю.</i> Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды	84
<i>Дмитриев В.В.</i> Современное экологическое состояние водных объектов карельского Приладожья и его сравнение с ретроспективными данными.	102
<i>Тимошенко Л.Н.</i> Экологически допустимые уровни содержания химических веществ в водных объектах Вологодской области	119

Экономика

<i>Новиков А.В.</i> Ментальные предпосылки хозяйственной деятельности в российском обществе	126
<i>Петрова Е.Е., Сисина Н.Н.</i> Экономический анализ как основа оптимизации учета и регулирования природоохранной деятельности хозяйствующих субъектов.	131
<i>Цховребов Э.С., Лебин А.Н., Церенова М.П., Яйли Е.А.</i> Экономические и правовые вопросы оценки экологического ущерба (вреда)	137
<i>Звездова А.Б., Туровская М.С.</i> Эффективность инновационной образовательной деятельности: подходы и оценка	143

Информационные технологии

<i>Фомин В.В., Петров Е.В.</i> Организация параллельной обработки при реализации web-системы интеллектуального анализа данных	149
<i>Чернецова Е.А., Шишкин А.Д.</i> Классификация пространственно-распределенных объектов на основе использования последовательной выборки измерений.	155
<i>Попов Н.Н.</i> Методы сопряжения эмпирических измерений и данных дистанционного зондирования при разработке геоинформационной системы прогнозирования гидрофизических характеристик мелкого моря	163

Социально-гуманитарные науки

<i>Лазарь М.Г.</i> Социальная мобильность ученых и студентов, ее формы и актуальные проблемы	168
--	-----

Список авторов	177
Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала	179

CONTENTS

Hydrology

<i>Baryshnikov N.B., Subbotina E.S., Ovseyko P.P., Ivanov V.A.</i> A floodplain component of the maximum water discharges	7
<i>Germanov I.V.</i> Calculation of the ice thickness for rivers of the northern part of European Russia based on meteorological data	17
<i>Golovanova E.Yu.</i> Statistical characteristics of long-term changes in the total series watersupplies river basins (for example, Russia)	24
<i>Karpechko Yu.V., Myasnikova N.A.</i> Estimation of water balance terms changes during the first year after logging in the taiga zone of the northern european Russia	31
<i>Kovalenko V.V., Gaidukova E.V.</i> Sensitivity standards long-term changes of total water stock in the river basins to errors in determining the components of the water balance equation	45

Meteorology

<i>Vasilyev V.A., Dergacheva T.S.</i> Quantitative assessment of occurrence and expansion of creeping fires on the toxic waste landfill in the Leningradsкая oblast.	51
<i>Voinov N.E., Kuznetsov A.D., Simakina T.E., Serouhova O.S.</i> Textural analysis of satellite images of the mesoscale overcast.	61
<i>Grigorov N.O., Voskanyan K.L., Karavaeva M.S.</i> Sensibility and heat inertia relationship for several kinds of thermometers.	69
<i>Drabenko V.A.</i> Using optical relationships for development of integral methods of atmosphere lidar probing	77

Ecology

<i>Barmasov A.V., Barmasova A.M., Yakovleva T.Yu.</i> The biosphere and the physical factors. Light pollution of the environment.	84
<i>Dmitriev V.V.</i> Modern ecological state of water objects of Ladoga Karelia and its comparison with retrospective data	102
<i>Timoshenko L.N.</i> Ecologically acceptable levels of chemical substances in water objects of the Vologda region	119

Economics

<i>Novikov A.V.</i> Mental prerequisites of economic activities in the russian society.	126
<i>Petrova E.E., Sisina N.N.</i> Economic analysis as a basis of accounting and optimization of environmental regulation activity of economic entities	131
<i>Tshovrebov E.S., Lebin A.N., Tserenova M.P., Yally E.A.</i> Economic and legal questions of the estimation of the ecological damage (harm).	137
<i>Zvezdova A.B., Turovskaya M.S.</i> Efficiency innovative educational activity: approaches and evaluation ..	143

Information technologies

<i>Fomin V.V., Petrov E.V.</i> Organization of parallel processing for implementation of web data mining system. .	149
<i>Chernetsova E.A., Shishkin A.D.</i> Space-distributed object classification via successive sample measurement using.	155
<i>Popov N.N.</i> The coupling of empirical measurements and remote sensing data for design of GIS forecasting system of hydro-physical characteristics of shallow water	163

Social science and humanities

<i>Lazar M.G.</i> Social mobility of scientists and students, its forms and actual problems	168
---	-----

Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, П.П. Овсейко, В.А. Иванов

ПОЙМЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, P.P. Ovseyko, V.A. Ivanov

A FLOODPLAIN COMPONENT OF THE MAXIMUM WATER DISCHARGES

На основе натурных данных выполнена оценка доли пойменной составляющей в максимальных расходах воды. Установлена её зависимость от морфометрических характеристик русел и пойм, эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков и гидравлических сопротивлений пойм. Выявлено воздействие прирусловых валов на гидравлику пойменных потоков и пропускную способность русел и пойм.

Ключевые слова: русло, пойма, эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков, доля пойменной составляющей, ширина, глубина, водоворотная зона, зависимость, гидравлика потока, прирусловые валы.

Assessment of contribution of a floodplain component of the maximum water discharges was performed based on field experiment data. Its dependence of the river channel and floodplain morphometric characteristics, interaction between the riverbed and floodplain flows, and floodplain hydraulic resistance was found. Impact of the river levees on hydraulic patterns of floodplain flow and discharge capacity of riverbeds and floodplains was revealed.

Key words: riverbed, floodplain, effect of interaction of riverbed and floodplain flows, contribution of a floodplain component, river width, river depth, eddy current zone, dependence, stream hydraulic, river levees.

Усилившаяся циклоническая деятельность, обусловленная наметившимся изменением климата, явилась причиной резкого увеличения максимальных расходов воды и, как следствие, катастрофических наводнений, нанесших огромный экономический ущерб как в различных регионах России, так и в других государствах. Эти наводнения в сочетании с халатностью чиновников приводили не только к большим экономическим ущербам, но и уносили человеческие жизни, как это было, например, в г. Крымске.

К сожалению, измерения катастрофических и близких к ним расходов воды, особенно на пойменных гидростворах, как правило, не производились. Особенно остро при этом стоит вопрос измерений пойменной составляющей расходов воды, что обусловлено скоротечностью прохождения экстремальных расходов воды, требованиями техники безопасности, устаревшими методами и аппаратурой, применяемых на сети Росгидромета, недостаточной квалификацией персонала, а также большой шириной пойм. Исключением, пожалуй, являются измерения максимальных расходов воды на

р. Амур у городов Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре с помощью профилографа на гидростворах, расположенных у мостовых переходов, где пойма была перекрыта сплошной дамбой, а весь поток сосредоточен в основном подмостовом русле. Измеренные расходы воды соответственно составляли 46,0 и 42,0 тысячи м³/с. Аналогичные измерения начали производить в последнее пятилетие на станциях нескольких УГМС (Северном, Дальневосточном и др.), которые были оборудованы современными приборами и оборудованием. Однако эти измерения, к сожалению, являются исключением, а не правилом. Поэтому перейдём к анализу сведений о пойменной составляющей, используя в основном материалы натурных измерений в доперестроичный период, когда качество натурной информации, можно считать, вполне соответствовало требованиям к ней.

Следует отметить, что Д.Е. Скородумов [10] считал, что даже, если погрешность измерений и расчётов пойменной составляющей составляет 40 %, а её доля в максимальном расходе воды 50 %, то это составит погрешность общего расхода воды всего в 20 %. С этим нельзя согласиться, так как и русловая составляющая этого расхода в паводочный период измеряется с погрешностью, как правило, превышающей 10 %. Следовательно, сумма этих погрешностей будет существенно больше допустимой.

Таким образом, всё это свидетельствует о необходимости совершенствования методики не только измерений, но и расчётов пойменной составляющей максимальных расходов воды. При этом осложняющим фактором является влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков. Действительно, как показал анализ лабораторных данных [1, 2, 3 и др.], ускоряющее воздействие руслового потока на пойменный осуществляется на расстоянии в 5–6 ширин руслового потока. Это приводит к тому, что при использовании методов расчётов, основанных на теории равномерного движения, т.е. на формулах Шези-Павловского, Шези-Маннинга или других [7, 8] аналогичных им формулах, получаются значительно заниженные величины расходов воды пойменной составляющей. Более того, расчёт коэффициентов шероховатости на основе натурных данных и приведённых выше формул, приводит к их существенно заниженным значениям (до 0,014–0,016). Однако, как показали исследования, проведённые в РГГМУ [4, 5 и др.], ширина, ускоряющего воздействия руслового потока на пойменный, на конкретных реках существенно меньше. Это в первую очередь обусловлено влиянием прирусловых валов и шероховатости пойм. Действительно, последняя существенно отличается от шероховатости лабораторных моделей, на которых пойма, как правило, выполняется из бетона, т.е. по существу является гладкой, да и прирусловые валы на моделях, как правило, отсутствовали. В то же время роль воздействия последних как на эффект взаимодействия русловых и пойменных потоков, так и на скоростные поля последних, достаточно велика. Всё это приводит к значительному сокращению ширины зоны ускоряющего воздействия руслового потока на пойменный, ограничивая её значение в одну — четыре ширины руслового потока [2, 4, 6].

Рассмотрим более детально воздействие прирусловых валов на скоростные поля руслового и пойменного потоков. Так, в РГГМУ был выполнен детальный анализ этой проблемы и установлено, что прирусловые валы существенно ограничивают величину воздействия руслового потока на пойменный. Действительно, высокие, сильно заросшие растительностью, особенно деревьями, прирусловые валы как бы разделяют руслопойменный поток на два практически самостоятельные потока — русловой и

пойменный [9]. В качестве примера можно привести р. Лугу у пос. Толмачёво, где в 1977 г. прошёл близкий к катастрофическому максимальный расход воды (рис. 1).

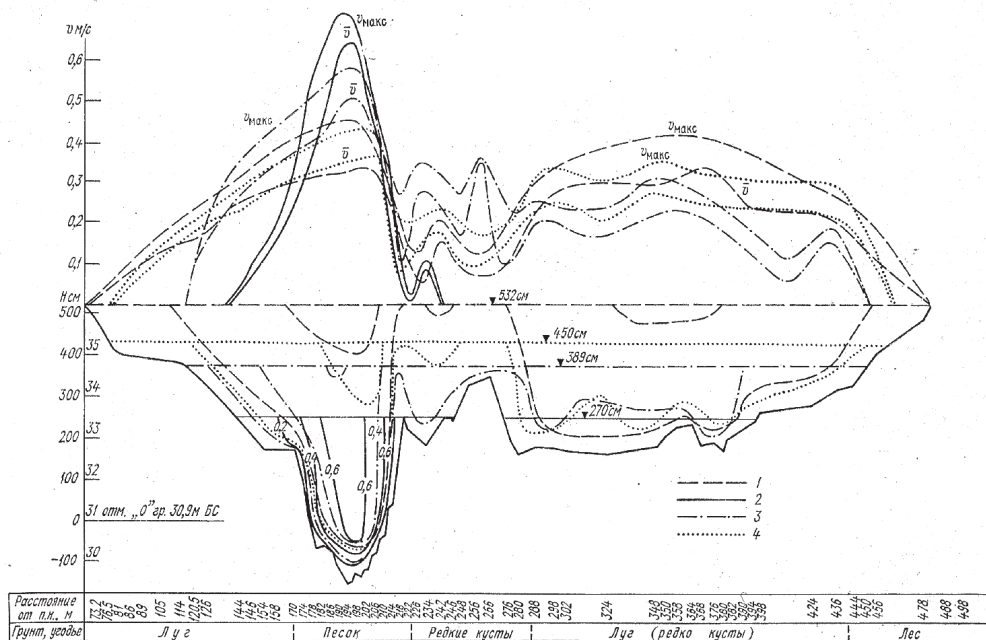


Рис. 1. Профиль поперечного сечения с изотопами и кривыми распределения средних и максимальных на вертикалях скоростей по ширине гидровтора р. Луги — пос. Толмачёво.

Данные измерений 1977 г. при уровнях: 1 — 532 см; 2 — 450 см; 3 — 389 см; 4 — 270 см.

При этом расходе средние и максимальные скорости, а также наибольшие скорости на скоростных вертикалях пойменной и русловой составляющих практически сравнялись (см. таблицу).

Сведения о максимальных и наибольших из средних на вертикалях скоростей р. Луги у пос. Толмачево в 1977 г.

Расчетный уровень, см	Скорость потока в русле		Скорость потока на пойме	
	максимальная	наибольшая из средних на вертикали	максимальная	наибольшая из средних на вертикали
270	0,72	0,65	-	-
389	0,58	0,51	0,32	0,24
450	0,44	0,37	0,36	0,28
532	0,45	0,34	0,42	0,34

Как видно в таблице, при малых глубинах затопления ($H = 389$ см) максимальные скорости руслового потока (0,58 м/с) почти в два раза превышают аналогичные

в пойменном потоке, т.е. эти потоки весьма существенно отличаются друг от друга. Однако при наибольших глубинах затопления поймы ($H = 532$ см) эти скорости почти сравнялись (0,45 и 0,42 м/с — соответственно). Более того, наибольшие из средних на скоростных вертикалях стали равными (0,34 м/с) как в русловой, так и в пойменной составляющих потока. Это является явным доказательством самостоятельности пойменного потока и подтверждает формирование двух практически одинаковых руслового и пойменного потоков.

В то же время на той же реке Луге, но у д. Воронино, где имеется чётко выраженный прирусловой вал, высотой примерно равный 0,8 м, ускоряющее воздействие руслового потока на пойменный незначительно. Как видно на рис. 2, несмотря на то что уровень воды увеличился на 28 см и скорости русловой части потока существенно увеличились от 0,42 до 0,65 м/с, ускоряющего влияния руслового потока на пойменный не обнаружено.

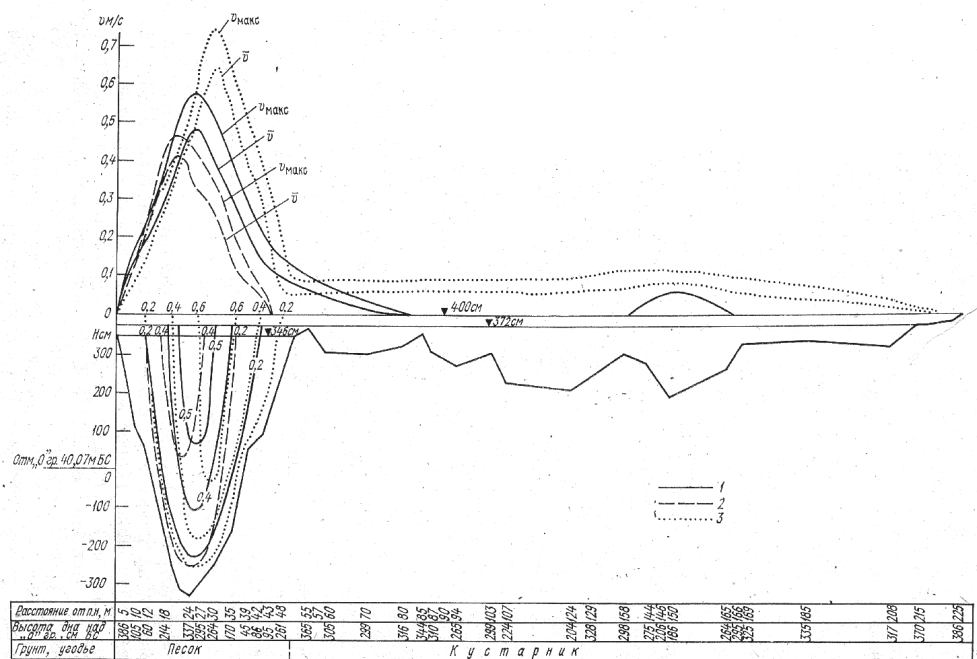


Рис. 2. Профиль поперечного сечения с изобатами и кривыми распределения средних на вертикалях скоростей по ширине гидроствора р. Луги — д. Воронино.
Данные измерений 1966 г. при уровнях: 1 — 372 см; 2 — 346 см; 3 — 400 см.

По-видимому, большое влияние на эти процессы так же оказывает тип руслового процесса и особенности морфологического строения участка расположения гидроствора. С учётом этих замечаний перейдём к рассмотрению оценки доли пойменной составляющей в общем максимальном или близком к нему расходе воды. Наиболее детальные исследования в этом направлении были проведены в РГГМУ в конце

прошлого столетия [3 и др.]. В их основу были положены данные измерений 56 максимальных расходов воды на пойменных створах, расположенных на территории бывшего Советского Союза, выполненных в конце прошлого века, когда точность измерений соответствовала предъявляемым к ней требованиям.

Следует отметить, что относительная величина пойменной составляющей $Q_n/(Q_p + Q_n)$ максимальных расходов воды зависит от достаточно большого количества факторов, основными из которых являются: глубина затопления поймы, её ширина и шероховатость, определяющая сопротивление движению пойменного потока, её строение, находящееся в зависимости от типа поймы и, в конечном итоге, от типа руслового процесса и других факторов. Однако учесть влияние всех этих факторов в корреляционных зависимостях не представляется возможным. Поэтому было избрано два направления исследований. Первое — построение и анализ кривых зависимостей вида: $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(h_p/h_{p,6}, B_n/B_p)$ или $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(H', B_n/B_p)$. Здесь H' — уровень воды над бровкой прируслового вала; Q , h , B и n — соответственно расход воды, площадь поперечного сечения, ширина и коэффициент шероховатости; индексы «п» и «р» означают, что параметры относятся к пойменной или русловой составляющим.

В литературе имеются лишь отрывочные сведения о доле пойменной составляющей в общем паводочном стоке рек бывшего СССР, но только в работе одного из авторов по данным наблюдений на 56 постах сети Росгидромета выполнен анализ этой величины [4, 5]. В основу анализа были положены кривые зависимостей отношений расходов воды пойменной составляющей к полному расходу воды $Q_n/(Q_p + Q_n)$ от уровней воды (H'), отсчитываемых от бровки прирусловых валов и от относительных глубин в русле ($h_p/h_{p,6}$) (рис. 3). Результаты анализа позволили выделить четыре группы кривых, три из которых обоснованы данными наблюдений на сети Росгидромета, а четвертая — данными специальных исследований. Последующий анализ, основанный на данных наблюдений еще на 50 постах Росгидромета, подтвердив правильность выделения четырех групп кривых, несколько уточнил полученные ранее выводы.

К первой группе кривых, характеризующихся замедленным ростом доли пойменного расхода воды, как правило, относятся большие (Амур, Обь и др.) и средние реки с хорошо разработанным руслом. Оси руслового и пойменного потоков у этих рек либо параллельны, либо пересекаются под небольшими углами. Течение на пойме слабое, его наибольшие скорости не превышают 0,5–0,6 м/с. Типичным примером является р. Амур у с. Кумара, где при глубинах затопления поймы в 2 м, соответствующих максимальному расходу воды, близкому к 2 %-ной обеспеченности, доля пойменного расхода достигает только 1,4 %. Даже на р. Оби у г. Нефтеюганска, где ширина поймы и пойменных проток около 28 км, а ширина основного русла и протоки Юганская Обь 1866 м, через пойму и протоки, по данным И.В. Попова [9], проходит только 3500 м³/с (14,2 %), а через основное русло и Юганскую Обь — 21 200 м³/с (85,8 %).

Ко второй группе относятся средние и малые реки, имеющие широкую пойму ($B_n/B_p \geq 6-12$; на р. Сож это значение достигает 20, на р. Крыловке — 30, а на р. Нестеровке — 39). Эти значения следует считать значительными, если учесть, что Наставлением [7] рекомендуется выбирать участки для расположения гидрологических постов либо без поймы, либо с поймой минимальной ширины. На реках этой группы оси руслового и пойменного потоков, как правило, пересекаются под большими

углами, в пределе достигающими 50–60°, что приводит к появлению четко выраженного кинематического эффекта в руслах с поймами. Кривые второй группы рек отличаются резким увеличением доли пойменной составляющей с ростом уровней (примерно до 50 % общего расхода), затем это приращение несколько замедляется и кривые $Q_{п}/(Q_{р} + Q_{п}) = f(H)$ асимптотически приближаются к предельному значению $Q_{п}/(Q_{р} + Q_{п})$ равному 75–86 %. Так, для р. Сож у г. Славгорода это значение равно 86 %, а для р. Ветлуги у с. Быстри — 80 %. Особенно интересны данные по р. Сож, где доля пойменной составляющей в интервале уровней 190–320 см остается постоянной, равной 86,0 %. Аналогичные данные получены и для ряда других рек (р. Друть у с. Городище 75,5 % и др.). По-видимому, дальнейшая экстраполяция не изменит это значение, являющееся предельным. К такому же предельному значению «стремятся» кривые $Q_{п}/(Q_{р} + Q_{п}) = f(H)$ большинства других рек второй группы (р. Ветлуга — с. Быстри, р. Пьяна — с. Камкино).

Третья группа занимает промежуточное положение между первой и второй. Примером кривых этой группы являются кривые для р. Ветлуги у пос. Дубники и р. Мокши. Ход этих кривых характеризуется слабой, но значительно большей, чем у первой группы, интенсивностью роста доли пойменной составляющей с повышением уровня. Так, на р. Ветлуге у пос. Дубники наблюдался равномерный рост доли пойменной составляющей. Однако при уровне 190 см над отметкой бровки его значение достигло лишь 38 %.

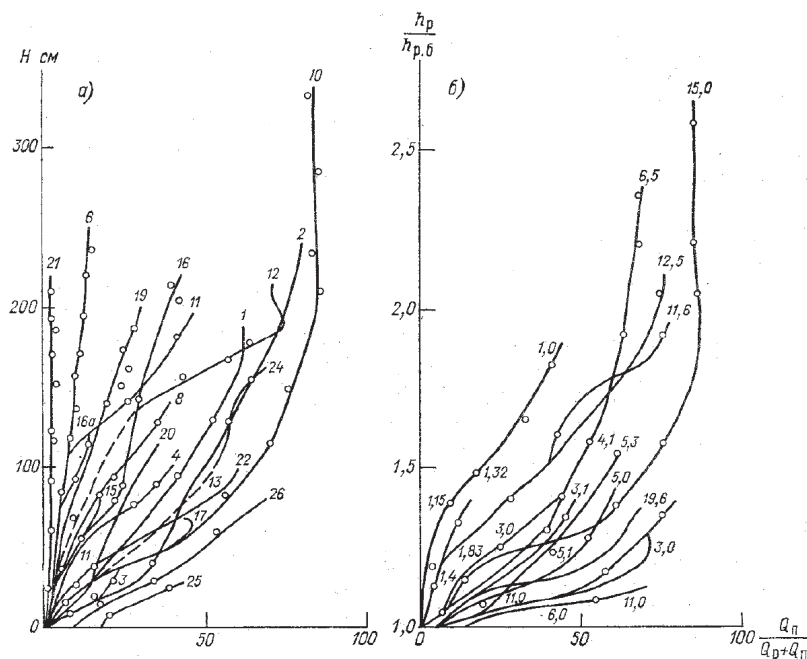


Рис. 3 Зависимости $Q_{п}/(Q_{р} + Q_{п}) = f(H)$ (а) и $Q_{п}/(Q_{р} + Q_{п}) = f(h_{п}/h_{п.б})$ (б):

6, 21 — первая группа рек; 1–4, 8, 10, 12, 13, 17, 20, 22, 25, 26 — вторая; 5, 7, 9, 11, 14–16, 18, 19, 23, 24 — третья; около кривых приведена относительная ширина поймы $B_{п}/B_{р}$.

Целесообразно выделить и четвертый тип кривых. На рис. 3 он не представлен, так как не является характерным для участков расположения гидрологических постов. Четвертый тип кривых характерен для пойменного массива свободного меандрирования, когда последний оконтуривается одной или несколькими излучинами. При этом оси руслового и пойменного потоков при затоплении массива могут пересекаться под очень большими углами ($\alpha \geq 60^\circ$). На подобном участке р. Сож в 1970–1971 гг. Институтом водных проблем Белоруссии и ГГИ были проведены специальные работы по изучению взаимодействия руслового и пойменного потоков. В створе измерения оси этих потоков пересекались под углом 135° . При измерениях в русле были зафиксированы скорости обратного направления при пересечении руслового потока пойменным. Близкие результаты получены Д.Е. Скородумовым на одном из створов р. Луги, где оси руслового и пойменного потоков пересекались под углом $\alpha = 90^\circ$ [10]. При увеличении уровней и мощности пойменного потока скорости руслового резко уменьшались и при больших наполнениях поймы были равны нулю, что объясняется образованием в русле водоворотной зоны, размеры которой увеличиваются с увеличением уровней [4, 5 и др.].

К сожалению, не все данные являются равно обеспеченными, поэтому могут быть использованы только как ориентировочные. Как вытекает из анализа имеющихся материалов и литературных источников, с ростом уровней воды доля пойменной составляющей возрастает. Для большинства рек второй и четвертой групп при максимальных расходах 1, 0,33 и тем более 0,1 %-ной обеспеченности следует ожидать, что она составит значение, близкое к 100 % ($> 80\%$) общего расхода воды.

Кривые зависимости $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(h_p/h_{p,6})$ (рис. 3) в целом подтверждают выводы, основанные на анализе зависимости $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(H')$. В то же время их взаимное расположение более четко определяется влиянием относительной ширины поймы (B_n/B_p). Для конкретизации этого вопроса нами были построены графики зависимости $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(B_n/B_p)$ при постоянном значении глубин ($h_p/h_{p,6}$) (рис. 4).

Методика построения следующая. По кривым $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(h_p/h_{p,6})$ (рис. 4б) определялись значения относительной пропускной способности пойм $Q_n/(Q_p + Q_n)$ для значений $h_p/h_{p,6} = 1,1; 1,2; 1,3$ и $1,4$. Ограничение значением $h_p/h_{p,6} = 1,4$ обусловлено резким сокращением количества исходной информации, необходимой для построения расчетных зависимостей при дальнейшем росте глубин.

Для указанных значений глубин по таблицам исходных данных были определены значения ширин пойм B_n/B_p , а затем построены соответствующие зависимости $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(B_n/B_p)$ для каждого из указанных значений $h_p/h_{p,6}$. Как видно на рис. 4, зависимости довольно четкие ($\eta = 0,69–0,80$, а $\sigma = 20,5–30,3\%$), но отмечается существенное отклонение от расчетной кривой данных по р. Пра у пос. Деулино, что объясняется наличием на пойме реки значительных бессточных водоемов. Попытка получить зависимость пропускной способности поймы $Q_n/(Q_p + Q_n)$ от ее гидравлического сопротивления ($n_n/n_{p,6}$ или n_n) не достигла успеха, хотя качественно такое влияние прослеживается. По-видимому, необходимо искать другие способы учета влияния сопротивления поймы на величину ее относительной пропускной способности.

Дополнительный анализ исходных данных показал, что доля пойменной составляющей также зависит от угла α . Это вытекает из деления кривых зависимости

$Q_n/(Q_p+Q_n)=f(h_p/h_{p,6})$ на четыре группы. Действительно, одним из признаков деления указанных кривых на группы является значение угла α . Так, к первой группе отнесены кривые для рек, где значения α малы ($\alpha < 15^\circ$), ко второй, наоборот, реки, где значения α могут достигать $40-60^\circ$. К четвертой группе относятся реки с углами $\alpha > 60^\circ$, где в местах пересечения руслового и пойменного потоков формируется мощная водоворотная область. Третья группа занимает промежуточное положение между первой и второй.

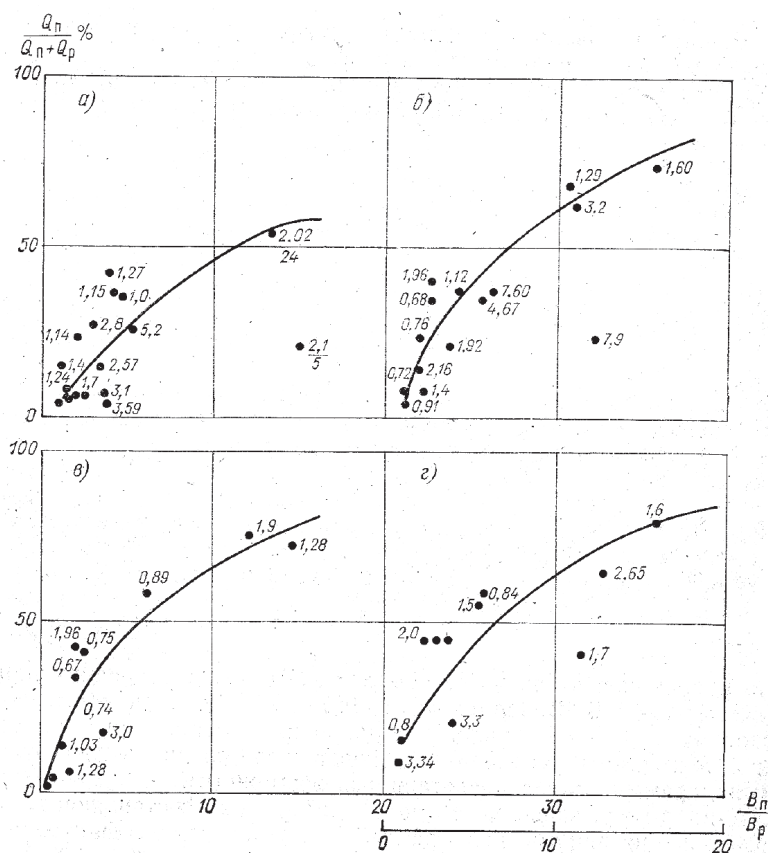


Рис. 4. Зависимости $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(B_n/B_p)$ при постоянных значениях относительных глубин. а — $h_p/h_{p,6} = 1,1$; б — $h_p/h_{p,6} = 1,2$; в — $h_p/h_{p,6} = 1,3$; г — $h_p/h_{p,6} = 1,4$. Около точек приведены значения n_n/n_p .

Как указывалось, зависимость доли пойменной составляющей от определяющих параметров весьма сложная, многофакторная. В общем виде она может быть записана: $Q_n/(Q_p + Q_n) = f(h_p/h_{p,6}, B_n/B_p, \alpha, n_n/n_p)$. Однако низкая точность и малое количество исходной информации затрудняют количественную оценку влияния каждого из определяющих факторов. В настоящее время можно лишь с уверенностью утверждать, что основными из них являются: относительная глубина потока, хорошо отражающая влияние глубины вреза русла относительно поймы и мощность руслового

потока, относительная ширина поймы и угол между динамическими осями руслового и пойменного потоков.

Исходя из этого, графические зависимости (рис. 3 и 4) могут быть рекомендованы для ориентировочных расчетов доли пойменной составляющей в максимальных расходах воды на участках русел с поймами, если их гидравлические сопротивления (n_p и n_n) не выходят за пределы значений, которые встречались в исходных материалах, использованных при построении расчетных зависимостей. В соответствии со вторым направлением были получены графические зависимости вида: $Q_n/(Q_p + Q_n) = f[F_n/(F_p + F_n) \cdot n_n/n_p]$.

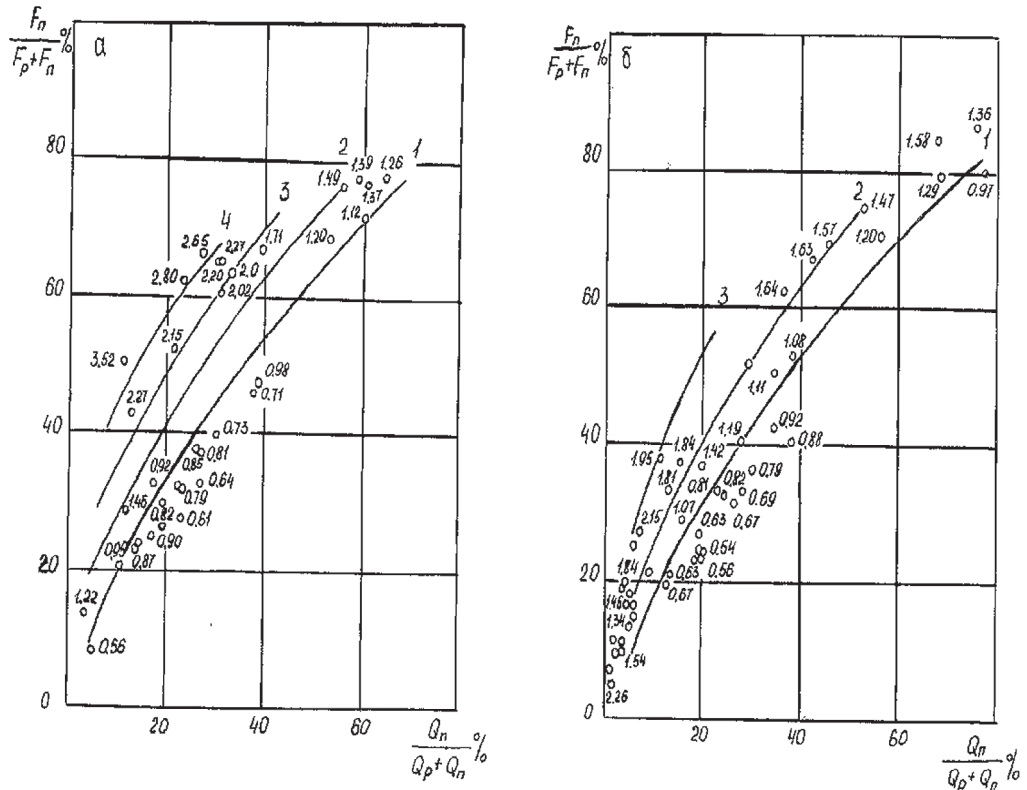


Рис. 5. Кривые $Q_n/(Q_p + Q_n) = f[F_n/(F_p + F_n) \cdot n_n/n_p]$ (по С.Л. Галактионову).

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 — $n_n/n_p = 2,5$.

Как видно на рис. 5, зависимости четко выражены. Контрольные расчеты, проведенные на независимой информации, доказали их эффективность при средней погрешности расчетов, несколько большей 20 %.

Полученные корреляционные зависимости позволяют в первом приближении оценить долю пойменной составляющей в общем максимальном расходе воды. К сожалению, рекомендуемые методики не исключают субъективизма при получении

результатов при использовании полученных зависимостей, тем более, расчётных. Для их совершенствования необходим дополнительный банк данных о русловой и пойменной составляющих максимальных расходов воды и особенно катастрофических, совместно со сведениями о морфометрических характеристиках расчётных участков.

Выполненный анализ и расчёты позволяют сделать следующие выводы и предложения:

- доля пойменной составляющей в максимальных расходах воды, проходящих на равнинных реках по затопленным поймам, может достигать 100 % величины максимального расхода воды при углах пересечения взаимодействующих потоков $\alpha \geq 90^\circ$;
- величина этой доли зависит от величины эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков;
- факторами, ослабляющими влияние этого эффекта, являются высота и степень зарастания прирусловых валов и высокая шероховатость поймы;
- высокие, заросшие мощной, особенно древесной растительностью, прирусловые валы подразделяют единый руслопойменный поток на два, практически слабо зависящих друг от друга, русловой и пойменный потоков;
- при гладкой пойме русловой поток оказывает убыстряющее воздействие на пойменный, на участке поймы шириной, ограниченной 5–6 ширинами руслового потока;
- в натуральных условиях ширина участка поймы, на котором осуществляется воздействие руслового потока, ограничена одной–четырьмя ширинами руслового потока;
- пойменный поток оказывает значительно большее тормозящее или ускоряющее воздействие на русловой, чем русловой поток на пойменный.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. — СПб.: РГГМУ, 2007. — 314 с.
2. *Барышников Н.Б.* Морфометрические характеристики русел и пойм. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 13, с. 13–16.
3. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С., Скоморохова Е.М., Поташко Е.А.* Коэффициенты шероховатости пойм. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 23, с. 13–20.
4. *Барышников Н.Б.* Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 426 с.
5. *Барышников Н.Б., Субботина Е.С.* Роль прирусловых валов в формировании полей скоростей руслопойменных потоков. // Метеорология и гидрология, 2013, с. 91–96.
6. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 310 с.
7. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам*, вып. 6, ч. 1. 3-е изд. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 384 с.
8. *Пагин А.О., Селина Т.С., Тимофеева О.Д.* Экспериментальные исследования влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт наносов. // Ученые записки РГГМУ, 2007, № 5, с. 111–118.
9. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 363 с.
10. *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.

И.В. Германов

**РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА РЕК СЕВЕРА ЕТР НА
ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

I.V. Germanov

**CALCULATION OF THE ICE THICKNESS FOR RIVERS OF THE NORTHERN
PART OF EUROPEAN RUSSIA BASED ON METEOROLOGICAL DATA**

Ледяной покров — это результат сложных физических процессов и до сих пор нет метода расчета, учитывающего всех факторов, влияющих на его толщину. При отсутствии данных гидрометрических измерений, толщина льда на реках должна быть оценена. В работе рассмотрен метод расчета толщины льда, основанный на уравнении Стефана.

Ключевые слова: толщина льда, уравнение Стефана, затор, ледоход, температура воздуха, AFDD.

Ice covers result from complex physical processes, there is not yet a method to account for all factors affecting thickness. Given the lack of hydrometric data, ice thickness must be estimated. This report presents a method to calculate ice thickness on the basis of the equation Stephen.

Key words: ice thickness, equation Stephen, ice jam, ice run, air temperature, AFDD.

Вопросы, рассмотренные в работе, нашли практическое применение в диссертационном исследовании автора в области расчетов максимальных заторных уровней воды неизученных рек Севера ЕТР.

Понимание физических процессов, протекающих в речном потоке, несущем ледяной материал, позволяет прогнозировать характер ледохода, его сроки и уровни воды, разрабатывать инженерные решения, позволяющие предотвращать наводнения, вызванные ледовыми явлениями. Затопы льда, являясь основным негативным последствием ледохода, представляют собой скопления льда в русле, стесняющее живое сечение и вызывающие подъем уровня воды в месте его скопления и на некотором участке выше, ведущим иногда к значительным затоплениям территории. Причиной возникновения затопов является неодновременность вскрытия по длине реки и затруднения в транспортировке ледяных включений. Одной из основных причин неодновременности вскрытия больших и средних рек является то, что они пересекают несколько климатических зон, т.к. температурный режим (начало весеннего вскрытия) изменяется по длине реки. А так как большинство рек Севера ЕТР течет с юга на север, это усугубляет процессы заторообразования. Затруднения в транспортировке льда связаны с морфометрическими условиями реки: острова, излуины, сужения, резкий перелом продольного профиля, инженерные сооружения. Таким образом, к числу главных факторов, влияющих на образование и мощность затора, относятся: толщина, прочность и количество льда, морфометрия русла, скорость течения реки,

интенсивность притока воды, температурные условия. Неблагоприятное сочетание данных факторов ведет к возникновению угрозы наводнения или необратимых деформации инженерных сооружений [4].

Расчет толщины ледяного покрова рек — весьма актуальный вид расчетов, потребность в которых в последнее время существенно возросла. Это связано с проектированием автомобильных и железнодорожных дорог, мостовых переходов, дамб, плотин, шлюзов, причалов, водозаборов, защиты прибрежной и береговой линии, а также в связи с освоением северных и восточных районов страны, где автозимники во многих местах являются важнейшими транспортными путями. Заинтересованы в таких расчетах организации, осуществляющие прокладку газо- нефтепроводов и другие работы в русле со льда [1].

Толщина ледяного покрова на реках зависит от комплекса гидрометеорологических условий, которые определяют теплообмен через верхнюю и нижнюю поверхности льда с внешней средой. Наиболее существенное влияние на толщину льда оказывают элементы метеорологического режима — температура воздуха, количество осадков, скорость ветра и такие гидрологические элементы, как скорость течения воды, глубина реки, интенсивность притока подземных вод [4].

Разработкой методов расчета толщины ледяного покрова занимались многие исследователи: Я.Л. Готлиб (1983), Л.Г. Шуляковский (1960, 1969, 1972), В.В. Пиотрович (1968, 1969, 1970), Р.В. Донченко (1971, 1983), Т.В. Одрова (1979), Г. Эштон (1978, 1986), А.И. Пехович (1983), Г.А. Трегуб (1994, 1997), И.Н. Шаталина (1990), В.М. Мишон (1997) и многие другие. К настоящему времени предложено большое количество формул и расчетных приемов для определения толщины ледяного покрова пресноводных водоемов и водотоков, опирающихся на эмпирический и теоретический методы расчета [2].

Эмпирический метод основан на выявлении эмпирических связей толщины льда и отдельных факторов, определяющих изменение толщины ледяного покрова. В этом случае расчетные зависимости получены на основании относительно тесной корреляции между температурой воздуха и толщиной льда. Как правило, они привязаны к конкретному региону.

Теоретический метод базируется на дифференциальных уравнениях, описывающих физическую сущность процесса нарастания толщины льда.

Из-за нестационарности теплового режима снежно-ледяного покрова решение дифференциальных уравнений для определения толщины ледяного покрова не всегда целесообразно использовать на практике, поскольку точность расчетов часто определяется не степенью отображения уравнениями реального процесса, а правильным выбором исходных данных, значение которых определяются приближенно [3]. Поэтому важную роль в ледотермических расчетах играет схематизация реальных тепловых процессов, которые лежат в основе разработанных расчетных методик. При отсутствии данных о характеристиках снежного покрова на поверхности льда, на практике часто применяются эмпирическая формула, полученная на основе решения задачи Стефана [5], вида:

$$h_{ice} = \alpha (AFDD)^{0,5}, \quad (1)$$

где h_{ice} — толщина льда, см; $AFDD$ (accumulated freezing degree days) — сумма средних суточных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на высоте 2 м над уровнем водоема за расчетный период времени; α — эмпирический коэффициент, определяемый по данным непосредственных наблюдений и отражающий в среднем те условия, которые имели место в период наблюдений (температуру воды, высоту и плотность снежного покрова, глубину водотока, скорость подледного течения воды).

В нормативном документе «Североамериканского Корпуса исследования и разработки инженерно-строительных работ в холодных регионах» (ERDC-CRREL) [5] описывается метод, основанный на формуле (1), для расчетов и прогнозов толщины льда на реках Канады. В нем представлены коэффициенты α для расчетов толщины льда малых и средних рек, а также озер.

В данной работе используется формула Стефана для расчета толщины ледяного покрова, как одного из основных факторов, влияющих на заторообразование рек Севера ЕТР.

В табл. 1 представлен коэффициент α , полученный для Севера ЕТР методом обратного пересчета по формуле (1). В общей сложности была использована информация по 62 гидропостам Северного территориального управления по гидрометеорологии.

Таблица 1

Коэффициент α , используемый в модифицированном уравнение Стефана, для определения предзаторной толщины льда, см (для Севера ЕТР)

Условия	Коэффициент α
Реки с площадью водосбора 1000–100 000 км ²	0,8–1,3
Реки с площадью водосбора > 100 000 км ²	1,4–1,9

Показатели FDD сначала рассчитываются за каждый день зимнего сезона:

$$FDD = (0^{\circ} - T_a^{\circ}), \quad (2)$$

где T_a является среднесуточной температурой воздуха в градусах по Цельсию.

В дальнейшем значения FDD за каждый зимний день суммируются для определения их $AFDD$. Нулевая точка $AFDD$ относится к началу процесса ледообразования, когда кривая суммы меняет отрицательный наклон на положительный. На рис. 1, в качестве примера, представлено отношение среднесуточной температуры воздуха, измеренной на метеостанции Усть-Цильма в зимний период, и $AFDD$, рассчитанной для этой станции.

Таким образом, расчет толщины льда рек на основе метеоданных, выглядит следующим образом:

1. Выбирается ближайшая к исследуемому участку реки метеорологическая станция с репрезентативным рядом наблюдений температуры воздуха.
2. Определяется нулевая точка (дата), с которой происходит накопление $AFDD$ для каждого зимнего сезона.

3. Рассчитывается *AFDD* за рассматриваемый интервал времени.
4. Оценивается средняя толщина льда за каждый год на основе *AFDD*, с использованием формулы (1). Коэффициент α , используемый в уравнение Стефана, может быть уточнен после сравнения толщины льда с имеющимися измерениями на гидрологических постах.



Рис. 1. Пример отношения среднесуточной температуры воздуха и *AFDD* (метеостанция Усть-Цильма, 2009–2010 гг.).

В качестве примера представлен расчет толщины ледяного покрова перед вскрытием реки Печора в створе Усть-Цильма. Ближайшая метеостанция расположена в селе Усть-Цильма. Имеются данные наблюдений среднесуточных температур воздуха за период 1950–2009 гг. На первом этапе производился расчет *AFDD* за каждый год и был построен хронологический график *AFDD*, представленный на рис. 2. Максимальное значение *AFDD* равно 3277°C (1968 г.). Наименьшее из рассчитанных ежегодных *AFDD* = 1406°C (1994 г.). Среднее значение *AFDD* получилось равным 2131°C.

Далее предполагаем, что коэффициент α для этой реки в исследуемом створе равен 1,5, как средний для территорий Севера ЕТР. Следовательно, толщину льда можно было бы ожидать в диапазоне от 56 до 86 см, а в среднем 71 см. Надежность коэффициента α была проверена на материале непосредственных измерений толщины льда на гидрологическом посту в створе «Усть-Цильма». На рис. 3 представлен совмещенный график толщины льда перед вскрытием реки, измеренной в створе поста и рассчитанной по формуле (1) соответственно, за период с 2000 по 2009 г.

При оценке результатов расчета толщины льда допустимая погрешность расчета устанавливается равной 20 % от фактического значения искомой характеристики. На рис. 4 представлен график связи $h_{\text{расч}} = f(h_{\text{измер}})$, где для $h_{\text{расч}}$ определен диапазон допустимой погрешности. Метод считается эффективным, если его обеспеченность составляет не менее 80 %.

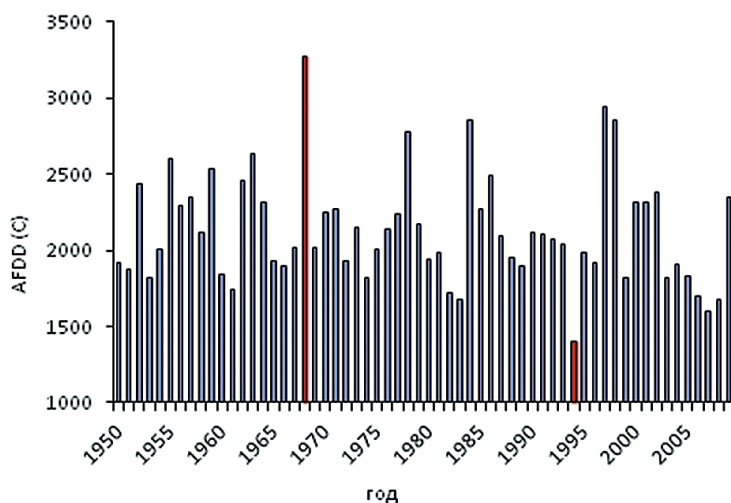


Рис. 2. Хронологический график $AFDD$ для р. Печора — с. Усть-Цильма, метеостанция Усть-Цильма.

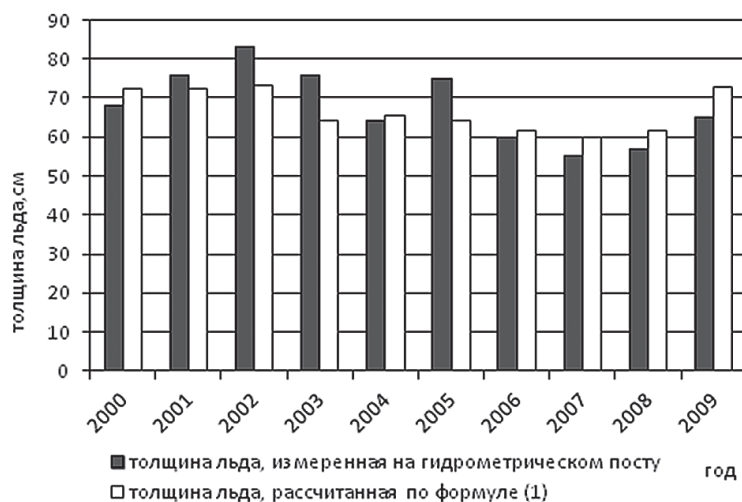


Рис. 3. Совмещенный график измеренной и рассчитанной толщины льда на дату вскрытия р. Печора — с. Усть-Цильма.

Результаты расчетов толщины льда для р. Печора — с. Усть-Цильма, представленные в табл. 2, свидетельствуют о достаточной эффективности используемого метода.

Средняя многолетняя толщина льда перед вскрытием реки Печоры в створе поста Усть-Цильма за период с 2000 по 2009 г. равна 67 см. На основе наблюдения за толщиной льда и с учетом снежного покрова и наледи в створе измерения, коэффициент α равный 1,5 описывает наблюдаемую толщину льда и будет считаться целесообразным для дальнейших расчетов и прогнозов.

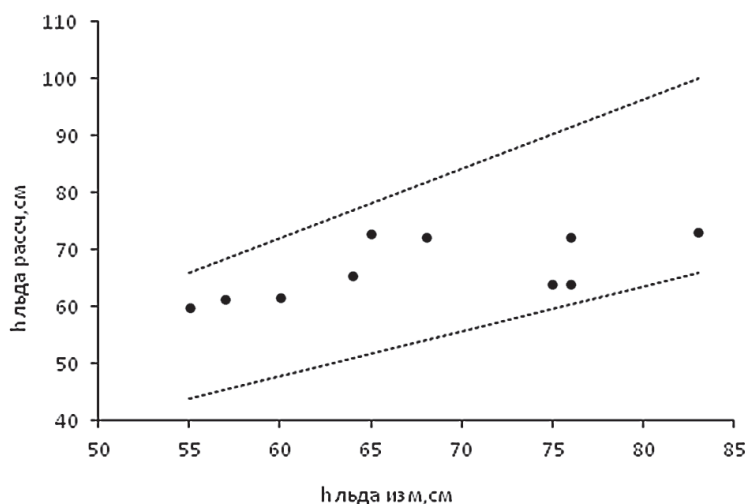


Рис. 4. График связи $h_{\text{расч}} = f(h_{\text{измер}})$.

Таблица 2

Оценка результатов расчета толщины льда по формуле (1) для р. Печора — с. Усть-Цильма

Год	Измеренная толщина льда, см	Рассчитанная толщина льда по формуле (1), см	Абсолютная ошибка расчета, см	Относительная ошибка расчета, %
2000	68	72	4	6,2
2001	76	72	−4	5,0
2002	83	73	−10	11,7
2003	76	64	−12	15,8
2004	64	66	2	2,5
2005	75	64	−11	14,6
2006	60	62	2	2,9
2007	55	60	5	9,1
2008	57	62	5	7,9
2009	65	73	8	11,9
среднее значение	68	67	−1	8,8

Заключение

Расчеты толщины ледяного покрова необходимы для гидравлического анализа участков рек, подверженных заторообразованию, а также при проектировании мостов, автодорог или гидротехнических сооружений. Несмотря на сложный и изменчивый характер процессов формирования ледяного покрова, толщина льда может быть

рассчитана по метеорологическим данным. Формулу Стефана можно использовать не только для расчета толщины льда малых и средних, но и больших рек. Всякий раз, когда это возможно, расчетная толщина льда должна быть проверена на фактическом материале наблюдений для обоснованности коэффициентов α .

Литература

1. *Барышников Н.Б., Пагин А.О., Соболев М.В.* Гидрологические риски при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 17, с. 18–22.
2. *Козлов Д.В.* Лед пресноводных водоемов и водотоков. — М.: Издательство МГУП, 2000. — 262 с.
3. *Чижов А.Н.* Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 128 с.
4. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 3. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 60 с.
5. USACE (2002) Engineering and Design: Ice Engineering. U.S. Army Corps of Engineers Engineer Manual 1110-2-1612.

Е.Ю. Голованова

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДОВ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ РОССИИ)

E. Yu. Golovanova

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF LONG-TERM CHANGES IN THE TOTAL SERIES WATERSUPPLIES RIVER BASINS (FOR EXAMPLE, RUSSIA)

Сформированы ряды влагозапасов по данным наблюдений на гидрометеорологической сети с помощью водного баланса. Вычислены основные статистические характеристики рядов изменения влагозапасов и их погрешности, построены гистограммы распределения и автокорреляционные функции. Построена карта распределения величины изменения суммарных влагозапасов по территории России.

Ключевые слова: водный баланс, суммарные влагозапасы, неустойчивость решений модели, фазовые переменные.

Formed ranks watersupplies the observational data on the hydrometeorological network using the water balance. Calculated basic statistical characteristics of the series changes in moisture reserves and their error distribution histograms and autocorrelation functions. A map of the distribution of the total amount of change in moisture reserves in the territory of Russia.

Key words: water balance, total moisture reserves, instability of the model solutions, phase variables.

Проблемная ситуация (тупик)

В настоящее время при гидрологическом обеспечении надежности проектируемых и существующих объектов водозависимых отраслей экономики используются обеспеченные значения расходов воды. Они получаются путем статистической обработки рядов наблюдений за речным стоком и аппроксимации эмпирических распределений кривых Пирсона III типа или их модификации (кривые Крицкого-Менкеля) [12].

Однако в последнее десятилетие было показано (см. [2, 6]), что оценки моментов статистических распределений всех видов многолетнего стока могут быть неустойчивыми не только из-за коротких рядов наблюдений, но по причинам физико-географического характера, особенно в южных районах России. Был разработан метод борьбы с подобной неустойчивостью [1, 2], который заключается в расширении числа фазовых переменных, которыми описывается формирование речного стока. Было показано [3, 4], что достаточно (в большинстве случаев) использовать эволюционное уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова для трехмерной плотности вероятности $p(Q, E, \Delta U)$, где Q — расход воды, E — испарение, ΔU — изменение запасов воды в почвогрунтах речных бассейнов (величина, близкая к суммарным влагозапасам).

Прототип (как сейчас выбираются из тупика) и его недостатки

Борьба с неустойчивостью моментов не обязательно сводиться к привлечению дополнительных фазовых переменных. Самый простой путь — перенести мультипликативные шумы модели формирования стока в аддитивные (см. [2]), однако при этом нарушаются причинно-следственные связи. В режиме квазистационарного приближения это не существенно, но при эволюционном прогнозировании (нестационарные случайные процессы) это недопустимо. Остается привлекать новые фазовые переменные. Это сделано в кандидатской диссертации Ф.Л. Соловьева (руководитель В.В. Коваленко, консультант Е.В. Гайдукова), см. [7]. В этой работе в модель формирования стока было введено испарение, которое генерировалось по методу А.Р. Константинова с использованием данных метеорологических инструментальных наблюдений за температурой и влажностью воздуха. Однако для окончательных рекомендаций использовались не двумерные распределения $p(Q, E)$, а только условные одномерные $p(Q/\bar{E})$. Это, конечно, не является в прямом смысле недостатком прототипа, так как делаются только первые шаги по освоению методики использования многомерных распределений (в настоящее время на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов несколько аспирантов разрабатывают методику использования двумерных распределений $p(Q, E)$). Недостаток состоит в том, что конкурентный тип взаимодействия расхода и испарения действительно повышает устойчивость моделирования, но имеются речные бассейны (особенно в диапазоне многолетних норм температуры воздуха $1,6-7^\circ\text{C}$, см. [4]), в которых существенное влияние на формирование стока оказывает изменение влагозапасов в почвогрунтах. Поэтому, целью исследований, представленных в данной статье, является апробация методики формирования рядов изменения влагозапасов на территории России с использованием только фактических наблюдений на государственной гидрометеорологической сети (без применения Интернет-ресурсов, как это сделано для всего Земного шара в статье, опубликованной в данном номере Ученых Записок [5]).

Предлагаемое решение

В основе использованной методики лежит уравнение водного баланса замкнутого водосбора для годового интервала [10]

$$\dot{X} = Q + E \pm \Delta U, \quad (1)$$

где $\dot{X}$ — атмосферные осадки, выпавшие на водосбор, мм; Q — сток в замыкающем створе, мм; E — суммарное испарение с водосборного бассейна, мм.

Величина ΔU (при известных значениях X , Q , E) интерпретируется как остаточный член уравнения (1) и при погрешности его определения меньшей самого значения может считаться статистически значимой (подробнее см. [10], а также статью в данном номере Ученых записок [5]).

Годовые значения осадков были взяты из метеорологических ежемесячников [9] для нескольких метеостанций на водосборе. Средние слои осадков на водосборе

определялись среднеарифметическим методом и выражены в мм. Среднегодовые расходы воды в рассматриваемом створе были взяты из справочника «Основные гидрологические характеристики» [11] и переведены в слои стока, выраженные в мм. Среднегодовое испарение с суши определялось методом Константинова: для этого были сформированы ряды по температуре и влажности воздуха для нескольких метеостанций на водосборе. Испарение, также, выражено в мм. С помощью гидрометеорологических рядов по уравнению водного баланса были рассчитаны среднегодовые значения влагозапасов в почве, выраженные в мм.

Всего было обработано 83 водосбора по Европейской территории России за период с 1951 по 1988 г. Полученные многолетние ряды изменения влагозапасов почвогрунтов были статистически обработаны, в результате чего получены гистограммы (рис. 1), начальные моменты и расчетные гидрологические характеристики (табл. 1), автокорреляционные функции (рис. 2).

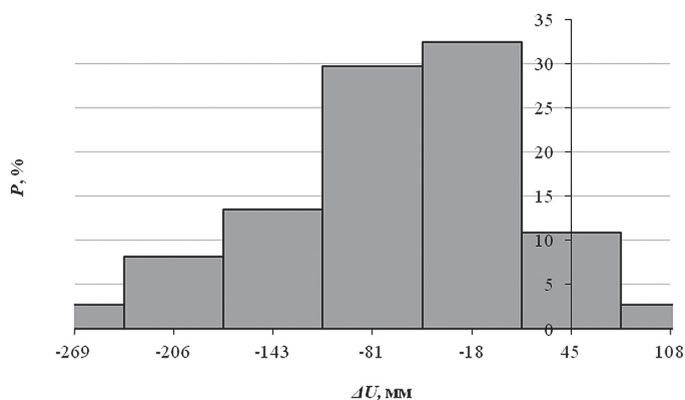


Рис. 1. Гистограмма изменения влагозапасов р. Сюнь — с. Миньярово.

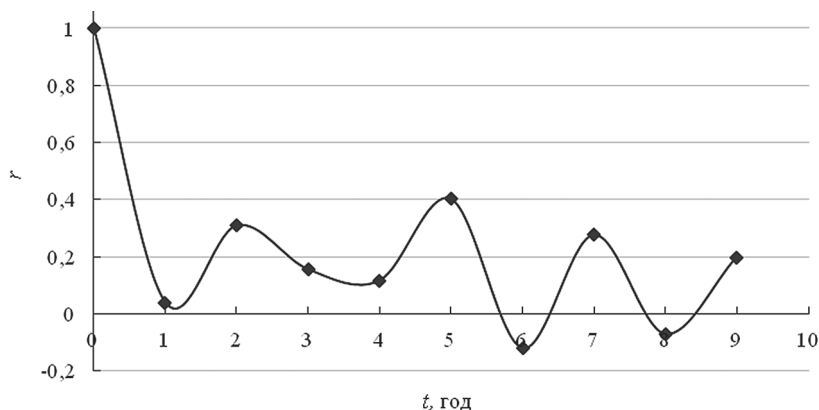


Рис. 2. Автокорреляционная функция изменения влагозапасов.

Таблица 1

**Числовые характеристики случайного процесса изменения суммарных влагозапасов
некоторых бассейнов**

Река — пост	F , км ²	Начальные моменты			D	$r(1)$	C_v	C_s
		m_1	m_2	m_3				
Онега — д. Надпорожный Погост	12800	–42	20281	–5927310	18518	–0,06	–3,24	–1,40
Свидь — д. Горки	6450	–28	13190	–1497347	12382	0,28	–3,91	–0,30
Волошка — д. Тороповская	7040	–52	14051	–2030966	11319	0,42	–2,04	–0,08
Сухона — г. Тотьма	34800	–70	9677	–1414120	4842	0,14	–1,00	–0,20
Сухона — д. Калкино	49200	–89	11922	–1852289	4011	–0,004	–0,71	–0,31
Юг — пгт. Подосиновец	15200	–59	9540	–1799497	6079	0,33	–1,33	–1,10
Юг — д. Гаврино	34800	–404	183544	–92693426	20634	0,05	–0,36	–0,66
Вычегда — г. Сыктывкар	66900	–65	11398	–1319108	7224	0,06	–1,32	0,57
Вишера — д. Лунь	7890	–67	17478	–1528048	13030	–0,14	–1,71	0,92
Вымь — с. Весляна	19100	–10	15358	1728706	15260	0,02	–12,53	1,16
Яренга — с. Тохта	4930	32	15076	2108254	14070	0,25	3,74	0,44
Пинега — с. Кулогоры	36700	–98	16759	–3289547	7136	0,24	–0,86	–0,41
Мезень — д. Малонисогорская	56400	–116	19318	–3471630	5940	0,61	–0,67	0,30
Вашка — д. Решельская	19000	–97	16643	–3346396	7290	0,55	–0,88	–0,53

Естественно возникает вопрос о достоверности полученных результатов. Что касается чисто формального ответа на этот вопрос, то он решается с использованием обычных формул для определения погрешностей в зависимости от длины ряда. В табл. 2 предоставлены погрешности вычисления для 14 типичных водосборов.

Таблица 2

Погрешности параметров распределения суммарных влагозапасов бассейнов Онеги, Северной Двины и Мезени

Река — пост	Абсол. погр. среднего	Отн. погр. среднего, %	m_1	Абсол. погр. C_v	Отн. погр. C_v , %	C_v
Онега — д. Надпорожный Погост	30,4	–72	–42	–1,74	—	–3,24
Свидь — д. Горки	24,9	–89	–28	–2,50	—	–3,91
Волошка — д. Тороповская	23,8	–46	–52	–0,73	—	–2,04
Сухона — г. Тотьма	15,6	–22	–70	–0,22	0	–1,00
Сухона — д. Калкино	14,2	–16	–89	–0,14	9	–0,71
Юг — пгт. Подосиновец	17,4	–30	–59	–0,35	—	–1,33
Юг — д. Гаврино	32,1	–8	–404	–0,06	13	–0,36
Вычегда — г. Сыктывкар	19,0	–29	–65	–0,35	—	–1,32
Вишера — д. Лушь	25,5	–38	–67	–0,54	—	–1,71
Вымь — с. Весляна	27,6	–276	–10	–24,90	—	–12,5
Яренга — с. Тохта	26,5	83	32	2,29	34	3,74
Пинега — с. Кулогоры	18,9	–19	–98	–0,18	6	–0,86
Мезень — д. Малонисогорская	17,2	–15	–116	–0,13	9	–0,67
Вашка — д. Решельская	19,1	–20	–97	–0,19	5	–0,88

Как видно из табл. 2, значения погрешности лежат в обычных пределах, характерных для обработки рядов расходов. Однако может возникнуть вопрос о том, что наличие ненулевых норм изменение влагозапасов может происходить из-за систематических погрешностей, присущих методу Константинова вычисления испарения. Однако до сих пор никто из гидрологов на это не указывал (см. [10]). Сам Константинов в своей монографии [8] тщательно проанализировал вероятностное распределение погрешностей, которое оказалось симметричным с практически нулевым средним значением.

Кроме чисто научной, познавательной значимости полученных результатов они имеют и практическое значение. На рис 3. представлена географическая карта распределения величины изменения суммарных влагозапасов по территории России.

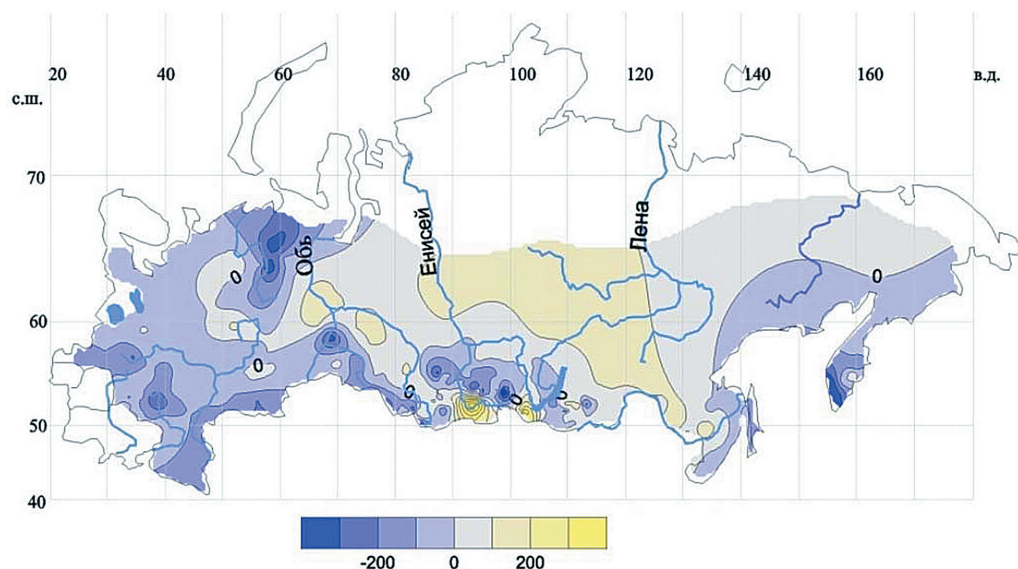


Рис. 3. Норма многолетних изменений суммарных влагозапасов и районы, в которых норма статистически значимо отличается от нуля.

Из рис. 3 видна определенная географическая закономерность: на ЕТР изменение влагозапасов в почвогрунтах меньше нуля, в Сибири — больше нуля. Конечно, имеются значения (примерно 50 %) территории, где величины изменения влагозапасов в почвогрунтах статистически не значимы. Последнее в определенной степени оправдывает традиционное представление о том, что норма изменения влагозапасов равна нулю. Это можно допустить только в первом приближении. В тех же районах, где норма изменения влагозапасов не равна нулю и значительно превосходит погрешность вычисления надо, видимо, корректировать значения норм испарения, которые предоставлены в существующих картах их распределения. К таким районам, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля, относятся бассейн реки Печора, верхнее и среднее течение рек Обь и Енисей, верхнее течение рек Лена и Индигирка (см. рис. 3). В будущем полученные данные по распределениям $p(\Delta U)$ найдут, по-видимому, применение при гидрологическом обеспечении надежности объектов водозависимых отраслей экономики путем применения моделей формирования речного стока в квазистационарном приближении для $p(Q, E, \Delta U)$, однако перед этим надо завершить разработку соответствующей технологии для двумерных распределений $p(Q, E)$.

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ при выполнении темы «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».

Литература

1. Коваленко В.В. Оценка гидрологической надежности гидротехнических сооружений при неустановившемся климате. // Гидротехническое строительство, 2010, № 4, с. 41–44.
2. Коваленко В.В. Обеспечение устойчивости моделирования и прогнозирования речного стока методами частично инфинитной гидрологии. — СПб.: РГГМУ, 2011. — 107 с.
3. Коваленко В.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование зависимости фрактальной размерности рядов многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха. // Доклады Академии наук, 2012, т. 444, № 6, с. 666–670.
4. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока. // Доклады Академии наук, 2011, т. 439, № 6, с. 815–817.
5. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В. Чувствительность нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах к погрешностям определения составляющих уравнения водного баланса. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 33, с. 45–50.
6. Коваленко В.В., Хаустов В.А. Критерий устойчивого развития гидрологических процессов и картирование зон ожидаемых аномалий параметров годового стока рек СНГ при антропогенном изменении климата. // Метеорология и гидрология, 1998, № 12, с. 92–102.
7. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Соловьев Ф.Л., Чистяков Д.В. Частично инфинитное расширение фазового пространства модели формирования многолетнего речного стока для статистически устойчивого прогнозирования катастроф. // Естественные и технические науки, 2009, № 2, с. 192–193.
8. Константинов А.Р. Испарения в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 532 с.
9. Метеорологические ежемесячники. Вып. 1, 2, 3, 8, 12, 13, 17, 25. — Л.: Гидрометеиздат, 1961–1980.
10. Вуглинский В.С. и др. Методы изучения и расчета водного баланса. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 398 с.
11. Основные гидрологические характеристики. Т. 1, 2, 7, 10, 11, 12, 15. — Л.: Гидрометеиздат, 1975–1980.
12. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик. Госстрой России. — М.: ФГУП ЦПП, 2004. — 73 с.

Ю.В. Карпечко, Н.А. Мясникова

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА В ПЕРВЫЙ ГОД ПОСЛЕ РУБОК В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Yu. V. Karpechko, N. A. Myasnikova

ESTIMATION OF WATER BALANCE TERMS CHANGES DURING THE FIRST YEAR AFTER LOGGING IN THE TAIGA ZONE OF THE NORTHERN EUROPEAN RUSSIA

Предложены методы оценки изменения элементов водного баланса в первый год после удаления древостоя. Установлено, что величина снижения испарения зависит от возраста, условий роста и продуктивности древостоя. В районах, характеризующихся наличием зимних оттепелей, появление вырубок на залесенных водосборах приводит к снижению максимальных предвесенних запасов воды в снеге.

Ключевые слова: сплошные рубки, испарение, сток, снегозапасы.

Methods for estimation of the changes in the water balance terms during the first year after felling are proposed. The main factor of the increased runoff is the reduced evapotranspiration. It is shown that the amount of the reduction in evapotranspiration depends on the forest age, growth conditions and productivity of the stand. In the regions affected by winter thaws the cleared spaced in the forest-covered catchment areas lead to a reduction in the maximum spring water content in the snow.

Key words: clearcutting, evapotranspiration, runoff, snow reserves.

Большой интерес по гидрологическим последствиям в таежной зоне представляют лесозаготовки, выполняемые сплошными рубками. При сплошных рубках в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации древостой полностью удаляется с площади до 50 га за один прием в течение короткого периода [12]. Такие рубки приводят к значительным преобразованиям биогеоценоза на участке и изменениям условий формирования элементов водного баланса.

Минимальное значение суммарного испарения и максимальное значение стока с участка наблюдается, как правило, в первый год после рубок, поэтому оценки изменения годовых величин этих элементов водного баланса из-за масштабов последствий представляют наибольший интерес. Их значимость заключается еще и в том, что эти оценки являются начальными точками динамики элементов водного баланса в продолжительном периоде преобразований геокомплекса.

Исследования влияния рубок на объем стока имеют уже большую историю, однако до сего времени расчеты и прогнозы изменения элементов водного баланса при этом виде хозяйственной деятельности для конкретного объекта представляют большую сложность.

Состояние вопроса

В полевых исследованиях влияния рубок на элементы водного баланса часто используется метод парных экспериментальных водосборов. На одном из них вырубается древостой, а второй оставляют без изменений, он является контрольным [21]. К недостаткам полевых опытов, как известно, относится то, что полученные результаты с полной уверенностью можно применять только в таких же условиях, при которых они были получены. В силу многообразия лесов вероятность возможности использования этих результатов очень мала. Однако полевые исследования, проводимые во многих странах, в том числе и в СССР, позволили достоверно установить знак изменения стока как после удаления древостоя, так и после облесения и показали достаточно высокую изменчивость получаемых оценок [8, 17, 18, 21]. В работе [21] приведены результаты исследований, проведенных на 94 водосборах в различных районах лесной зоны (от тайги до тропических лесов), из которых следует, что из-за удаления различными способами древостоя (рубками, пожарами и вредителями леса) сток увеличивается от 20 до 90 %, а абсолютные величины роста составляют 30–650 мм. Проводимые на территории СССР исследования показали, что испарение после рубок снижалось по данным различных источников на 100–300 мм [8]. Отмечаемые колебания оценок можно объяснить влиянием на них климатических условий, значений метеорологических элементов до и после воздействия, а также характеристик леса до воздействия.

Ранее предложены различные расчетные методы оценок влияния рубок на элементы водного баланса [5, 8, 23]. Однако в одних случаях они представляют собой усредненные по характеристикам таежных лесов эмпирические зависимости относительной величины годового стока (относительно величины стока со спелого леса) или относительного годового испарения (относительно испарения со спелого леса) от длительности периода после рубок соответственно [8, 5], поэтому в одних случаях в полученных оценках не отражается возможное влияние различных характеристик древостоя, в других — использование предлагаемых моделей предполагает наличие достаточно большого объема информации (метеорологических данных, характеристик почвогрунтов и характеристик растительности) [23], что ограничивает их применение экспериментальными водосборами.

Более упрощенным и доступным является подход, опубликованный в работе [21], где на основании обобщения экспериментальных исследований в различных климатических условиях для оценки изменения стока после удаления древостоя предложена простая зависимость изменения годового стока от среднегодовой величины осадков. Приведенная зависимость не отличается высокой надежностью, что, с нашей точки зрения, может быть объяснено слабой обусловленностью в данном случае значения приращения стока атмосферными осадками. Такую зависимость можно, по-видимому, использовать для сравнительной оценки влияния рубок на сток в различных частях лесной зоны (в тайге, в широколиственных лесах и т.д.). Для конкретных условий, например, тайги с помощью такой зависимости получается практически одинаковая для всей зоны оценка, что противоречит полевым наблюдениям.

На основании вышеизложенного можно констатировать, что проблема оценки изменения водного баланса после рубок остается актуальной и в настоящее время.

Многообразие лесов предполагает необходимость рассмотрения возможности влияния их характеристик на изменения испарения и стока после рубок и обозначить пределы преобразований этих элементов водного баланса.

В данной статье на основании выполненных ранее разработок [5] предложены методы оценок изменения годовых величин испарения, стока и максимальных снегозапасов в первый год после воздействия. Показана степень влияния продуктивности древостоя на величину изменения испарения и стока. В качестве оценок изменения этих элементов водного баланса предлагаются величины, получаемые для осредненных метеорологических условий.

Методы оценки изменения годовых величин испарения и стока и максимальных за зимний период снегозапасов после рубок

Изменение испарения за год оценивается как разница между испарением с вырубки и (E_{cl}) и испарением с леса до воздействия (E_f):

$$dE = E_{cl} - E_f. \quad (1)$$

Испарение с леса определяется по традиционной схеме как сумма трех составных частей [8, 16]:

$$E_f = E_t + E_i + E_s, \quad (2)$$

где E_t — транспирация древостоем, мм; E_i — испарение задержанных пологом леса атмосферных осадков, мм; E_s — испарение с наземного покрова, мм.

Испарение непосредственно с вырубки предлагается определять, используя равенство:

$$E_{cl} = k_s E_s, \quad (3)$$

где k_s — переходный коэффициент от испарения под пологом леса к испарению с вырубки.

После подстановки (2) и (3) в (1) и простых преобразований получается уравнение для оценки изменения испарения после воздействия в следующем виде:

$$dE = E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i). \quad (4)$$

Уравнение для оценки изменения годового стока получено как разность водно-балансовых уравнений, решаемых относительно стока для периодов после и до воздействия для усредненных за многолетний период метеорологических условий. После соответствующих преобразований оно приобретает следующий вид:

$$dY = Y_{cl} - Y_f = (P_{cl} - P_f) - (E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i)) + dY_{clf}, \quad (5)$$

где Y_{cl} и Y_f — сток с вырубki и с этого же участка леса до воздействия, соответственно, мм; P_{cl} и P_f — осадки, выпадаемые на рассматриваемый участок леса после и до воздействия, соответственно, мм; dY_{clf} — изменение стока, вызванное нарушениями водно-физических свойств почвогрунтов лесоборочной техникой.

Изменение стока в первый год в связи с снижением наименьшей влагоемкости (максимальное количество влаги, которое удерживается в почвогрунтах при свободном дренировании) почвогрунтов из-за их уплотнения можно ожидать на участках работы лесозаготовительной техники (на волоках и в пределах погрузочных пунктов) [5]. Поскольку в таежной зоне в период весеннего половодья происходит, как правило, насыщение почвогрунтов до наименьшей влагоемкости [1, 9], то можно ожидать, что в первый год после лесозаготовительных работ потери весеннего стока на заполнение почвогрунтов будут меньше, чем в предыдущий на величину, равную разности наименьших влагоемкостей до и после воздействия. Однако в соответствии с существующими правилами лесозаготовительные работы должны выполняться такими методами, при которых оказывается минимальное воздействие на почвы. Рекомендуется выполнять работы в зимний период, когда почвогрунты промерзшие, а в летний период укладывать на поверхность волоков порубочные остатки и применять для транспортировки древесины машины, оказывающие минимальное воздействие на почвы [12]. Все это значительно снижает степень уплотнения почвогрунтов и мощность преобразуемого слоя, которая и без указанных выше мероприятий, судя по литературным данным, ограничивалась 30–40 см [5]. Выполненные расчеты показали, что при самых неблагоприятных условиях изменение стока в целом для вырубки, где около 30 % занято волоками и погрузочными пунктами [12], ограничивается 10–12 мм [5]. Следовательно, при условии выполнения предписываемых требований, величину dY_{clf} можно принимать близкой к нулю.

Существуют мнения о влиянии полян и вырубок и их размеров на количество выпадающих осадков [16, 17]. Однако оценить это влияние в настоящее время не представляется возможным, и в большинстве случаев роль данного фактора в пространственном распределении осадков ограничивается точностью измерений и расчетов. Поэтому осадки принимаются нами до и после воздействия неизменными. В таком случае уравнения (5) представляется в следующем виде:

$$dY = -(E_s(k_s - 1) - (E_t + E_i)). \quad (6)$$

Транспирация древостоем за год определяется по зависимости [8]:

$$E_t = k_r m, \quad (7)$$

где m — масса листвы в свежем виде, т/га; k_r — коэффициент транспирационной активности, равный для сосны, ели и березы 19, 8,5 и 35 мм/т соответственно [7].

Масса листвы вычисляется по зависимости [10], представленной нами ранее в формализованном виде [7]:

$$m = MK \exp(-fh), \quad (8)$$

где M — запас стволовой древесины, $\text{м}^3/\text{га}$; h — средняя высота древостоя, м ; K — коэффициент, показывающий долю листового аппарата в общем запасе древесной зелени (мелкие сучья и листва или хвоя) и равный для сосны 0,78, для ели — 0,60, для березы — 0,56; c, f — коэффициенты регрессии, равные соответственно для сосны 0,29, 0,10; для ели — 0,81, 0,099 и для березы — 0,30, 0,083.

Испарение с наземного покрова под пологом леса рассчитывается по эмпирической формуле [5]:

$$E = 0,8 E_0 \exp(-0,3 LAI), \quad (9)$$

где E_0 — испаряемость, рассчитанная по методу Будыко-Зубенок [15], мм ; LAI — листовой индекс, $\text{га}/\text{га}$.

Листовой индекс определяется по соотношению [5]:

$$LAI = k_l m, \quad (10)$$

где k_l — переходный коэффициент, равный для сосны — 0,35; для ели — 0,28 и для березы — 0,62 $\text{га}/\text{т}$ [2].

Годовая величина испарения осадков с полога леса определяется по уравнению:

$$E_i = E_{il} + E_{iws} + E_{ia}, \quad (11)$$

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

Для расчета суммарного испарения осадков с крон за теплый период используется формула [5]:

$$E_{il} = k_{Ei} P_{il} \ln(m+1), \quad (12)$$

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

В период, когда снег лежит на кронах, что в таежной зоне наблюдается большую часть зимнего периода, испарение с полога хвойного древостоя определяется по формуле [5]:

$$E_{iws} = 0,065 d LAI n, \quad (13)$$

где d — дефицит влажности воздуха гПа/сут; n — продолжительность расчетного периода, сут.

Испарение с полога лиственного древостоя в период с отрицательными температурами, а также в переходный период при отсутствии листвы принимается равным 1 % от величины осадков [8]:

$$E_{iws} + E_{ia} = 0,01C_M (P_{iws} + P_{ia}), \quad (14)$$

где P_{iws} , P_{ia} — осадки за период с отрицательными температурами и за переходный период, соответственно, мм; C_M — доля лиственных пород от общего запаса древостоя, указанная в таксационных описаниях.

В переходный период испарение с хвойного как и с лиственного леса рассчитывается по формуле, предложенной О.И. Крестовским [8]:

$$E_{ia} = 0,01mP_{ia}. \quad (15)$$

Солнечную радиацию в таежной зоне при достаточно высоком увлажнении можно рассматривать в качестве основного фактора, определяющего интенсивность испарения как с наземного покрова под пологом леса [14], так и с вырубки. Следовательно, возрастание испарения с наземного покрова в первый год после удаления древостоя при практически одинаковых величинах массы и проективного покрытия наземной растительности до воздействия и после него [11] в большой степени объясняется увеличением поступления лучистой энергии солнца. В этом случае можно принять, что соотношение суммарной солнечной радиации, поступающей к поверхности земли на вырубке и к наземному покрову под полог леса пропорционально соотношению испарения с соответствующих поверхностей. Это позволяет для определения коэффициента k_s использовать функцию того же вида, как и для определения проникающей сквозь крону суммарной солнечной радиации [14]. Поскольку оценивается процесс увеличения испарения, то для этого соотношения аргумент экспоненты будет положительным.

Коэффициент k_s можно определять по данным наблюдений за испарением под пологом леса и на открытых участках. Нужно отметить, что в настоящее время имеются данные, оценивающие это соотношение испарений [13, 20], однако в большом числе случаев не приводятся характеристики древостоя, позволяющие определять величину листового индекса. На рис. 1 показано увеличение коэффициента k_s с ростом листового индекса, что, с учетом вышеприведенных рассуждений, позволяет представить эту зависимость в следующем виде:

$$k_s = E_{cl} / E_s = \exp(0,18LAI). \quad (16)$$

Нужно отметить, что разброс точек на рис. 1 в большой степени характеризует точность определений листового индекса и соотношений испарений. При расчете по формуле (16) для возможных значений LAI от 1 до 7 соотношение испарений (k_s)

меняется от 1,2 до 3,5, что вполне соответствует приведенным в литературных источниках результатам наблюдений. В частности, приведенные в [13] значения k_s для различных поверхностей (различные виды растений и их отсутствие) варьируют от 1,4 до 3,3.

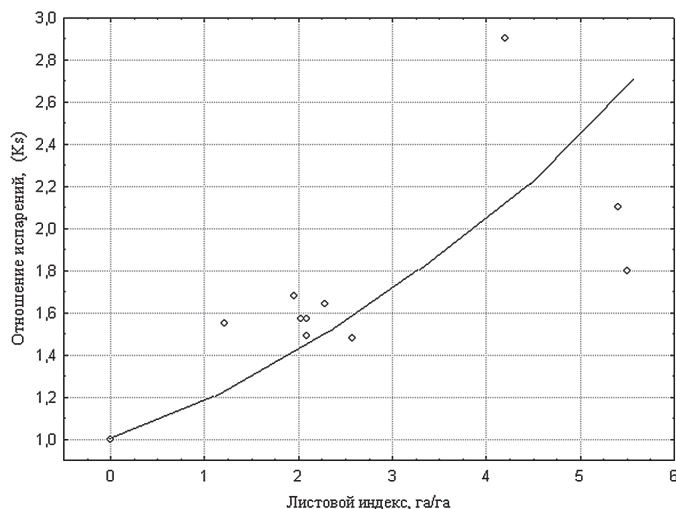


Рис. 1. Зависимость отношений испарений с открытого участка и под пологом леса от листового индекса.

Близкое по абсолютной величине значение коэффициента экстинкции (0,2) при переходе от испарения с открытого участка к испарению под пологом хвойного леса было получено для зимнего периода [5]. Важным периодом в таежной зоне является весеннее половодье, когда водотоки проносят значительную часть годового объема воды, поступающей с водосбора. Объем весеннего стока в большой степени зависит от величины предвесенних снегозапасов. В этой связи интерес представляет оценка роли рубок в формировании снежного покрова. В наибольшей степени влияние таких воздействий будет проявляться в хвойных лесах.

Влияние вырубок и их размеров на количество выпадающих зимних осадков не учитывается, вследствие низкой точности существующих оценок, не превышающих точности измерения осадков и определения снегозапасов. Поэтому зимние осадки принимаются нами до и после воздействия неизменными. С учетом этого и, основываясь на воднобалансовом подходе, уравнение для оценки влияния лесозаготовок на снегонакопление в хвойных лесах можно представить в следующем виде:

$$dS = S_{cl} - S_f = -(E_{swcl} - E_{swf}) - (H_{cl} - H_f) + E_{iws}, \quad (17)$$

где S_f и S_{cl} — максимальные снегозапасы на участках, покрытом древостоем и на безлесном, соответственно, мм; E_{iws} — испарение осадков с полога леса, мм; E_{swf} и E_{swcl} — испарение с наземного покрова под пологом леса и с безлесного участка, соответственно, мм; H_f и H_{cl} — слой стаявшего снега в период оттепелей с лесного и с безлесного участков, соответственно, мм.

Испарение с безлесного участка рассчитывается по рекомендованной в [15] формуле:

$$E_{swcl} = 0,37dn. \quad (18)$$

Испарение с наземного покрова под пологом леса определяется по формуле [5]:

$$E_{swf} = E_{swcl} \exp(-0,2LAI). \quad (19)$$

Для вычисления испарения снега с полога леса используется приведенная выше формула (13). Оценка влияния оттепелей на разницу снегозапасов в лесу и в поле осуществляется с помощью эмпирической формулы [5]:

$$H_f - H_{cl} = 0,39 + 1,9 \sum t_{>0}, \quad (20)$$

где $\sum t_{>0}$ — сумма положительных среднесуточных температур за период снегонакопления.

Уравнение (17) с учетом (13), (18)–(20) можно использовать для оценки влияния лесозаготовок, а также и лесных пожаров на формирование максимальных снегозапасов в хвойных лесах Европейского Севера России.

Полученные результаты и их анализ

Отсутствие возможностей экспериментальных проверок метода в целом предполагает необходимость в подробном обосновании результатов расчетов и получаемых на основании их выводов. Степень изменения годового стока после рубок определяется снижением испарения из-за удаления древостоя (уравнения (4) и (6)), поэтому основное внимание при анализе уделялось исследованию влияния различных факторов на величину изменения годового испарения.

При анализе предлагаемого метода и расчета преобразования элементов водного баланса после рубок использовались таксационные показатели лесов южной тайги, которые в свое время были любезно предоставлены нам А.А. Книзе и О.И. Крестовским. Эти данные охватывают практически все основные типы леса южнотаежной подзоны, различающиеся по составу образующих их пород и по продуктивности древостоя. Продуктивность древостоя, количественной характеристикой которой является класс бонитета, является важным фактором формирования испарения с леса. Полученные нами и приведенные здесь величины изменения испарения отражают, в пределах точности предлагаемого метода, большую часть всего спектра возможных оценок влияния рубок на водный баланс лесных участков, различающихся классами бонитета, в конкретных природных условиях.

При анализе также использовались характеристики лесов Карелии, взятые из работ [2, 3, 4]. Значимым аргументом, определяющим степень изменения испарения после рубки в предложенном методе оценки, является листовой индекс. Возможность использования его в качестве такого показано выше как на уровне теоретических рассуждений, так и при анализе эмпирических данных (см. рис. 1).

Удаляемая в результате рубок листва (хвоя) определяет транспирацию и испарение осадков с полога леса, составляющих в большинстве случаев 65–85 % от суммарного испарения. Эти же части суммарного испарения с леса составляют значительную долю в величине изменения испарения, что и определяет наличие связи между суммарным испарением с леса и его изменением после удаления древостоя (рис. 2). Зависимости, приведенные на рис. 2, были построены для чистых древостоев (наличие в конкретном древостое только одной породы), поэтому связи получились тесные.

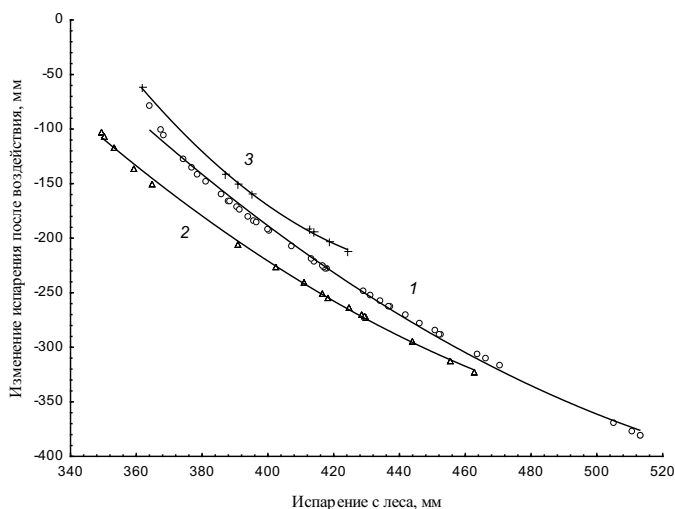


Рис. 2. Зависимость величины изменения испарения от суммарного испарения с леса до воздействия (1 — сосняк, 2 — ельник, 3 — березняк).

Наличие такой зависимости свидетельствует, в некоторой степени, о влиянии продуктивности леса на изменение испарения после удаления древостоя. Продуктивность леса определяется плодородием почв. Улучшение плодородия почв сопровождается увеличением для одновозрастного древостоя как общей фитомассы, так и ее частей, в том числе и массы листового аппарата, а следовательно, увеличением испарения с леса и его изменения после рубок. Зависимость массы листвы (хвои) от продуктивности леса показана в [5].

При лесозаготовках удаляют, как правило, спелый древостой, но поскольку существуют другие средства очистки лесного участка от древесной растительности (лесные пожары, вредители), то рассматривалось также влияние возраста леса на изменение испарения.

Влияние продуктивности и возраста древостоя представлено в табл. 1, где показано, что значения максимального изменения испарения в различных лесах после воздействия увеличиваются в большинстве своем с улучшением условий роста деревьев (уменьшение класса бонитета). Кроме того, возраст, в котором наблюдаются максимальные изменения испарения, так же как и наивысшее за период роста леса суммарное испарение [5], уменьшается с увеличением продуктивности древостоя

(табл. 1). Такое явление объясняется тем, что лес, растущий в лучших условиях, раньше достигает наибольших значений фитомассы и ее прироста, поэтому максимальное влагопотребление в нем отмечается в возрасте 30–50 лет. Худшие условия роста обуславливают замедленный рост, поэтому возрастание испарения в низкопродуктивных лесах продолжается до 100–120 лет. Нужно отметить, что высокие значения испарения в молодом возрасте в смешанных хвойных лесах объясняются еще наличием в их составе существенной доли березы и осины, характеризующихся более быстрым ростом, чем сосны и ели.

Таблица 1

Максимальные величины изменения испарения в различающихся по продуктивности и по условиям произрастания лесах после воздействий

Класс бонитет	Сосна		Ель		Береза	
	Возраст, лет	Изменение испарения, мм	Возраст, лет	Изменение испарения, мм	Возраст, лет	Изменение испарения, мм
Va	110	–152				
V	90	–159	100	–232		
IV	60	–163	70	–251	70	–192
IV	40	–220				
III	40	–210	50	–263	60	–219
III	40	–247	40	–284	50	–219
III	40	–255	40	–263	50	–224
II	30	–267	40	–294	40	–239
II	30	–316	30	–258	40	–226
II					40	–258
I	30	–287	30	–292	30	–241

Влияние продуктивности леса практически для всего спектра классов бонитета лесных участков различных пород на максимальную величину изменения испарения оценивается в 60–200 мм. Наибольшая амплитуда изменения этой величины характерна для сосняков. Это обусловлено, по-видимому, различиями в составе древостоев. Низкопродуктивные сосняки на 80–90 % представлены основной породой, в то время как участие быстрорастущих лиственных пород в функционировании ельников, обеспечивающих древостой высокими показателями листового аппарата, составляет 40–50 %.

Амплитуда колебаний величин изменения испарения в одnobонитетных лесах несколько меньше и составляет 20–40 мм, а в отдельных случаях превышает 50 мм. Эти колебания обусловлены, в основном, различием состава и полноты древостоя, а в большей степени возрастными различиями пород, его составляющих.

Представленные в табл. 1 данные можно рассматривать как потенциальные величины изменения испарения в каждом возрастном ряду одnobонитетного древостоя,

которые могут наблюдаться после удаления деревьев. В большинстве случаев при лесозаготовках значения изменения испарений представляют собой некоторую часть всего этого спектра. Зависимость возрастной динамики испарения с леса от продуктивности древостоя обуславливает сглаживание величин его изменения после рубок. В низкопродуктивных лесах изменения испарения после рубок будут близки к величинам, указанным в табл. 1, а в высокопродуктивных лесах оценки будут меньше представленных. Возможные величины изменений испарений после рубок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение испарения после воздействия в различных по продуктивности и по условиям произрастания лесах в возрасте рубки (сосна и ель — 100 лет, береза — 80 лет)

Класс бонитет	Сосна		Ель		Береза	
	Изменение испарения		Изменение испарения		Изменение испарения	
	мм	%	мм	%	мм	%
Va	–151	–39				
V	–158	–38	–237	–52		
IV	–128	–32	–246	–55	–189	–44
IV	–198	–44				
III	–146	–35	–254	–55	–205	–47
III	–190	–43	–230	–52	–206	–46
III	–204	–45			–213	–48
II	–176	–40	–221	–50	–205	–46
II	–214	–47	–200	–47	–200	–46
II					–212	–47
I	–211	–49	–185	–44	–184	–43

Изменение испарения в результате воздействия существенно зависит от возраста леса. Это видно из сравнения данных, представленных в табл. 1, 2. В табл. 3 показана возрастная динамика изменения испарения после удаления древостоя в средних по продуктивности для условий Карелии лесах. Таксационные характеристики для расчетов взяты из таблиц хода роста, разработанных в Институте леса КарНЦ для распространенных в Карелии типов леса. Особенностью рассматриваемых древостоев является то, что они чистые (отсутствуют другие породы) и полнота их (степень плотности стояния деревьев на единице площади) одинакова для всех пород и возрастов.

Наименьшее изменение испарения отмечается в молодняках. Рост величины изменения испарения в древостое III.5–IV.5 классов бонитета продолжается до возраста 70–80 лет (табл. 3). В более продуктивных лесах рост этой величины оканчивается в 30–50 лет, а в низкопродуктивных растягивается до 100 лет и более.

Таблица 3

Изменение испарения после воздействия в различных по возрасту сосняках, ельниках и березняках

Возраст, лет	Сосняк брусничный, III.7 класса бонитета		Ельник брусничный, IV.1 класса бонитета		Березняк злаково-брусничный, III.4 класса бонитета	
	Изменение испарения		Изменение испарения		Изменение испарения	
	мм	%	мм	%	мм	%
10					–41	–11
20	–107	–27	–72	–21	–103	–28
30	–152	–37	–124	–35	–166	–42
40	–193	–45	–177	–47	–207	–49
50	–216	–49	–220	–55	–229	–53
60	–229	–51	–251	–60	–237	–54
70	–229	–51	–266	–62	–240	–54
80	–223	–50	–266	–63	–238	–54
90	–217	–49	–265	–62	–234	–54
100	–212	–48	–258	–61	–229	–53
120	–205	–47	–245	–59		
140	–200	–46	–242	–59		
160	–198	–46	–241	–59		

Во многих работах ранее было показано, что соотношение снегозапасов в лесу и на открытых участках в большой степени зависит от таксационных характеристик леса и метеорологических условий в зимний период. Нужно отметить, что существуют еще не полностью освещенные вопросы, касающиеся особенностей формирования снежного покрова в поле и в лесу. Однако в настоящее время можно с большой долей уверенности утверждать, что огромное влияние на соотношение снегозапасов оказывают зимние оттепели [5, 19, 22].

Влияние таксационных характеристик наиболее заметно в безоттепельные периоды. Расчеты по (17) свидетельствуют, что в лесах с сравнительно низкой полнотой ($LAI \leq 3$ га/га) снегонакопление практически не меняется после удаления древостоя (разница снегозапасов составляет от –1 до +1 мм). С увеличением полноты древостоя возрастают потери снега на испарение с крон сосняков и ельников (практически весь период снегонакопления характеризуется наличием твердой влаги на кронах), что способствует большему накоплению снега на открытом участке. Однако отрицательная роль хвойного древостоя в снегонакоплении при наиболее часто встречающихся значениях листового индекса от 3 до 8 га/га ограничивается 10 мм. Данные значения относятся к одинаковым метеорологическим условиям и одинаковой продолжительности снегонакопления в лесу и на вырубке.

Более заметное влияние на разницу снегонакопления в лесу и на открытом участке оказывают зимние оттепели. Суммарная продолжительность оттепелей за период со снежным покровом, в частности, в южной Карелии, может достигать 20 суток. При

этом сумма среднесуточных положительных температур составляет 5–15°C, но в отдельные годы превышает 20°C. Поскольку наиболее интенсивно снеготаяние протекает на открытых участках, то в зимние сезоны с оттепелями на вырубках снега накапливается меньше, чем под кронами деревьев. При сумме положительных температур 5°C в зависимости от величины листового индекса превышение лесных снегозапасов составляет 0–10 мм, при сумме температур 10°C — 10–20 мм, а при сумме 25°C — 40–50 мм или 30–35 %. В зимние сезоны с оттепелями, как и в безоттепельные периоды, роль листового индекса ограничивается 10 мм. Так, например, при сумме положительных температур 20°C с увеличением листового индекса от 3 до 8 га/га разница в снегонакоплении меняется от –37 до –28 мм.

В результате многолетних наблюдений в южной Карелии было установлено, что осушение для сельскохозяйственного производства залесенных болот сопровождается снижением максимальных запасов воды в снеге до 38–41 мм (35–36 %) [6], что вполне соответствует вышеприведенным результатам расчетов по (17). Следовательно, увеличение на залесенном водосборе площади открытых (без древостоя) участков может привести в отдельные зимние сезоны к существенным изменениям условий формирования зимнего и весеннего стока, что будет особенно заметно на малых водосборах.

Выводы

На основании предложенного метода оценки установлено влияние на величину изменения испарения с леса после сплошных рубок продуктивности и возраста древостоя. Наименьшие изменения происходят после удаления молодого низкопродуктивного древостоя. С увеличением его возраста и повышением продуктивности снижение испарения с лесного участка после воздействия достигает 300 мм. Основным фактором увеличения стока с вырубки в первый год после воздействия является снижение испарения.

Изменение объема предвесенних снегозапасов на лесном водосборе после воздействия зависит от таксационных характеристик удаленного древостоя и зимних оттепелей, причем роль последнего фактора является наиболее ощутимой и возрастает с увеличением суммы положительных температур за период снегонакопления.

Литература

1. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 304 с.
2. Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С. и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. — Л.: Наука, 1977. — 304 с.
3. Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. — Л.: Наука, 1973. — 179 с.
4. Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.К. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. — Л.: Наука, 1978. — 216 с.
5. Карпечко Ю.В., Бондарик Н.Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. — 225 с.
6. Карпечко Ю.В., Нестеренко И.М. Водный и тепловой режим осушаемых болот и заболоченных земель Карелии. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. — 120 с.
7. Карпечко Ю.В., Саковец В.И. Постмелиоративные изменения элементов водного баланса водосборов Карелии. // Водные ресурсы, 1997, т. 24, № 3, с. 266–269.

8. *Крестовский О.И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 118 с.
9. *Крестовский О.И.* Принципы оценки и прогноза потерь весенних вод на водосборах Северо-Запада ЕТС. // Труды ГГИ, 1972, вып. 194, с. 46–61.
10. Лесотаксационный справочник. — М.: Лесная промышленность, 1980. — 288 с.
11. *Молчанов А.А.* Гидрологическая роль леса. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 488 с.
12. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах Европейской части Российской Федерации. — М., 1994. — 32 с.
13. *Протопопов В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. — Новосибирск: Наука, 1975. — 328 с.
14. *Раунер Ю.Л.* Тепловой баланс растительного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 210 с.
15. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 96 с.
16. *Федоров С.Ф.* Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 264 с.
17. *Федоров С.Ф.* О влиянии вырубки леса на изменение элементов его водного баланса. // Труды ГГИ, 1979, вып. 258, с. 30–44.
18. *Федоров С.Ф., Марунин С.В., Буров А.С., Ральцевич Н.Д.* Изменение структуры водного и теплового баланса залесенных территорий под влиянием вырубок. // Труды ГГИ, 1981, вып. 279, с. 20–31.
19. *Шутов В.А.* Распределение запасов воды в снежном покрове на водосборах лесной зоны. // Метеорология и гидрология, 1994, № 9, с. 85–92.
20. Экологический режим сосновых биогеоценозов. — Минск: Наука и техника, 1988. — 160 с.
21. *Bosch J.M., Hewlett J.D.* A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. // J. of Hydrology, 1982, 55, p. 3–23.
22. *Koivusalo H., Kokkonen H.* Snow processes in a forest clearing and in a coniferous forest. // J. of Hydrology, 2002, 262, p. 145–164.
23. *Sun G., Riekerk H., Comerford N.B.* Modeling the hydrologic impacts of forest harvesting on Florida Flatwoods. // J. of the American water resources association, 1998, vol. 34, № 4, p. 843–854.

В.В. Коваленко, Е.В. Гайдукова

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ НОРМЫ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ
СУММАРНЫХ ВЛАГОЗАПАСОВ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ
К ПОГРЕШНОСТЯМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЯ
ВОДНОГО БАЛАНСА**

V.V. Kovalenko, E.V. Gaidukova

**SENSITIVITY STANDARDS LONG-TERM CHANGES OF TOTAL WATER
STOCK IN THE RIVER BASINS TO ERRORS IN DETERMINING
THE COMPONENTS OF THE WATER BALANCE EQUATION**

С использованием эмпирических гидрометеорологических данных по бассейнам Северного полушария подтвержден факт явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах, что может приводить к погрешностям определения многолетней нормы испарения с использованием существующих карт в тех регионах, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля.

Ключевые слова: уравнение водного баланса, суммарные влагозапасы, погрешность.

Using empirical data on hydro basins of the Northern Hemisphere land phenomenon confirmed the fact nonzero norm watersupplies total long-term changes in river basins. It can lead to errors in determining the long-term evaporation rate using existing maps in those regions where the rate of change of moisture reserves are statistically significantly different from zero.

Key words: water balance equation, the total moisture reserves, error.

В гидрологии считается, что норма многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов ΔU равна нулю. Это позволяет вычислять многолетние нормы испарения E по уравнению:

$$\overline{E} = \overline{X} + \overline{Q}, \quad (1)$$

где $\overline{X}$, $\overline{Q}$ — нормы осадков и стока соответственно. Именно с использованием балансового соотношения (1) построены географические карты распределения величины E по территории России [2] и поверхности суши Земного шара [1].

Однако фрактальная диагностика рядов многолетнего речного стока показала [3, 5, 6, 7], что их размерность лежит, в основном, в интервале 2–3, т. е. в правой части уравнения (1) может присутствовать статистически значимые значения $\Delta U \neq 0$. Эмпирическое подтверждение этого обстоятельства можно выполнить по общеизвестной методике [9], позволяющей оценивать статистическую значимость остаточных членов балансовых

уравнений $\sum_{i=1}^n x_i = 0$. Если погрешность невязки ε_0 (остаточного члена) δ_0 , равная $\sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$

(здесь δ_i — погрешность i -го члена суммы), не превосходит ε_0 , то последняя считается статистически значимой. При нормальном законе распределения погрешностей имеем: если $|\varepsilon_0| > \delta_0$, то доверять можно на 68,3 %, если $|\varepsilon_0| > 2\delta_0$ — на 95,4 %, если $|\varepsilon_0| > 3\delta_0$ — на 99,7 % (в представленной ниже карте присутствуют зоны статистически значимых значений ε_0 , соответствующих ΔU).

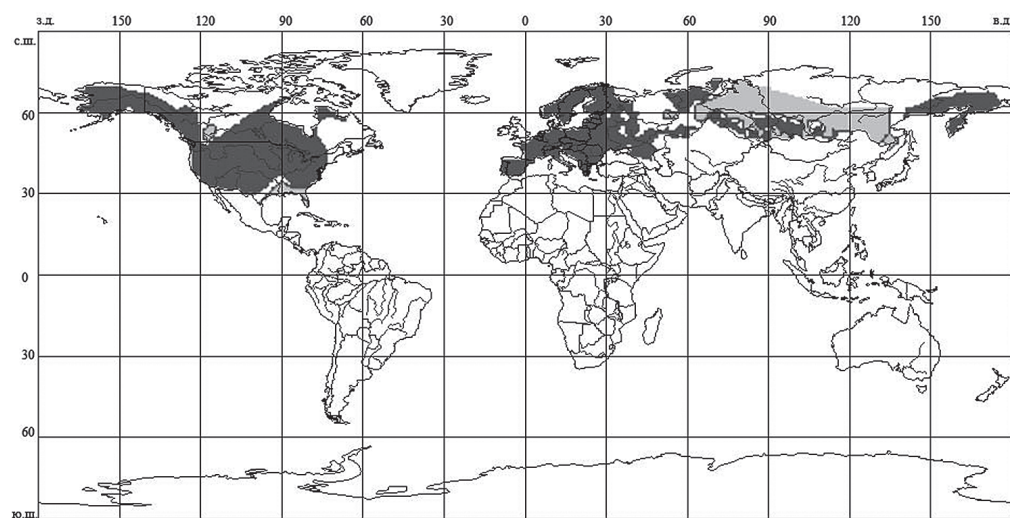
Роль «остаточного» члена играет многолетняя норма величины $\pm \Delta U = X - Q - E$. В гидрологии считается, что для годового периода $\Delta U \neq 0$. Для многолетних же норм умозрительно допускается $\Delta U = 0$. Чтобы убедиться в этом (или опровергнуть) необходимо испарение определять независимым от X и Q образом. В общепринятом руководстве по составлению водных балансов [9] дается сравнительная оценка основных методов определения испарения с поверхности суши и указывается, что с точки зрения возможности опереться на массовые метеорологические наблюдения предпочтение имеют полуэмпирические методы расчета, в частности широко распространенный метод А.Р. Константинова. По его рекомендациям [8] можно сгенерировать ряды годовых испарений по температуре T и влажности воздуха e , измеряемых на существующей сети гидрометеорологических станций. В основе практического использования этих рекомендаций лежит номограмма, представленная в работе [8] в координатах $E = f(T, e)$.

С использованием данной методики были определены значения ΔU по 418 бассейнам мира (252 — по России), диапазон изменения T и e в которых входил в пределы справедливости номограммы Константинова (из рассмотрения выпали зоны с их экстремальными значениями, находящиеся на севере Восточной Сибири, в Африке, Латинской Америке, Юго-Западной Азии и Австралии). Рассматривались бассейны достаточно крупных рек с зональным характером формирования многолетнего речного стока. Информация по гидрометеорологическим элементам бралась из Интернет-ресурсов (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html>).

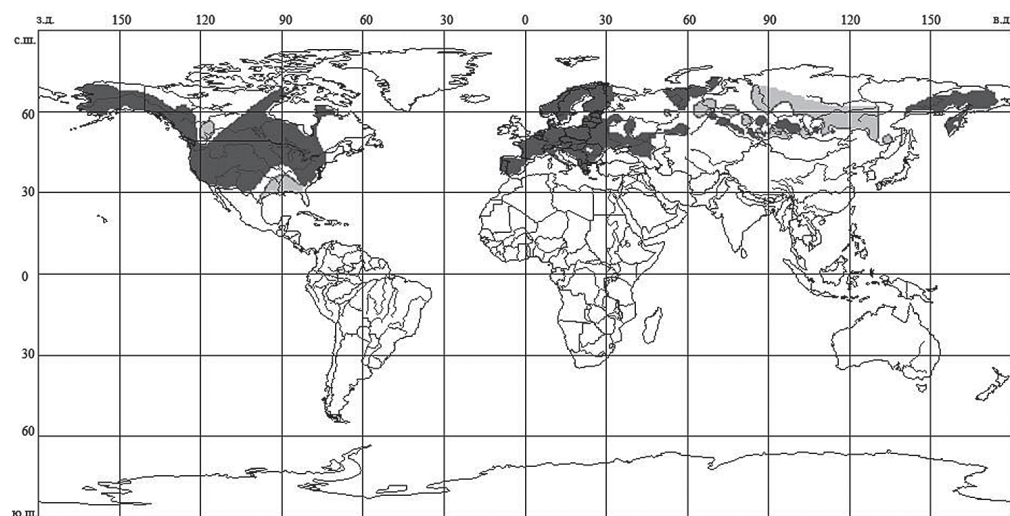
На рис. 1 представлены географические карта распределения величины $\pm \Delta U$, соответствующие уровню доверительной вероятности 68,3 %, т. е. когда $|\Delta U| > \delta_0$ при значениях погрешностей норм составляющих уравнения водного баланса соответствуют общепринятым значениям ($\delta_X = 5$ %, $\delta_Q = 5$ %, $\delta_E = 15$ %) рис. 1а,б — и когда они увеличены в 1,5 раза — рис. 1в,г.

При больших доверительных вероятностях (95,4 %, 99,7 %) карты становятся более пестрыми (пятнистыми), так как исчезают (становятся статистически не значимыми) области, в которых $|\Delta U| < 2\delta_0$ (для 95,4 %) и $|\Delta U| < 3\delta_0$ (при 99,7 %). На представленных картах белым цветом обозначены области, по которым расчеты либо не проводились (по указанным выше причинам), либо значения ΔU можно считать (на определенном уровне статистической значимости) практически нулевыми (примерно 50 % территории).

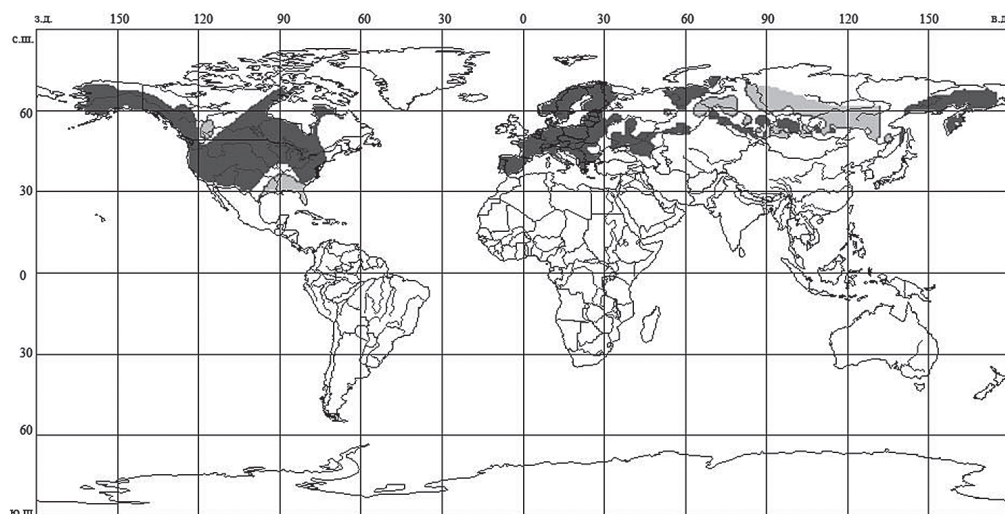
a)



б)



в)



г)

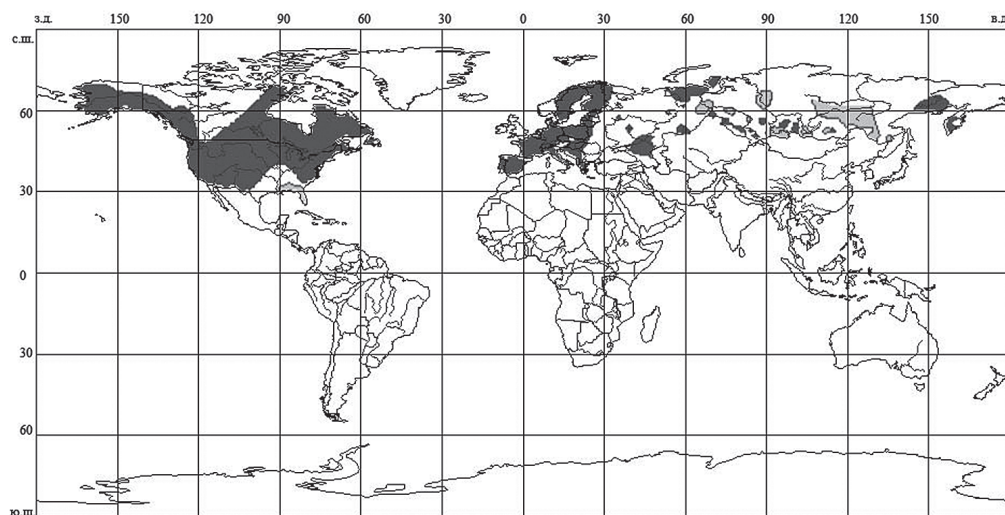


Рис. 1. Распределение норм многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов при подсчете погрешности определения остаточного члена в среднеквадратическом (а, в) и среднеарифметическом (б, г) смыслах. На рис. в и г погрешности определения членов уравнения водного баланса увеличены в 1,5 раза. Карты соответствуют доверительной вероятности 68,3 %.

На картах явно прослеживается географическая закономерность: в Европе и Северной Америке нормы изменения многолетних влагозапасов отрицательные, в Сибири — положительные. Если за такой закономерностью стояли бы погрешности метода Константинова, то они должны быть весьма специфическими: носить систематический характер и «чувствовать» географическое местоположение речного бассейна, что представляется маловероятным. Всю работу по оценке погрешностей своего метода Константинов проделал почти 50 лет назад, к этому вопросу не раз возвращались гидрологи, занимающиеся испарением. Их оценки следующие. Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными часовыми суммами испарения равняется 0,61, а вероятное отклонение — 53 %. Коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными суточными суммами испарения — 0,68, а вероятное отклонение — 21 %. Коэффициент корреляции между годовыми испарениями, определенными с помощью номограммы Константинова и балансовым методом равен 0,79, а вероятное отклонение — 16 %. График погрешностей (см. рис. 2) практически симметричный.

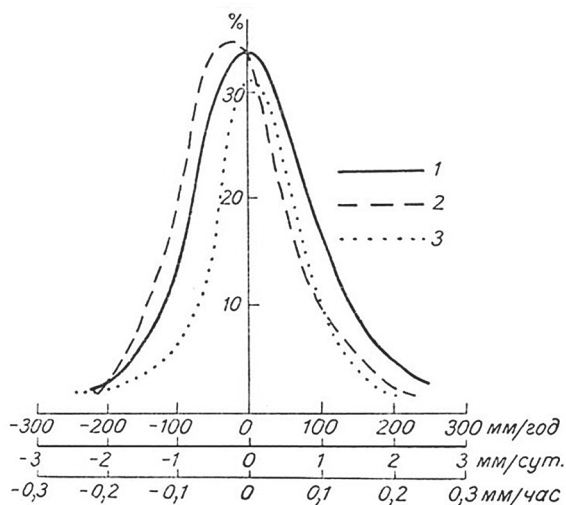


Рис. 2. Кривые распределения разности рассчитанных и измеренных величин испарения с почвы [8]:

1 — часовые величины испарения (БГИ и ГПИ); 2 — суточные величины испарения (ГГИ-500);
3 — годовые величины испарения.

В данной статье излагается только материал, связанный с установлением самого факта явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах. Физическая причина данного явления и объяснение географической закономерности его распространения требуют отдельного рассмотрения. Однако уже сейчас можно утверждать, что ненулевые нормы ΔU не связаны с иссушением или переувлажнением речных бассейнов, так как из дифференциального исчисления известно, что производная от функции с нулевым средним значением (а именно такой производной является величина ΔU , имеющая размерность объем/время, для графика

изменения объема влагозапасов во времени при принятии их многолетней нормы за нуль отсчета) не обязана иметь среднее равное нулю. Есть и наиболее вероятное объяснение его физической причины — эффект детектирования (см. [4]).

Таким образом, в статье с использованием эмпирических гидрометеорологических данных по бассейнам Северного полушария подтвержден факт явления ненулевой нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах, что может приводить к погрешностям определения многолетней нормы испарения с использованием существующих карт (в тех регионах, в которых норма изменения влагозапасов статистически значимо отличается от нуля).

Исследования финансировались Министерством образования и науки РФ при выполнении НИР «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».

Литература

1. Атлас мирового водного баланса (приложение к монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли»). — М., Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 46 карт.
2. Клибашев К. П., Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. — Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. — 460 с.
3. Коваленко В. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование зависимости фрактальной размерности рядов многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха. // Доклады Академии наук, 2012, т. 444, № 6, с. 666–670.
4. Коваленко В. В. Новые явления и закономерности формирования речного стока. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 172 с.
5. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока. // Доклады Академии наук, 2011, т. 439, № 6, с. 815–817.
6. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Громова М. Н., Девятков В. С., Хамлили А. Диагностирование неустойчивости формирования и фрактальной размерности многолетних рядов летне-осенней межени Восточной Сибири методами частично инфинитной гидрологии. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 13, с. 30–39.
7. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Куасси А. Б. Г. Прогнозирование изменений фрактальной размерности многолетнего речного стока. // Естественные и технические науки, 2007, № 6, с. 139–147.
8. Константинов А. Р. Испарение в природе. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 532 с.
9. Вуглинский В. С. и др. Методы изучения и расчета водного баланса. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 398 с.

В.А. Васильев, Т.С. Дергачева

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ НА ПОЛИГОНЕ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

V.A. Vasilyev, T.S. Dergacheva

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF OCCURRENCE AND EXPANSION OF CREEPING FIRES ON THE TOXIC WASTE LANDFILL IN THE LENINGRADSKAYA OBLAST

В работе рассматриваются условия возникновения и развития низовых пожаров в Ленинградской области. Показана возможность использования метеорологической информации в качестве одного из предикторов угрозы возникновения пожаров. На основе простой модели выполнена оценка выбросов загрязнителей и тепловой энергии.

Ключевые слова: низовой пожар, метеорологические условия возникновения и развития, модель эмиссии загрязнителей и тепловой энергии, численный эксперимент.

The conditions of occurrence and expansion of creeping fires in the Leningradskaya oblast are considered. The possibility of usage of meteorological information as one of predictors of the fires beginning threat are shown. The emissions of pollutants and heat energy are assessed on the basis of simple model.

Key words: creeping fire, meteorological conditions of occurrence and expansion, model of pollutants and heat energy emissions, numerical experiment.

Введение

Низовые пожары растительности оказывают значительное негативное влияние на геоэкологическое состояние природной среды и в значительной степени способствуют развитию других видов пожаров. Низовые лесные пожары составляют абсолютное большинство от числа всех пожаров в лесу, более 80 % всех пожаров — низовые. Практически все верховые пожары развиваются из них [6]. При этом в атмосферу поступает значительное количество газообразных и аэрозольных продуктов пиролиза сгорания, в том числе токсичных. В связи с этим разработка информационно-аналитических систем и моделей, позволяющих прогнозировать пожарную опасность и динамику развития низовых пожаров, направленных на снижение экологического и экономического ущерба, является весьма актуальной задачей современной прикладной экологии [3].

Целью представляемой работы является использование и верификация модели прогноза распространения низовых пожаров для полигона токсичных отходов в Ленинградской области.

Полигон «Красный Бор», предназначенный для обезвреживания и захоронения промышленных токсичных отходов, расположен в 2 км от поселка «Красный Бор» Ленинградской области, в 5 км от Муниципального Образования «Колпино» (Колпинский район Санкт-Петербурга) и в 30 км от Санкт-Петербурга. Площадь полигона составляет 73 га. За время работы полигоном принято более 1,5 млн т промышленных токсичных отходов. На полигоне «Красный Бор» неоднократно возникали пожароопасные ситуации и пожары (пожар 28 мая 2006 г., 24 июня 2008 г.) [7].

Модель возникновения и развития низового пожара

В данной работе для моделирования пожароопасной ситуации и прогноза пожаров был использован метод и технология, разработанной в СО РАН [2]. Суть метода заключается в максимальном использовании имеющейся лесоустроительной информации о распределении по территории полигона растительных горючих материалов (РГМ) и текущей метеорологической информации. В соответствии с используемой методикой вокруг потенциального очага пожара (по уровню засушливости) были выделены несколько участков с близкими эколого-ландшафтными условиями и проведена оценка их готовности к горению. При моделировании поведения пожара используются данные о РГМ, метеорологическая информация, комплект специальных справочных таблиц [5].

Количественным отражением угрозы возникновения лесного пожара является комплексный лесопожарный показатель засухи (ЛПЗ). Он определяется по формуле [9]:

$$\text{ЛПЗ} = \sum_{K=1}^N \text{ПН}_{K-1} K_{\text{OC}} + [(T - T_d)T]_K, \quad (1)$$

где ПН — показатель В.Г. Нестерова; T — температура воздуха; T_d — точка росы; K — день, для которого рассчитывается показатель; $K - 1$ — предыдущий день; N — число дней, прошедших после дождя, включая последний день выпадения осадков; K_{OC} — коэффициент поправок на осадки (учитывается сумма осадков за предыдущие 24 ч).

$$K_{\text{OC}} = 1,8 / (R - 1), \quad (2)$$

где R — сумма осадков.

Соответствие между прогнозируемым количеством осадков и значением коэффициента K_{OC} приведено в табл. 1 [2].

По величине лесопожарного показателя засухи, определялся класс засухи (КЗ). Соответствие классов засухи (КЗ) и ЛПЗ приведено в табл. 2.

Затем сравнивалось КЗ сегодняшнего дня с критическими классами, указанными в [5]. Если КЗ менее критического значения, то состояние негоримое, если больше — горимое, при равенстве состояние оценивается как переходное.

Таблица 1

Соответствие между среднесуточным количеством осадков и величиной коэффициента ($K_{ос}$)

Категория дождей	Показатели	Осадки, мм	$K_{ос}$
I	Слабые дожди	до 2	0,8
II	Умеренные дожди	2–5	0,4
III	Ливневые дожди	5–12	0,2
IV	Сильные дожди	Более 12	0,1

Таблица 2

Характеристика классов засухи (КЗ)

Класс засухи (КЗ)	ЛПЗ	Характеристика опасности
I	< 300	Пожарная опасность отсутствует
II	301–1000	Малая пожарная опасность
III	1001–4000	Средняя пожарная опасность
IV	4001–10000	Высокая пожароопасность
V	10001–30000	Чрезвычайная пожароопасность

Моделирование пожара осуществляется по выбранным временным интервалам. Расчет вероятной скорости распространения низового пожара и его силы (интенсивности кромки) проводился в пределах каждого временного шага моделирования: сначала в направлении продвижения фронта пожара, затем по флангам и в тылу. Для расчета количественных показателей распространения пожара использовались формулы, включающие переменные коэффициенты относительного влияния различных факторов [1]. В табл. 3 приведены основные расчетные формулы.

Таблица 3

Основные расчетные формулы

Количественный показатель	Расчетная формула
Скорость распространения кромки, м/мин	$V_x = V_0 K_f K_r K_w$
Базовая скорость, м/мин	V_0
Коэффициент влияния уклона поверхности	K_f
Коэффициент для относительной влажности	K_r
Коэффициент влияния ветра	K_w
Скорость ветра на площадке м/мин	$W = W_M K_c$
Скорость ветра на метеостанции, м/мин	W_M
Коэффициент полноты древостоя	K_c
Расстояние, проходимое кромкой пожара	$L_{\Pi} = (V_x)_{\Pi} (t_p - t_{p-1})$
Время распространения кромки выделе, мин.	$(t_p - t_{p-1})$
Интенсивность кромки пожара, кВт/м	$I_{kp} = 0,017 Q_{сл} V_x$
Поверхностная теплота сгорания слоя, МДж/м ²	$Q_{сл}$

Моделирование эмиссии поллютантов и тепловой энергии

Наиболее значимым фактором, влияющим на состояние атмосферного воздуха при развитии пожаров, является состояние почвенного покрова. Особенно, если почва загрязнена нефтепродуктами. Если почва покрыта растительностью (трава, лишайник или отмершими частями растений опад хвойных и лиственных деревьев, подстилка торф), то наряду с нефтепродуктами сгорают и растительные материалы. Для сухой почвы, покрытой напочвенным покровом (трава, опад хвои, опад листьев и др.) считается, что имеет место полное сгорание растительности. Тогда коэффициент недожога $K_H^P = 0$, а коэффициент полноты сгорания $K_H^P = 1$. Лесные горючие материалы можно рассматривать как своеобразное углеводородное топливо с известными коэффициентами эмиссии, элементарным составом, химической формулой и тепловым эффектом. Слой растительности характеризуется типом и запасом растительных горючих материалов (РГМ) в $(\text{кг}/\text{м}^2)$ а также влагосодержанием W в %. В обычных условиях при влагосодержании $W > W^*$, где W^* — предельное значение влагосодержания, выше которого РГМ не горят. Однако РГМ, смоченные нефтью, бензином или керосином, сгорает даже при $W > W^*$. В дальнейшем принимается, что коэффициент полноты сгорания нефтепродуктов $K_H^G = 0,6$.

Если почва покрыта растительностью (трава, лишайник, мох, кустарник) или отмершими частями растений (опад хвойных и лиственных деревьев), то выбросы поллютантов будут обусловлены не только горением нефтепродуктов, но и сгоранием растительного напочвенного покрова. Поэтому для определения выбросов поллютантов и тепла имеют место формулы:

$$M(\alpha) = M^G(\alpha) + M^P(\alpha), \quad (3)$$

$$Q(\alpha) = Q^G(\alpha) + Q^P(\alpha), \quad (4)$$

где $M^P(\alpha)$, $Q^P(\alpha)$ — выбросы альфа-поллютанта и тепловой энергии, обусловленные горением растительных горючих материалов; $M^G(\alpha)$, $Q^G(\alpha)$ — выбросы обусловленные горением нефтепродуктов.

Следует считать, что динамика сложного пожара определяется линейной скоростью, присущей распространению пламени по почве, смоченной нефтепродуктом и линейной скоростью выгорания нефтепродукта. В этом случае законы сохранения массы нефтепродукта и растительного горючего материала (РГМ) принимают вид:

$$\frac{dM^G}{dt} = -K_H^G \rho^G \pi S \Omega(z), \quad M^G(0) = N^G, \quad (5)$$

$$\frac{dM^P}{dt} = -K_H^P \rho^P \pi S \Omega(z), \quad M^P(0) = N^P, \quad (6)$$

здесь M^G — текущая масса нефтепродуктов на подстилающей поверхности; M^P — текущая масса растительности; ρ — плотность нефтепродукта и растительного покрова;

ρ^G и ρ^P — коэффициенты полноты сгорания; $\Omega(z)$ — линейная скорость выгорания нефтепродукта; S — площадь, ограниченная контуром горения.

Интегрируя (5, 6), получим выражение для масс поллютантов, выброшенных в атмосферу на начальной стадии распространения пожара, которая принимается равной 3 мин:

$$M^G(\alpha) = 0,6 K^G(\alpha) \frac{\pi \rho^G}{6} \Omega(z) (V_x + V_x^*) V^T t^3, \quad (7)$$

$$M^P(\alpha) = K^P(\alpha) \frac{\pi \rho^P}{6} \Omega(z) (V_x + V_x^*) V^T t^3, \quad (8)$$

где V_x — скорость распространения фронта пожара; V_x^* — скорость распространения пожара в направлении противоположном направлению ветра; V^T — скорость распространения пожара в направлении перпендикулярном направлению ветра; $K^G(\alpha)$, $K^P(\alpha)$ — удельные выбросы α -поллютантов при сгорании нефтепродуктов и растительности, кг/кг. Коэффициент 0,6 характеризует полноту сгорания нефтепродуктов. Предполагается, что растительность сгорает полностью, $K_{II}^P = 1$.

Следует отметить, что кубический закон горения реализуется только для первых моментов времени, когда имеет место распространение пламени по поверхности загрязненной нефтепродуктами. При дальнейшем распространении пожара количество поллютантов и тепла, поступающих в атмосферу, определяется не столько линейной зависимостью от времени, сколько выгоревшей площадью.

Для расчета количества вредных выбросов, образующихся при сгорании нефти и продуктов ее переработки на инертном грунте, т.е. на таком грунте, который уже ранее был пропитан нефтепродуктами, используются следующие формулы:

$$M^G(\alpha) = 0,6 K_N K^G(\alpha) \rho^G h S, \quad (9)$$

$$M^P(\alpha) = K^P(\alpha) \rho^P \Omega(z) S \Delta t, \quad (10)$$

где K_N — нефтеемкость грунтов, м³/м³; h — толщина, пропитанного нефтепродуктом слоя почвы, м; S — площадь пятна нефтепродуктов на почве; Δt — интервал времени, для которого рассчитывается выброс, равный 20 мин.

Общее количество тепла (кДж), выбрасываемого в атмосферу при $t > 0$ равно:

$$Q = \frac{\pi}{6} \left[(q^G \rho^G + q^P \rho^P) \Omega(z) (V_x + V_x^*) V^T \right] t^3, \quad (11)$$

где q^G и q^P — тепловые эффект горения нефтепродукта и растительности, кДж/кг. Эти величины определяются с помощью формулы [8]:

$$q = 4,19 \left[81C^* - 246H^* - 26(O^* - S^*) - 6W^* \right]. \quad (12)$$

Величины C^* , H^* , O^* , S^* , W^* характеризуют элементарное содержание в % углерода, водорода, кислорода, серы и влаги к рабочей массе горючего. Теплота сгорания является наиболее важной характеристикой топлива, так как определяет количество тепла, получаемого при сжигании 1 кг твердого и жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива в кДж/кг. В России тепловые расчёты (например, расчёт тепловой нагрузки для определения взрывопожарной и пожарной опасности) обычно ведут по низшей теплоте сгорания. Низшая теплота сгорания определяется экспериментально для каждого вещества и является справочной величиной [11].

Численный эксперимент

В качестве примера рассмотрим развитие пожара на полигоне промышленных токсичных отходов. Будем для определенности считать, что исследуемая площадь содержит грунт, состоящий в основном из супеси и суглинка, пропитанный дизельным топливом, который занимает 40 % исследуемой площади и имеет пятнистую структуру, остальные 60 % заняты травянисто-ветошным грунтом. Глубина выгорания грунта h составляет 5 см. Пожар начинается с небольшого количества разлившегося по поверхности дизельного топлива. Начальный период пожара продолжается 3 мин. За это время огнем будет охвачена площадь S около 7 м². Контур пожара напоминает форму двух соединенных основанием трапеций.

В соответствии с рассмотренной методикой была проведена серия численных экспериментов оценки пожароопасности для полигона «Красный Бор». Сильный пожар наблюдался 23 июня 2011 г. Метеорологические данные предшествующие этому дню представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Данные для расчета класса пожарной опасности (класса засухи),
метеостанция Пушкин, 15 часов, 2011 г.**

Дата	Осадки	T , °C	Влажность, %	Ветер, м/с	ЛПЗ	Класс засухи
14.06	нет	28	28	4,3	492	II
15.06	нет	28	26	4,6	984	II
16.06	нет	28	29	5,2	1476	III
17.06	нет	28	28	6,5	1968	III
18.06	нет	29	29	4,5	2502	III
19.06	нет	29	29	4,8	3036	III
20.06	нет	32	32	5,5	3604	III
21.06	нет	27	27	4,2	4202	IV
22.06	нет	33	33	4,4	4810	IV
23.06	нет	30	30	4,1	5378	IV

При анализе метеорологических данных с целью определения пожароопасности обычно используют данные за 10 дней после последнего дождя. Это связано с тем, что в России за эталон растительного горючего материала принят слой зеленых мхов на дренированной основе. Полное высыхание мхов происходит за 10-дневную засуху [2].

В результате выполненных расчетов и анализа результатов моделирования было установлено, что наиболее пожароопасным является период июнь—июль, так как в это время наблюдаются наиболее высокие температуры воздуха, уменьшается влажность и резко снижается вероятность выпадения осадков. Прогнозирование развития пожара осуществлялось по выбранным временным интервалам. Контур пожара рассчитывался на конец каждого временного интервала. В данной работе величина этого интервала принималась равной 20 мин.

Расчет вероятной скорости распространения низового пожара и его силы (интенсивности кромки) проводится в пределах каждого временного этапа прогнозирования: сначала в направлении продвижения фронта пожара, затем по флангам и в тылу [5]. Используя метеорологические данные о ветровом режиме, была рассчитана скорость распространения кромки пожара для фронта (0,6 м/с), флангов и тыла (0,4 м/с). Таким образом, расстояние, которое пройдет кромка пожара по каждому выделу до конца намеченного этапа прогнозирования для пожара в целом 48 м — фронт, 32 м — каждый фланг и тыл. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Рассчитав расстояние, которое пройдет кромка пожара, была получена площадь всего пожара, которая по расчетам составила 5120 м². Полученное значение очень близко к фактически определенной площади пожара, равной 5000 м².

Таблица 5

Результаты расчетов

Время	Показатель	Фронт кромки	Левый фланг	Правый фланг	Тыл	$S, \text{ м}^2$	$I_{\text{кр}}, \text{ кВт/м.}$
	$V_x, \text{ м/мин.}$	0,6	0,4	0,4	0,4	—	—
Через 20 мин	$L_{\text{п}}, \text{ м.}$	12,1	8,2	8,2	8,2	1245	35
Через 1 ч 20 мин	$L_{\text{п}}, \text{ м.}$	48	32	32	32	5120	80

Оценка силы пожара также представляется достаточно удовлетворительной. Для ее определения была рассчитана интенсивность кромки пожара. В данном случае она составила 80 кВт/м. Следовательно, согласно существующей классификации пожар относится к пожарам средней силы. Высота пламени при этом достигала 1,1 м. В то же время следует признать, что в действительности сила пожара была несколько больше. Это связано с тем, что в данной модели присутствует целый ряд неопределенностей. В частности нуждается в уточнении лесоустроительная информация, требуются более тщательные метеорологические наблюдения непосредственно в районе полигона. Особое внимание следует обратить на состояние почвогрунтов и содержащихся в них нефтепродуктов.

Данные, необходимые для расчета эмиссии поллютантов и тепловой энергии при низовом пожаре, приведены в табл. 6 [10].

Таблица 6

Исходные данные для расчета выбросов поллютантов и тепловой энергии

Коэффициенты для эмиссии поллютантов				
Поллютант	K(α) для нефтепродуктов, кг/кг			K(α) для РГМ, кг/кг
	нефть	дизтопливо	бензин	
Диоксид углерода	1,0	1,0	1,0	$1,4 \cdot 10^{-1}$
Формальдегид	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Ультрадисперсные частицы (дым)	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Нефтеемкость грунтов, м ³ /м ³				
Наименование	Влажность в % веса			
	20	40	60	80
Супесь, суглинок	0,35	0,28	0,21	0,14
Торфяной грунт	0,50	0,40	0,30	0,20
Скорость выгорания нефтепродуктов				
Наименование	кг/м ² ·сек	кг/м ² ·час	мм/мин	мм/час
Дизтопливо	0,055	198,0	4,18	250,8
Бензин	0,053	190,8	4,54	272,4
Низшая теплота сгорания для некоторых веществ				
вещества	бензин	древесина	дизтопливо	резина
q, МДж/кг	41,87	13,8	48,87	33,52

Из таблицы, в частности, видно, что нефтепродукты являются одним из основных источников поступления диоксида углерода в атмосферу при пожаре. Более детальный анализ позволяет сделать вывод, что максимальная эмиссия поллютантов наблюдается при горении нефти. При этом больше всего в атмосферу выбрасывается оксида углерода, диоксида углерода, оксидов азота, сажа (в пересчете на углерод) и синильная кислота. Вместе с тем видно, что значительное влияние на поступление поллютантов в атмосферу оказывают растительные горючие материалы. При этом определенное влияние на выбросы поллютантов оказывает нефтеемкость грунтов.

Значительное влияние оказывают пожары на термодинамическое состояние приземного и пограничного слоя атмосферы [4]. Сгорание мелкой напочвенной растительности (мелкие кустарники, кустики черники, брусники и т.д.) в пламени основного проводника увеличивает $Q_{\text{сд}}$ на 0,5–1,0 МДж/м². В пределах пламенной кромки успевает сгореть до 0,5 кг/м² сучьев и мелкого валежника, что добавляет еще 3–3,5 МДж/м². При этом в атмосфере образуются конвективные колонки, которые при сильных пожарах достигают высоты 200–300 м. В то же время из табл. 7 следует, что основную роль в тепловом загрязнении атмосферы при пожарах играют содержащиеся в грунтах остатки нефтепродуктов.

Таблица 7

Пример расчета выбросов поллютантов при сжигании дизельного топлива, кг

Время горения	Выбросы от сгорания нефтепродуктов и растительности			
	$M^G(\text{CO}_2)$	$M^G(\text{HCHO})$	$M^P(\text{CO}_2)$	$M^P(\text{HCHO})$
3 мин	32	0,04	8	$3,1 \cdot 10^{-4}$
17 мин	2228	2,7	370+554	$(26,4+39,6) \cdot 10^{-4}$
40 мин	2259	2,7	437+656	$(31,2+46,8) \cdot 10^{-4}$
60 мин	2259	2,7	437+656	$(31,2+46,8) \cdot 10^{-4}$
80 мин	2259	2,7	437+656	$(31,2+46,8) \cdot 10^{-4}$
Всего	9037	13,54	4211	$303,1 \cdot 10^{-4}$

Сумма в столбцах для растительности означает, что растительность горит на площади, пропитанной нефтепродуктами (40 %) и на площади, свободной от нефтепродуктов (60 %). Именно этим обусловлены различия в числовых значениях. Таким образом, эти цифры показывают относительный вклад площадей пропитанных нефтепродуктами в эмиссию поллютантов.

В табл. 8 приведены данные расчета выбросов тепловой энергии при низовых пожарах. Из таблицы видно, что выбросы тепла при сжигании растительности в некоторых случаях сопоставимы с выбросами от сжигания нефтепродуктов. Следует также отметить, что присутствие в почве нефтепродуктов существенно увеличивает интенсивность и силу пожара. В рассматриваемом примере интенсивность кромки пожара ($I_{кр}$), будет равна 120 кВт/м, а высота пламени достигает 1,5 м, т.е. пожар можно расценивать как сильный.

Таблица 8

Выбросы тепловой энергии при сжигании дизельного топлива, кДж

Время горения	$Q^G(\text{CO}_2)$	$Q^G(\text{HCHO})$	$Q^P(\text{CO}_2)$	$Q^P(\text{HCHO})$
3 мин	$0,16 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^5$	4,3
17 мин	$10,89 \cdot 10^7$	$131,9 \cdot 10^3$	$(51,1+76,5) \cdot 10^5$	36,4+54,6
40 мин	$11,04 \cdot 10^7$	$131,9 \cdot 10^3$	$(60,3+90,5) \cdot 10^5$	43,1+64,6
60 мин	$11,04 \cdot 10^7$	$131,9 \cdot 10^3$	$(60,3+90,5) \cdot 10^5$	43,1+64,6
80 мин	$11,04 \cdot 10^7$	$131,9 \cdot 10^3$	$(60,3+90,5) \cdot 10^5$	43,1+64,6
Всего	$44,17 \cdot 10^7$	$529,5 \cdot 10^3$	$581,1 \cdot 10^5$	418,4

Результаты работы указывают на необходимость продолжения исследований по оценке пожароопасности районов утилизации промышленных и бытовых отходов на основе математических моделей, а также позволяют сформулировать ряд требований к программе мониторинга объектов природной среды в этих районах на этапе проектирования, строительства и эксплуатации.

Литература

1. *Амосов Г.А.* Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров. // Возникновение лесных пожаров. — М., 1964, с. 152–183.
2. *Волокитина А.В., Климушин Б.Л., Сафронов М.А.* Технология составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов (практические рекомендации). — Красноярск, 1985. — 25 с.
3. *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.С.* Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. — М.: ДЭКС ПРЕСС, 2004. — 312 с.
4. *Гаврилов А.С.* Численная модель подъема тепловой струи от лесного пожара с учетом ее взаимодействия с внешним потоком. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 130–141.
5. *Гусев В.Г., Корчунова И.Ю.* О методе расчета скорости распространения лесного низового пожара. // Лесные пожары и борьба с ними. — Л.: ЛенНИИЛХ, 1986.
6. *Доррер Г.А.* Динамика лесных пожаров. — Новосибирск: Наука, 2008. — 400 с;
7. *Марова А.В.* Концепция обеспечения безопасного функционирования особого объекта в условиях нестабильной внешней среды. // Экология урбанизированных территорий, 2010, № 1, с. 63–72.
8. Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов. // Утверждена приказом государственного комитета РФ № 90 от 05.03.1997.
9. *Нестеров В.Г., Гриценко М.В., Шубина Т.А.* Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. — М., 1975. — 18 с.
10. Технический кодекс установившейся практики. // ТКП 17.08-08-2007(02120). Окружающая среда и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов при пожарах. — Минск, 2007. — 53 с.
11. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. — М.: Наука, 1968. — 472 с.

Н.Е. Воинов, А.Д. Кузнецов, Т.Е. Симакина, О.С. Сероухова

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

N.E. Voinov, A.D. Kuznetsov, T.E. Simakina, O.S. Serouhova

TEXTURAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES OF THE MESOSCALE OVERCAST

В статье приведены результаты, полученные при выполнении текстурного анализа спутниковых снимков с мезомасштабной конвективной облачностью, вычислены текстурные признаки, на основе которых проведена идентификация разных типов систем мелкой конвекции, найдена связь между значениями текстурных признаков и высотой конвективных ячеек открытого и закрытого типа, а также облачных гряд.

Ключевые слова: мезомасштабная облачность, конвективные ячейки открытого и закрытого типа, текстура, текстурные признаки, матрица смежности уровней яркости.

In this article shows the results obtained after the texture analysis of satellite images with the mesoscale convective overcast, computed texture features, based on which were identified by the different types of systems of shallow convection, found between the values of textural features and the height of the convective cells open and closed, and the cloud ridges.

Key words: mesoscale overcast, convective cells are open or closed, texture, texture features, the adjacency matrix of brightness levels.

Мезомасштабные вихри различных масштабов играют важную роль в формировании опасных явлений погоды [1]. При этом системы мелкой конвекции не отражаются на синоптических картах и редко продуцируют опасные явления, однако могут оказывать существенное влияние на ряд происходящих в атмосферном пограничном слое процессов [2, 3]. Так, учет влияния конвективных ячеек позволяет локализовать появление экстремальных концентраций примеси в приземном слое. При условиях, близких к штилевым, ячейковая конвекция может играть определяющую роль в формировании скорости и направления ветра в атмосферном пограничном слое. Анализ пространственной и временной изменчивости мелкой конвекции необходим как дополнительная, а над районами, малоосвещенными данными наблюдений, как основная информация для оценки синоптической обстановки и возможных условий погоды.

Типичными структурами воздушных течений в режиме мелкой конвекции являются открытые и закрытые конвективные ячейки, имеющие в плане квазিশестиугольную структуру, а также квазидвумерные облачные гряды [2].

Граница между конвективными ячейками открытого и закрытого типа локализует границу между холодным и теплым воздухом, изменение диаметра ячеек отражает изменение мощности конвективного слоя, а направление облачных гряд — направление ветра [2, 3].

Целью данной работы является разработка методики идентификации конвективных облачных систем мезомасштаба на снимках, полученных с метеорологических спутников, и определение некоторых метеопараметров по рисунку и размеру таких облачных мезоструктур. Для идентификации в данной работе применялся метод текстурного анализа [4–8].

Для текстурного анализа были выбраны четыре некоррелированных текстурных признака [4, 5], рассчитанные с помощью матрицы смежности уровней яркости. Каждый элемент матрицы смежности $P_{r,\alpha}(i, j)$ соответствует значению частоты, с которой каждая пара точек (одна с яркостью i и другая с яркостью j), отстоящих друг от друга на расстоянии r в направлении α , встречается на изображении. В данной работе вычислялась средняя матрица смежности по 4 направлениям при межпиксельном расстоянии $r = 1$.

Текстурные признаки рассчитывались по следующим формулам:

$$\text{контраст} — C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i-j)^2 p(i, j), \quad (1)$$

$$\text{однородность} — U = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(i, j), \quad (2)$$

$$\text{энтропия} — F = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(i, j) \log[p(i, j)], \quad (3)$$

$$\text{обратный момент} — M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{p_{i,j}}{1 + (i-j)^2}, \quad (4)$$

где N — количество уровней яркости в изображении.

На рис. 1 представлены примеры фрагментов спутниковых изображений систем мелкой конвекции. Для этих же фрагментов мезоструктур на рис. 2 в графической форме приведены матрицы смежности. Каждая матрица смежности представлена полем 256×256 элементов, каждый из которых имеет значение $p_{i,j}$. Белым цветом обозначены нулевые значения матрицы, потемнение ячейки соответствует увеличению значения матрицы.

Самой компактной оказалась матрица смежности закрытых ячеек, значения матрицы группируются вдоль главной диагонали, т.е. при $i = j$. Элементы матрицы смежности облачных гряд распределены в пределах матрицы относительно равномерно.

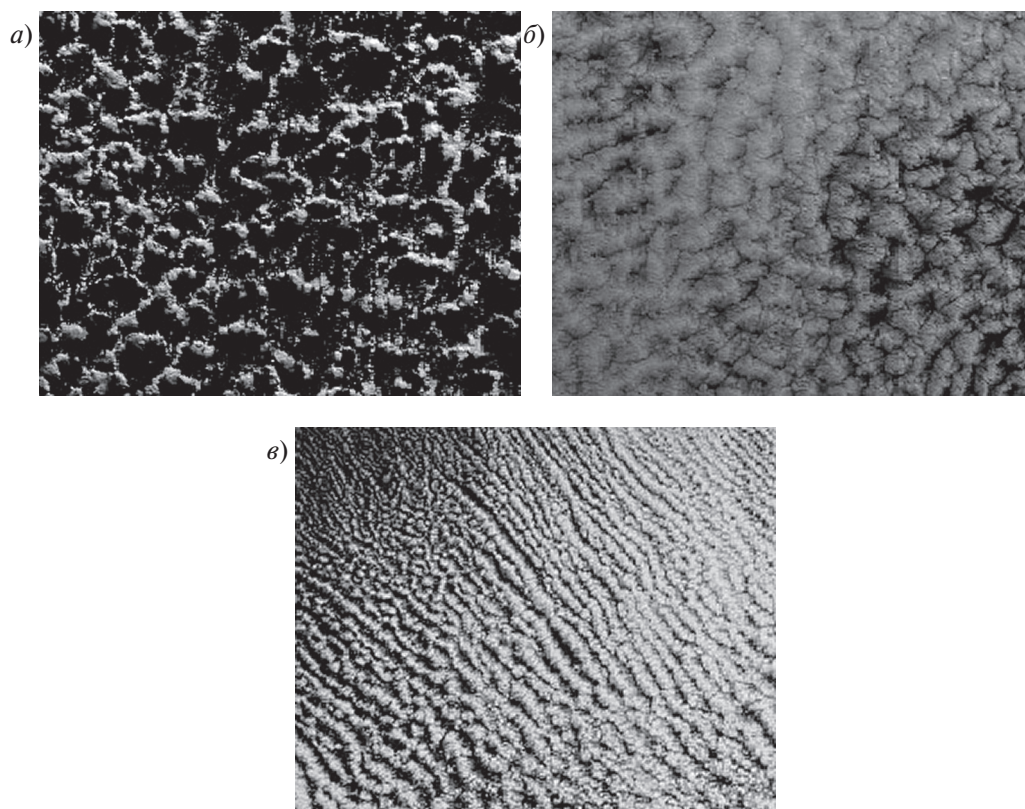


Рис. 1. Исходные фрагменты спутникового снимка: *а* — открытые ячейки; *б* — закрытые ячейки; *в* — облачные гряды.

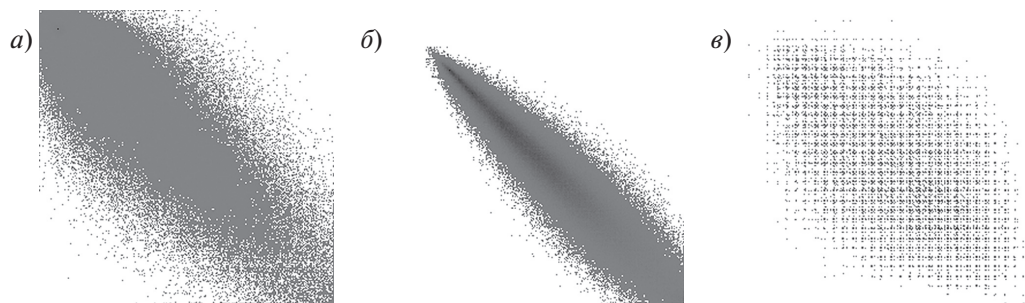


Рис. 2. Матрицы смежности для *а*) открытых ячеек; *б*) закрытых ячеек; *в*) облачных гряд.

Текстурные признаки для каждого типа мезоконвективной системы вычислялись по формулам (1)–(4). На рис. 3 представлены гистограммы всех вычисленных текстурных признаков для каждой мезоструктуры. Анализ значений текстурных признаков показал, что контраст принимает наименьшие значения для класса облачные гряды, а наибольшие — у закрытых ячеек. Видимо, это связано с тем, что признак контраст определяется величиной локальных вариаций яркости изображения. С увеличением числа локальных вариаций контраст возрастает, т.е. для более пестрых текстур значения получаются больше, чем для менее пестрых. Самым компактным по признаку контраст оказался класс открытых ячеек. Для этого класса контраст принимает некоторые промежуточные значения между классами облачных гряд и закрытых ячеек. Класс закрытых ячеек обладает наибольшей изменчивостью. Все три класса хорошо отделены друг от друга.

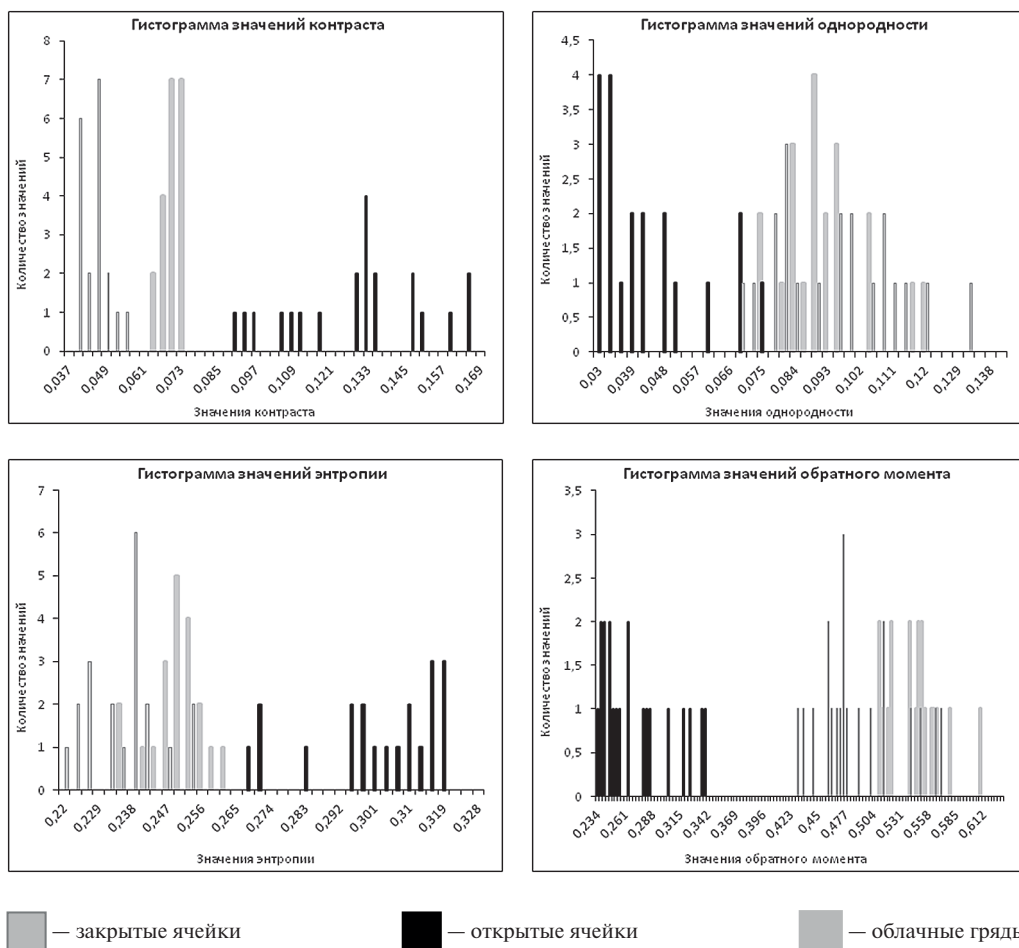


Рис. 3. Гистограммы текстурных признаков: контраст, энтропия, однородность и обратный момент.

Признак однородность имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд.

Признак энтропия, выражающий неравномерность распределения яркостных свойств элементов изображения, имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд. Наименьшие значения энтропии оказались у класса облачные гряды, наибольшие — у закрытых ячеек.

Наименьшие значения обратного момента оказались у класса закрытые ячейки, наибольшие — у открытых ячеек. Признак обратный момент имеет близкие значения для классов открытых ячеек и облачных гряд. Признаки однородность, энтропия и обратный момент обладают довольно большой дисперсией для всех трех классов.

Таким образом, для идентификации открытых ячеек и облачных гряд наилучшим оказался текстурный признак контраст, для идентификации закрытых ячеек — признак обратный момент.

Известно, что диаметр конвективной ячейки и расстояние между облачными грядами связаны с вертикальным размером конвективного слоя [2]. По 60 фрагментам спутниковых снимков с разными типами мезоконвекции с учетом пространственного разрешения были измерены горизонтальные диаметры ячеек D и расстояния между облачными грядами L , на основе эмпирических формул $h = D/30$ для открытых ячеек, $h = D/21$ для закрытых ячеек, $h = L/6$ для облачных гряд, приводимых в работе [2], вычислены мощности слоя конвекции h для каждого типа облачности. На рис. 4 представлена связь текстурных признаков и мощности конвективного слоя ячеек закрытого типа, на рис. 5 — открытого типа, на рис. 6 — облачных гряд.

С увеличением мощности конвективного слоя ячеек закрытого типа значения контраста, однородности и обратного момента уменьшаются. Коэффициенты корреляции по модулю больше 0,7. Значения энтропии возрастают с увеличением мощности конвективного слоя, коэффициент корреляции 0,62.

С увеличением мощности конвективного слоя ячеек открытого типа значения контраста и энтропии уменьшаются, коэффициенты корреляции: $-0,53$ и $-0,62$ соответственно, а значения однородности и обратного момента увеличиваются, коэффициенты корреляции: 0,5 и 0,6.

С увеличением мощности конвективного слоя облачных гряд значения контраста и энтропии уменьшаются, коэффициенты корреляции: $-0,6$ и $-0,68$, а однородность и обратный момент возрастают, коэффициенты корреляции: 0,7 и 0,67.

Таким образом, геометрические размеры конвективных ячеек как горизонтальные, так и вертикальные, имеют сильную корреляцию со значениями текстурных признаков. Вследствие этого последние можно использовать для оценки геометрических размеров конвективных ячеек в процессе тематической обработки спутниковых изображений.

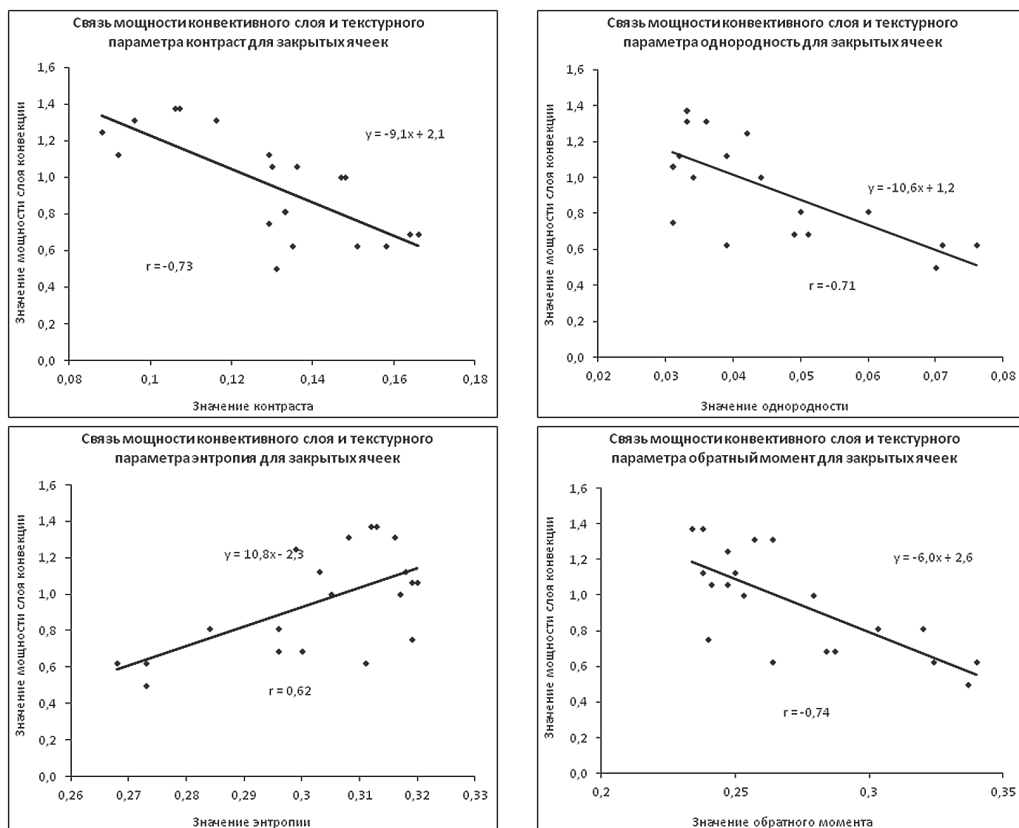
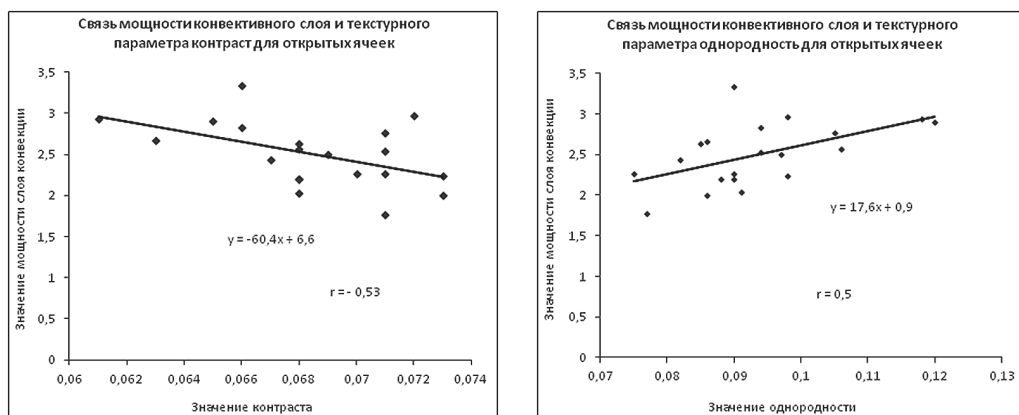


Рис. 4. Связь мощности конвективного слоя закрытых ячеек и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.



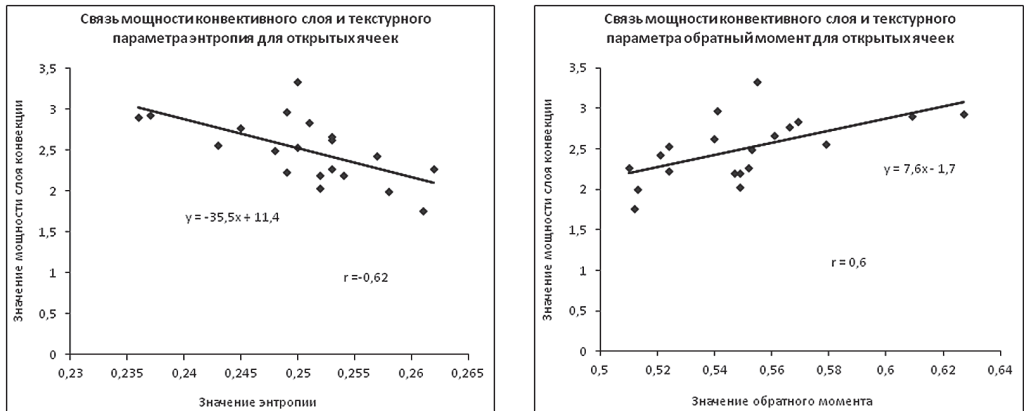


Рис. 5. Связь мощности конвективного слоя открытых ячеек и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.

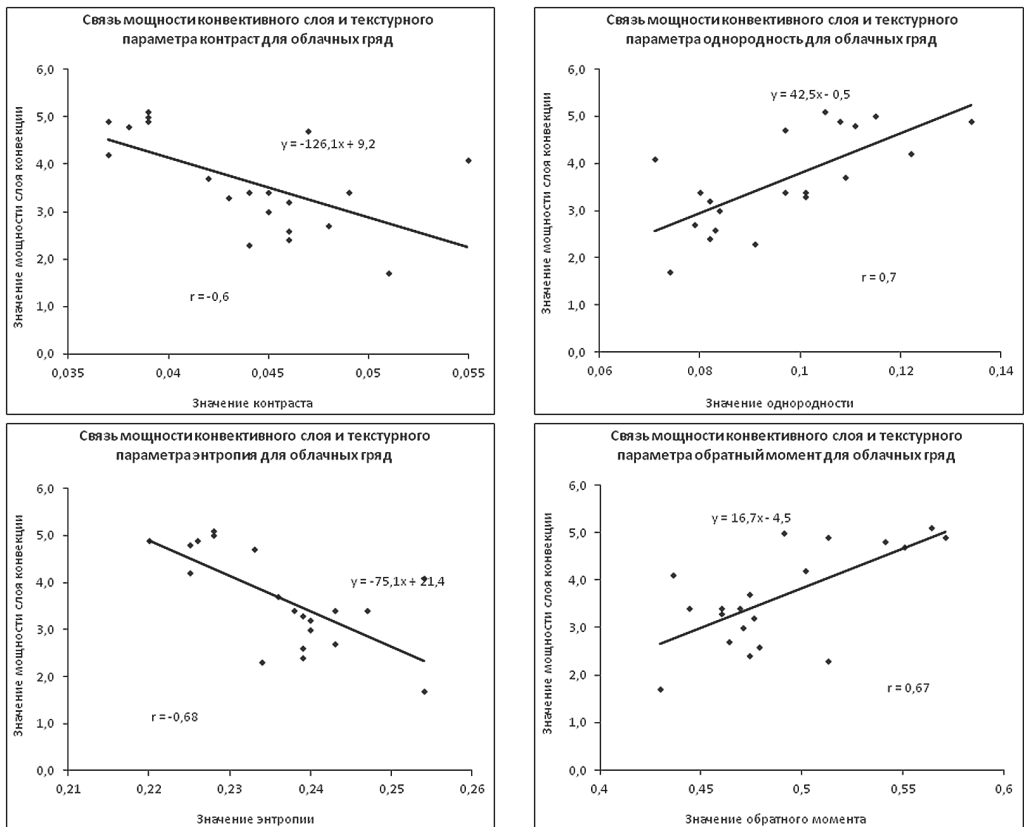


Рис. 6. Связь мощности конвективного слоя облачных гряд и текстурных параметров: контраст, однородность, энтропия и обратный момент.

Литература

1. *Заболотских Е.В., Бобылев Л.П., Дикинис А.В., Неелова Л.О., Смирнова Ю.Е.* Особенности формирования и классификация штормовых мезомасштабных вихрей. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 16, с. 59–76.
2. *Вельтищев Н.Ф.* Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. // Сб. лекций. — Женева, 1988. — 136 с.
3. *Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М.* Мезометеорологические процессы. Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2006. — 101 с.
4. *Харалик Р.М.* Статистический и структурный подходы к описанию текстур. // ТИИЭР, 1979, т. 67, № 5, с. 98–120.
5. *Кузнецов А.Д.* Текущее прогнозирование на основе цифровой обработки изображений. — СПб.: РГГМУ, 1997. — 167 с.
6. *Симакина Т.Е.* Цифровая обработка спутниковых снимков с помощью ГИС IDRISI. — СПб.: РГГМУ, 2004. — 45 с.
7. *Сероухова О.С.* Лабораторный практикум по дисциплине «Геоинформационные системы». — СПб.: РГГМУ, 2007. — 116 с.
8. *Симакина Т.Е.* Получение и обработка спутниковых снимков. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 127 с.

Н.О. Григоров, К.Л. Восканян, М.С. Караваяева

О СООТНОШЕНИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМОМЕТРОВ

N.O. Grigorov, K.L. Voskanyan, M.S. Karavaeva

SENSIBILITY AND HEAT INERTIA RELATIONSHIP FOR SEVERAL KINDS OF THERMOMETERS

В данной работе сделана попытка исследования разумных пределов увеличения точности наиболее употребляемых типов термометров — жидкостных термометров, биметаллических термометров и термометров сопротивления. Полученные результаты, также как и методика подхода, могут быть распространены и на другие термометры, обладающие термометрическим телом.

Ключевые слова: жидкостные термометры, биметаллические термометры, термометры сопротивления, чувствительность, тепловая инерция, температура воздуха.

In this paper, we make an analyze of reasonable limits to increase accuracy of the most used types of thermometers — liquid thermometers, bimetallic thermometers and resistance sensors. The received results, also as well as the method to do, can be used to other thermometers having a thermometric body.

Key words: liquid thermometers, bimetallic thermometers, resistance sensors, sensibility, heat inertia, air temperature.

Важнейшей характеристикой любого измерительного прибора является его чувствительность, величина которой (S) определяется формулой [3, 5]:

$$S = \frac{dY}{dX}, \quad (1)$$

где Y и X — соответственно выходная и входная величина прибора. Для термометров входной величиной является температура, выходная величина зависит от конструкции термометра.

Увеличение чувствительности позволяет измерить температуру с большей точностью. Однако, существует предел увеличения чувствительности, связанный с тепловой инерцией термометра. По причине тепловой инерции все термометры обладают так называемой инерционной погрешностью. В тех случаях, когда эта погрешность превышает требуемую точность измерений, дальнейшее повышение точности становится лишенным смысла.

Приняв высоту столбика жидкости h в качестве выходного параметра, определим чувствительность жидкостного термометра выражением:

$$S = \frac{dh}{dt}. \quad (2)$$

Выражая высоту h через параметры термометра с шарообразным резервуаром, приходим к выражению:

$$h = \beta \cdot t \cdot \frac{4}{3r^2} \cdot R^3, \quad (3)$$

где β — коэффициент объемного расширения жидкости; R — радиус резервуара термометра; r — радиус капилляра; t — температура.

Соответственно чувствительность термометра с шарообразным резервуаром можно рассчитать по формуле (4), а чувствительность жидкостного термометра с цилиндрическим резервуаром по формуле (5):

$$S = \frac{dh}{dt} = \beta \frac{4}{3r^2} \cdot R^3, \quad (4)$$

$$S = \beta \frac{R_1^2}{r^2} \cdot l, \quad (5)$$

где l — длина цилиндра; R_1 — его радиус.

В то же время коэффициент тепловой инерции термометра может быть рассчитан по формуле:

$$\lambda = \frac{mC}{\alpha S}, \quad (6)$$

где m — масса термометрического тела; C — удельная теплоемкость материала, из которого оно изготовлено (в данном случае, ртуть); α — коэффициент конвективного теплообмена между термометрическим телом и средой; S — площадь шарообразного термометра.

Выражая массу и площадь резервуара через его радиус, приходим к соотношению:

$$\lambda = \frac{4}{3} \frac{RC\rho}{\alpha}, \quad (7)$$

где ρ — плотность жидкости термометра.

Примем в качестве базовой модели термометр ТМ-4, применяемый для измерений температуры в психрометрической будке [1, 2], со следующими параметрами:

- чувствительность — 3 мм/К;
- диаметр резервуара — 5,4 мм;
- радиус капилляра — 0,037 мм;
- длина капилляра — 300 мм.

Рассчитанный по формуле (7) коэффициент тепловой инерции термометра ТМ-4 составляет около 100 с. В термометре ТМ-4 отсчет возможен до десятых долей градуса,

следовательно, допустимая погрешность не превышает 0,05 К. Зная значение чувствительности термометра (3 мм/К), легко определить соответствующую допустимой погрешности величину перемещения столбика ртути:

$$\Delta h = S \cdot \Delta t = 0.15 \text{ мм.} \quad (8)$$

Цена деления шкалы тесно связана с физиологическими особенностями человека, с остротой его зрения. Будем считать величину $\Delta h = 0,15$ мм предельно возможной и примем её значение постоянным в наших расчетах.

Измерения становятся нерепрезентативными, если допустимая погрешность становится меньше инерционной ошибки. Инерционную ошибку можно определить по формуле [3, 5]:

$$\Delta t_{\text{ин}} = \gamma \lambda, \quad (9)$$

где γ — скорость изменения температуры среды.

Как известно [7], изменение температуры среды может быть обусловлено следующими процессами:

- годовым изменением средней температуры (характерное время — десятки суток);
- суточным изменением температуры (характерное время — не менее одного часа);
- краткосрочными погодными изменениями температуры, связанными с прохождением фронтов, и мелкомасштабных погодных образований (характерное время — несколько минут);
- флуктуациями температуры, обусловленными локальными причинами (характерное время — секунды и доли секунды).

Сравнивая значения характерного времени с коэффициентом инерции термометра, можно сделать вывод, что годовые и суточные изменения температуры остаются за рамками данной работы по причине их уверенного измерения всеми существующими типами термометров. Краткосрочные погодные изменения необходимо принимать в расчет, однако термометр с коэффициентом инерции 100 с и менее дает пренебрежимо малую погрешность. Что же касается флуктуаций температуры, обусловленных локальными процессами, то температура может изменяться со скоростью 0,01 К в секунду и более, но эти изменения носят характер случайных флуктуаций. Обычно в метеорологических измерениях такие флуктуации не регистрируются, так как не являются погодообразующими.

Рассчитаем предельную скорость изменения температуры, при которой имеет смысл измерение температуры с погрешностью, обусловленной чувствительностью термометра. Для этого примем следующее утверждение: погрешность, обусловленная чувствительностью равна погрешности, обусловленной инерцией термометра, рассчитанной по формуле (9). Результаты расчета для шарообразного ртутного термометра представлены на рис. 1.

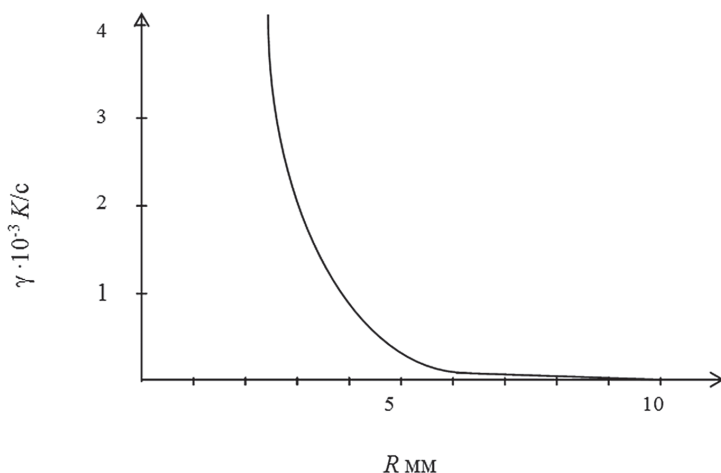


Рис. 1. Зависимость предельной скорости изменения температуры, регистрируемой ртутным термометра с шарообразным резервуаром от радиуса резервуара.

Видно, что для термометра ТМ-4, радиус резервуара которого равен 2,7 мм, предельно большая скорость изменения температуры составляет 0,004 К/с, или около одного градуса за 250 с (примерно за 4 мин). Это немногим больше, чем характерная скорость изменения температуры, обусловленная погодными процессами. Следовательно, инерционная погрешность для таких термометров может не приниматься в расчет из-за её малой величины. Для термометров с радиусом резервуара 4 мм значение предельно большой скорости составляет уже около 0,001 К/с, или 1 К за 10 мин, а для термометра с радиусом резервуара 6 мм — уже около 1 К за 1 ч. Эти скорости характерны уже для суточных изменений температуры, и гораздо меньше скорости краткосрочных погодных изменений.

Дальнейшее увеличение размера резервуара термометра ведет к уменьшению погрешности, однако при этом резко падает значение предельно допустимой скорости изменения температуры. Ртутные термометры с цилиндрическим резервуаром обладают несколько меньшим коэффициентом инерции, но он отличается от термометров с шарообразным резервуаром максимум в 2 раза. Следовательно, регистрация флуктуаций температуры с помощью ртутных термометров невозможна.

Для расчета чувствительности спиртового термометра с цилиндрическим резервуаром воспользуемся формулой (5). Примем следующее значение необходимых констант:

- радиус капилляра — 0,3 мм,
- радиус резервуара — 2 мм,
- коэффициент объемного расширения спирта $\beta = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ [6].
- коэффициент теплообмена между резервуаром термометра и средой (при отсутствии ветрового потока) $\alpha = 50 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$ [4]
- удельная теплоемкость спирта $C = 2,39 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$ [6],
- плотность спирта $\rho = 0,79 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ [6].

Коэффициент тепловой инерции для такого термометра рассчитаем по формуле:

$$\lambda = \frac{\pi R l \rho C}{2\pi \cdot \alpha (R + l)}. \quad (10)$$

Результаты расчета чувствительности спиртового термометра и предельно большой скорости изменения температуры, как функции длины цилиндрического резервуара, показаны на рис. 2 и 3.

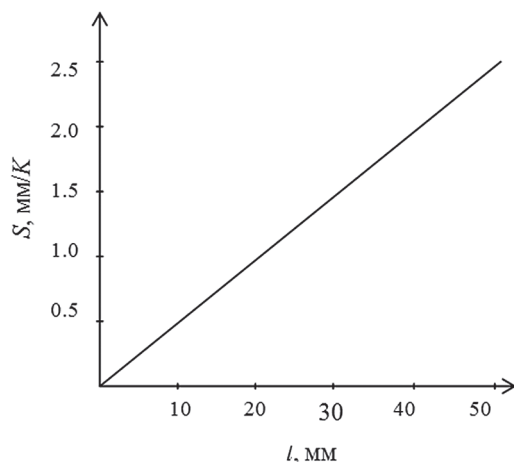


Рис. 2. Зависимость чувствительности спиртового термометра от длины его резервуара.

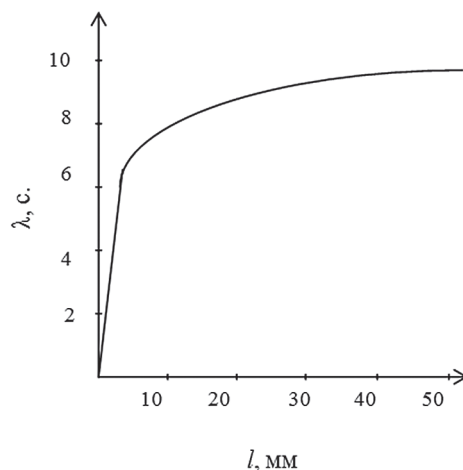


Рис. 3. Зависимость коэффициента тепловой инерции спиртового термометра от длины его резервуара.

Совершенно очевидно, что поскольку коэффициент инерции спиртового термометра гораздо меньше коэффициента инерции ртутного термометра, то измерение температуры, вызванное погодными процессами, может проводиться с их помощью достаточно уверенно. Измерение флуктуаций температуры, имеющее характерное время несколько секунд, может проводиться с погрешностью, не превышающей 0,5 К при характерном времени флуктуаций 2 с. Это, однако, слишком большая погрешность для метеорологических измерений.

Итак, спиртовые термометры способны регистрировать не только изменения температуры, обусловленные погодными факторами, но и температурные флуктуации, однако, точность этих измерений очень невысокая.

Исследуем теперь возможности биметаллического термометра. Примем биметаллический датчик изготовленным из инвара и стали. Пусть показывающая стрелка закреплена на одном конце пластинки, тогда как другой конец неподвижен. Тогда чувствительность датчика можно определить по формуле [3, 5]:

$$S = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{L_0 (\beta_1 - \beta_2)}{d}, \quad (11)$$

где φ — угол отклонения стрелки; L_0 — длина биметаллической пластины при 0°C ; d — её толщина.

Соответственно, ошибка измерения, обусловленная чувствительностью, равна:

$$\delta t = \frac{\Delta x}{S} = \frac{\Delta x \cdot d}{L_0 (\beta_1 - \beta_2)}, \quad (12)$$

где Δx — цена деления шкалы (в расчете принято $\Delta x = 0,5$ мм).

В то же время инерционная ошибка датчика определяется следующим соотношением:

$$\Delta t = \frac{\gamma \cdot \rho \cdot d \cdot C}{2\alpha}. \quad (13)$$

Здесь приняты те же обозначения, что и в формуле (10). Поскольку удельная теплоемкость инвара и стали не очень сильно отличаются [8], то было принято среднее значение $C = 466$ Дж/(кг·К).

Приравняв значения δt и Δt , найдем такую длину пластины, которая отвечает максимальной чувствительности, но не дает инерционную ошибку, не превышающую значений δt .

$$L = \frac{2\alpha \cdot \Delta x}{\gamma \cdot \rho \cdot C (\beta_1 - \beta_2)}. \quad (14)$$

В результате оптимальная длина биметаллической пластинки определена как 6,6 см. Интересно отметить, что результат получается не зависящим от толщины биметаллической пластины. Сама ошибка измерения при соблюдении этого условия составляет около 0,06 К. Таким образом, биметаллический датчик можно применять для регистрации температурных флуктуаций, с погрешностью не менее, чем 0,06 К.

Теперь исследуем возможности применения термометра сопротивления. Как известно, этот датчик представляет собой тонкую проволочку, как правило, скрученную в жгут. Примем датчик изготовленным из проводниковой меди. Тогда чувствительность неуравновешенного термометра сопротивления, определяемая как изменение тока в измерительной диагонали при изменении температуры на градус, рассчитывается по формуле (15) [3, 5]:

$$S = \frac{di}{dt} = \frac{U \cdot \mu}{4(R_g + R)}, \quad (15)$$

где U — напряжение питания мостовой схемы; μ — температурный коэффициент изменения сопротивления (для меди $\mu = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$); R_g — внутреннее сопротивление измерительного прибора; R — сопротивления входящих в плечи схемы резисторов.

Сопротивление датчика примем равным 100 Ом, радиус медного проводника (r) примем равным 0,05 мм, удельное сопротивление меди (ρ_s) равно 0,017 Ом/мм²·м,

плотность меди (ρ_n) равна 8900 кг/м³ [8]. Коэффициент теплообмена между датчиком и средой, как прежде, примем равным 50 Дж/кг·К [4].

При этих значениях, расчет дает значение чувствительности 27,3 мкА/К. Это вполне достижимая, и даже не самая большая точность для электроизмерительных приборов.

Примем проволочный датчик скрученным в жгутик и помещенным в цилиндр радиусом r и длиной l . Тогда при сопротивлении провода 100 Ом, его коэффициент инерции, рассчитанный по формуле (10), оказался равен 173 с. Это не намного отличается от коэффициента инерции ртутных термометров и делает датчик совершенно непригодным для регистрации флуктуаций температуры.

Теперь представим себе, что провод размотан по всей длине и представляет собой конструкцию в виде, например, сетки. Тогда приняв для площади датчика площадь боковой поверхности цилиндрического провода, получаем окончательное выражение для коэффициента инерции такого датчика:

$$\lambda = \frac{\rho_n \cdot C}{2\alpha} \cdot r. \quad (16)$$

Интересно, что коэффициент инерции датчика, выполненного в виде размотанного провода, не зависит от длины этого провода! Он зависит только от природы материала, используемого для этого провода (точнее, от его плотности и удельной теплоемкости), а также от радиуса этого провода, причем зависимость от радиуса линейная. Расчет по формуле (16) приводит к результату, изображенному на рис. 4.

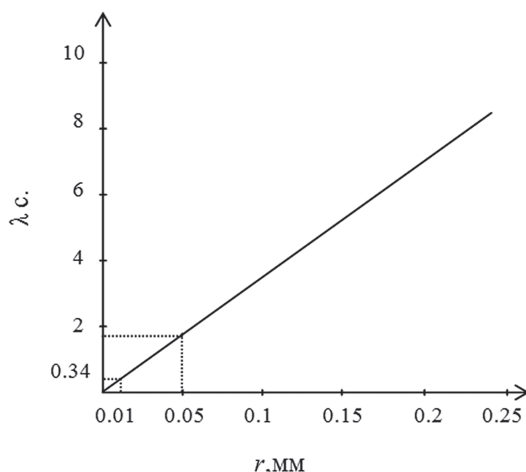


Рис. 4. Зависимость коэффициента инерции терморезистора с размотанным проводом от радиуса провода.

Видно, что для принятого значения $r = 0.05$ мм значение коэффициента тепловой инерции будет равно 1,7 с. Это делает датчик вполне пригодным для измерения всех типов изменения температуры воздуха, даже ее флуктуаций. Уменьшение радиуса провода до 0,01 мм (что вполне реально, провод такого радиуса выпускается

промышленностью) снижает коэффициент инерции до десятых долей секунды. Тогда датчик можно использовать для измерения флуктуаций температуры с характерным временем менее, чем одна секунда.

Такой датчик становится тем более привлекательным для измерения случайных флуктуаций, если учесть точность измерения, обусловленную чувствительностью прибора — до 0,01 К.

Подводя итог выполненным исследованиям, отметим, что:

- ртутные термометры с шарообразным или цилиндрическим резервуаром пригодны для измерения температуры только в случае, если оно обусловлено суточными или погодными изменениями. Однако, они совершенно непригодны для регистрации случайных флуктуаций температуры. Их коэффициент инерции не может быть ниже нескольких десятков секунд.
- спиртовые термометры с цилиндрическим резервуаром имеют большую чувствительность и меньшую инерцию по сравнению с ртутными термометрами. И могут быть использованы как для регистрации погодных изменений температуры, так и для регистрации случайных флуктуаций, если характерное время флуктуаций не менее 2 с, с точностью не более 0,5 °С.
- биметаллический датчик можно применять для регистрации температурных флуктуаций, с погрешностью не менее, чем 0,06 К.
- термометры сопротивления могут уверенно быть использованы для регистрации флуктуаций температуры, если датчик представляет собой размотанный провод. Их можно применять для измерения флуктуаций температуры с характерным временем до 0,5 с с точностью до 0,01 °С.

Литература

1. *Городецкий О.А., Гуральник И.И., Ларин В.В.* Метеорология, методы и технические средства наблюдений. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 327 с.
2. ГОСТ 112-78 Термометры метеорологические стеклянные. — М.: Стандартинформ, 2006. — 15 с.
3. *Григорьев Н.О., Саенко А.Г. Восканян К.Л.* Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. Учебник. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 306 с.
4. *Григорьев Н.О., Симакина Т.Е.* Задачник по дисциплине «Методы и средства гидрометеорологических измерений». — СПб.: РГГМУ, 2006. — 41 с.
5. *Качурин Л.Г.* Методы метеорологических измерений. Методы зондирования атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 465 с.
6. *Кухлинг Х.* Справочник по физике. Перевод с немецкого под ред. Е.М.Лейкина. — М.: Мир, 1983. — 520 с.
7. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 751 с.
8. Руководство к лабораторным работам по экспериментальной физике атмосферы. Под ред. Качурина Л.Г. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 510 с.

В.А. Драбенко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

V.A. Drabenko

USING OPTICAL RELATIONSHIPS FOR DEVELOPMENT OF INTEGRAL METHODS OF ATMOSPHERE LIDAR PROBING

Рассмотрены лидарные методы, использующие соотношение коэффициента ослабления и коэффициента обратного рассеяния. Выполнено сравнение погрешностей коэффициента ослабления и оптической толщины, определенных системой, включающей лидар и отражатель. Показано, в каких случаях оптическая толщина определяется более точно, чем коэффициент ослабления.

Ключевые слова: лидар, зондирование, отражатель, атмосфера, погрешность, коэффициенты ослабления и обратного рассеяния, оптическая толщина.

There were considered the lidar methods using the relationship between the extinction coefficient and backscattering coefficient. There were compared the errors of the extinction coefficient and the optical thickness determined by the system including lidar and reflector. It is shown in what cases the optical thickness is determined more accurately than the extinction coefficient.

Key words: lidar, probing, reflector, atmosphere, error, extinction and backscattering coefficients, optical thickness.

Методы многопозиционного лидарного зондирования атмосферы [5] разрабатываются для определения различных атмосферных характеристик, включая МДВ. Интерпретация данных многопозиционного зондирования основывается на интегральном решении лидарного уравнения [6]. Это решение связывает сигнал обратного рассеяния с коэффициентом ослабления атмосферы в двух вершинах замкнутого многоугольника, образованного отрезками пересекающихся трасс зондирования [1]. В основанных на данном решении методах [2] используется степенная зависимость коэффициента ослабления от коэффициента обратного рассеяния, которая является приближенной. Она выпадает при стягивании многоугольника в точку [3], но в таком случае решаемая обратная задача становится математически некорректной. Рассмотрение различных многоугольников с общей вершиной [6] дает возможность определить параметры степенной зависимости, если она достаточно реалистична. Таким образом, актуальна задача исследования [7] и использования зависимости коэффициента ослабления от коэффициента обратного рассеяния в натуральных условиях.

В настоящей работе рассматриваются соответствующие методы. Проводится детальный анализ точности этих методов.

Однопозиционные схемы зондирования с отражением излучения

В рассматриваемых схемах лидар посылает импульс, который отражается зеркалом в обратном направлении. Принимается эхосигнал от рассеивающего объема в точке R_1 от лидара, в которой коэффициент ослабления равен σ_1 . Эхосигнал до отражения от зеркала в этой точке равен S_1 , а после отражения равен S_{11} . Оптическая толщина участка, ограниченного точкой R_1 и зеркалом в точке R_2 , равна τ_1 .

Представляется интересным сравнить случайную погрешность δ_{σ_1} величины σ_1 и исследованную [5] δ_{τ_1} величины τ_1 для однопозиционных схем зондирования с отражением излучения в линейном приближении, пренебрегая погрешностью величины R , но учитывая, в отличие от предыдущих работ, погрешность определения связи коэффициентов ослабления и обратного рассеяния.

Случайная погрешность δ_{σ_1} определяется формулой:

$$\delta_{\sigma_1}^2 = \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial P_1} \right)^2 \delta_1^2 + \left(\frac{\partial \sigma_1}{\partial P_{11}} \right)^2 \delta_{11}^2. \quad (1)$$

Ее можно рассчитать на основании решения системы уравнений для определения величин m , σ_1 , которую можно записать в виде:

$$\frac{S_1^m}{S_{11}^m} - 1 = m B_1 \sigma_1, \quad (2)$$

$$\frac{S_1^{m/2}}{S_{11}^{m/2}} - \frac{S_{11}^{m/2}}{S_1^{m/2}} = m C_1, \quad (3)$$

где

$$B_1 = 2 \left(\int_{R_1}^{R_2} \frac{S^m}{S_{11}^m} dR + \int_{R_1}^{R_2} \frac{S_1^m}{S_{11}^m} dR \right), \quad (4)$$

$$C_1 = 2 \left(\int_{R_1}^{R_2} S^m dR + \int_{R_1}^{R_2} S_1^m dR \right) D^{-m/2} \exp \left(2 \int_0^{R_2} \sigma dR \right). \quad (5)$$

На основании уравнений (2), (3), пренебрегая вкладом в случайную погрешность параметров B_1 , C_1 , содержащих интегральные величины, можно получить выражения

для производных $\frac{\partial m}{\partial S_1}$, $\frac{\partial m}{\partial S_{11}}$, $\frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1}$, $\frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_{11}}$.

С учетом равенства

$$S_1 / S_{11} = \exp(4\tau_1) \quad (6)$$

получаются выражения для производных $\frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial P_1}$, $\frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial P_{11}}$.

Для выполнения сравнения случайных погрешностей δ_{σ_1} и δ_{τ_1} с учетом равенства

$$\tau_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{S_1}{S_{11}}, \quad (7)$$

получается выражение

$$\frac{\delta_{\tau_1}}{\tau_1} / \frac{\delta_{\sigma_1}}{\sigma_1} = \frac{2m\tau_1(\exp(4m\tau_1) + 1) - \exp(4m\tau_1) + 1}{2m\tau_1(\exp(4m\tau_1) - 1)}. \quad (8)$$

Анализ результатов сравнения случайных погрешностей δ_{σ_1} и δ_{τ_1} , выполненного с использованием формулы (8), показывает, что оптическая толщина определяется точнее коэффициента ослабления. При увеличении оптической толщины τ_1 различие погрешностей уменьшается.

Применимость выполненного исследования ограничена условиями, когда известна постоянная в связи коэффициента ослабления и коэффициента обратного рассеяния. В противном случае следует рассмотреть систему уравнений, сформулированную в следующем разделе.

Случайная погрешность решения обратной задачи лидарного зондирования для двухточечных однопозиционных схем

Случайная погрешность δ_m двухточечных однопозиционных схем зондирования с отражением излучения определяется формулой, связывающей ее со случайными погрешностями эхосигналов:

$$\delta_m^2 = \left(\frac{\partial m}{\partial P_1} \right)^2 \delta_1^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_{11}} \right)^2 \delta_{11}^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_2} \right)^2 \delta_2^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_{21}} \right)^2 \delta_{21}^2, \quad (9)$$

где P_1 , P_2 — мощности эхо-сигналов, измеренные в двух рассматриваемых точках R_1 , R_2 до отражения; P_{11} , P_{21} — мощности эхо-сигналов, измеренные в тех же точках после отражения, отражатель располагается в точке R_3 .

Величину δ_m можно рассчитать на основании решения системы уравнений в приближении степенной связи между коэффициентом ослабления и коэффициентом обратного рассеяния. Эту систему для определения степени связи m можно записать в виде:

$$\delta_m^2 = \left(\frac{\partial m}{\partial P_1} \right)^2 \delta_1^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_{11}} \right)^2 \delta_{11}^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_2} \right)^2 \delta_2^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial P_{21}} \right)^2 \delta_{21}^2, \quad (10)$$

$$\frac{S_2^m}{S_{21}^m} - 1 = m B_2 \sigma_2, \quad (11)$$

$$\sigma_2 S_1^{m/2} S_{11}^{m/2} = \sigma_1 S_2^{m/2} S_{21}^{m/2}, \quad (12)$$

где σ_1 — коэффициент ослабления в ближней к лидару точке R_1 ; σ_2 — коэффициент ослабления в точке R_2 .

На основании уравнений (10)–(12) можно получить выражения для производных $\frac{\partial m}{\partial S_1}, \frac{\partial m}{\partial S_{11}}, \frac{\partial m}{\partial S_2}, \frac{\partial m}{\partial S_{21}}, \frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_1}, \frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_{11}}, \frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_2}, \frac{1}{\sigma_1} \frac{\partial \sigma_1}{\partial S_{21}}$.

Случайную погрешность δ_m можно сравнить с исследованной [1] случайной погрешностью δ_{τ_1} оптической толщины τ_1 отрезка, ограниченного точками R_1, R_2 . Последнюю можно рассчитать на основании решения системы уравнений, которое можно записать в виде:

$$\frac{S_1 S_{21}}{S_{11} S_2} = \exp(4\tau_1). \quad (13)$$

Для относительной случайной погрешности δ_{τ_1}/τ_1 получается выражение:

$$\frac{\delta_{\tau_1}}{\tau_1} = \frac{1}{4\tau_1} \left\{ \left(\frac{\delta_1}{P_1} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{21}}{P_{21}} \right)^2 + \left(\frac{\delta_{11}}{P_{11}} \right)^2 + \left(\frac{\delta_2}{P_2} \right)^2 \right\}^{1/2}. \quad (14)$$

Сравнить случайные погрешности $\delta_m/m, \delta_{\sigma_1}/\sigma_1$ можно, рассчитав отношение:

$$\begin{aligned} \frac{\delta_m}{m} / \frac{\delta_{\tau_1}}{\tau_1} = & 2\tau_1 \left\{ q_1 + (q_2 + q_3) \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^{1/m} \right\}^{-1/2} |4q_5 \tau_{13} - \\ & - q_4 q_6|^{-1} \left\{ q_1 [(2 - q_4) q_5]^2 + q_4^2 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^{1/m} [q_2 (2 - q_5)^2 + q_3 (2 + q_5)^2] \right\}^{1/2}, \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$q_1 = 1 + (2x_3 - 1)^2 \exp(4\tau_{13}), \quad (16)$$

$$q_2 = (x_2 \exp \tau_1)^2, \quad (17)$$

$$q_3 = ((2x_3 - x_2) \exp(\tau_{13} + \tau_{23}))^2, \quad (18)$$

$$x_2 = R_2/R_1, \quad x_3 = R_3/R_1, \quad (19)$$

$$q_4 = 1 - \exp(-4m\tau_{13}), \quad (20)$$

$$q_5 = 1 - \exp(-4m\tau_{23}), \quad (21)$$

$$q_6 = \frac{q_5}{m} \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + 4\tau_{23}, \quad (22)$$

$$\tau_1 = \tau_{13} - \tau_{23}, \quad (23)$$

τ_{13} — оптическая толщина отрезка, ограниченного точками R_1, R_3 ; τ_{23} — оптическая толщина отрезка, ограниченного точками R_2, R_3 ,

$$\tau_{13} = \tau_1 \frac{x_3 - 1}{x_2 - 1}, \quad (24)$$

$$\tau_{23} = \tau_1 \frac{x_3 - x_2}{x_2 - 1}. \quad (25)$$

При выводе соотношения (15) учитываются равенства:

$$\frac{S_1}{S_{11}} = \exp(4\tau_{13}), \quad (26)$$

$$\frac{S_2}{S_{21}} = \exp(4\tau_{23}). \quad (27)$$

На рис. 1 представлены результаты сравнения случайных погрешностей δ_{σ_1} и δ_{τ_1} . Расчеты проведены в широком диапазоне оптических толщин τ_1 . Кривая 1 соответствует значению $m = 1$, кривая 2 соответствует значению $m = 0,3$. При выполнении анализа влияния величин $\tau_1, \tau_{13}, x_2, x_3, \sigma_1/\sigma_2, m$ задавались согласованные параметры, характерные для натурных атмосферных измерений. На рис. 1а представлены результаты расчетов для следующих значений параметров: $x_2 = 2, x_3 = 2,2, \tau_{13} = 6\tau_{23}, \sigma_1 = \sigma_2$. Представленные результаты показывают, что интегральные алгоритмы лидарного определения коэффициента ослабления атмосферы при заданных параметрах являются менее точными, чем алгоритмы определения ее оптической толщины. При этом различие погрешностей может достигать нескольких раз. На рис. 1б представлены результаты расчетов для следующих значений: $x_2 = 2, x_3 = 3, \tau_{13} = 2\tau_{23}, \sigma_1 = \sigma_2$. Эти результаты показывают, что рассматриваемые алгоритмы лидарного определения коэффициента ослабления атмосферы при значении $m = 1$ являются менее точными, чем алгоритмы определения ее оптической толщины. При значении $m = 0,3$ алгоритмы лидарного определения коэффициента ослабления являются менее точными при оптических толщинах $\tau_1 < 1,5$ и более точными при оптических толщинах $\tau_1 > 1,5$, чем алгоритмы определения оптической толщины.

На рис. 1в представлены результаты расчетов для значений: $x_2 = 2, x_3 = 2,2, \tau_{13} = 2\tau_{23}$, причем кривая 1 соответствует равенству $(\sigma_1/\sigma_2)^{1/m} = 0,3$, а кривая 2 — равенству $(\sigma_1/\sigma_2)^{1/m} = 0,03$. Представленные результаты показывают, что алгоритмы лидарного определения коэффициента ослабления при значении $m = 1$ являются менее точными при оптических толщинах $\tau_1 > 0,4$ и более точными при оптических толщинах $\tau_1 < 0,4$, чем алгоритмы определения оптической толщины. При значении $m = 0,3$ граничное значение оптической толщины увеличивается с 0,4 до 2.

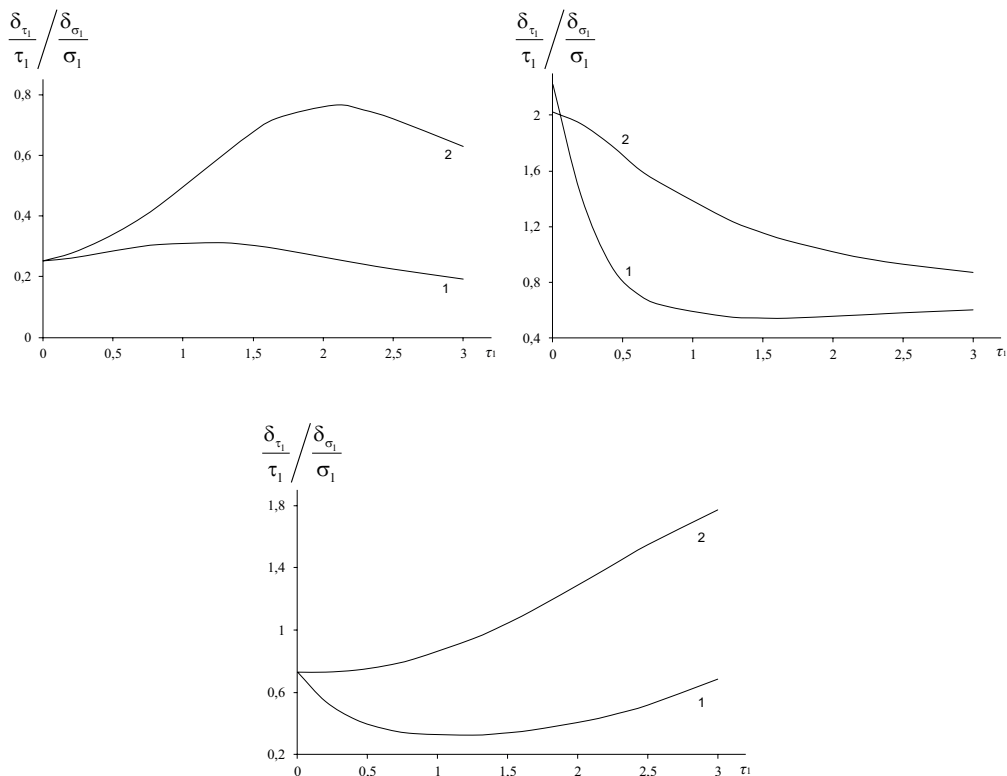


Рис. 1. Результаты сравнения случайных погрешностей коэффициента ослабления и оптической толщины.
1 — $m = 1$; 2 — $m = 0,3$.

Заключение

В работе выполнено сравнение случайных погрешностей коэффициента ослабления и оптической толщины для однопозиционных схем зондирования с отражением излучения. Сравнение выполнено с учетом погрешности, с которой определяется связь коэффициентов ослабления и обратного рассеяния. Показано, что интегральные алгоритмы лидарного определения коэффициента ослабления атмосферы могут быть

как менее, так и более точными, чем алгоритмы определения ее оптической толщины. Таким образом, для повышения точности решения рассмотренной обратной задачи целесообразно осуществить выбор используемого интегрального алгоритма в зависимости от условий выполнения измерений.

Литература

1. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Драбенко В.А., Ошуркова А.А. Методы многопозиционного лидарного зондирования атмосферы. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 16, с. 87–93.
2. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Ошуркова А.А. Методы лидарного зондирования аэрозольных загрязнений атмосферы импульсами конечной длительности. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 18, с. 48–56.
3. Пат. 2439626 Российская Федерация, МПК G01W1/04 Способ определения прозрачности атмосферы. / Егоров А.Д., Потапова И.А., заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Российский государственный гидрометеорологический университет” № 2009144060; заявл. 27.11.2009; опубл. 10.01.2012; Бюл. № 1. — 7 с.
4. Пат. 2441261 Российская Федерация, МПК G01W1/00 Способ оптического зондирования атмосферы. / Егоров А.Д., Блаkitная П.А., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Российский государственный гидрометеорологический университет” № 2010143286; заявл. 22.10.2010; опубл. 27.01.2012; Бюл. № 3. — 7 с.
5. Egorov A.D., Potapova I.A., Shchukin G.G. Lidar methods for probing an atmospheric aerosol. // Journal of Optical Technology, 2001, 68, № 11, pp. 801–804.
6. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem. // International Journal of Remote Sensing, 2008, 29, pp. 2449–2468.
7. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B., Drabenko V.A., Sanotskaya N.A., Shchadin A.V. Atmospheric aerosols measurements and the reliability problem: new results. // Proc. of ISARD-2013. — St.Petersburg, 2013. — 47 p.

А.В. Бармасов, А.М. Бармасова, Т.Ю. Яковлева

БИОСФЕРА И ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ. СВЕТОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

A.V. Barmasov, A.M. Barmasova, T.Yu. Yakovleva

THE BIOSPHERE AND THE PHYSICAL FACTORS. LIGHT POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

В статье показана опасность светового загрязнения окружающей среды и его воздействие на биосферу и здоровье человека в особенности. Приведена краткая информация о фоторецепторах. Показана возможная связь между повсеместным переходом на источники света на основе люминофорных светодиодов, нарушением циркадного цикла, подавлением синтеза мелатонина и потенциальным ростом числа онкологических заболеваний. Указаны основные группы риска. Предложены способы решения проблемы.

Ключевые слова: световое загрязнение, фоторецепторы, родопсин, мелатонин, циркадный цикл, онкологические заболевания, люминофорные светодиоды.

The article illustrates the danger of light pollution and its impacts on the biosphere and human health in particular. Brief information on photoreceptors is cited. A possible link between the widespread adoption of light sources based on phosphor LEDs, violation of the circadian cycle, the suppression of the synthesis of melatonin and the potential growth of oncological diseases is shown. The main risk groups are specified. Ways to solve the problem are suggested.

Key words: light pollution, photoreceptors, rhodopsin, melatonin, circadian cycle, cancer, phosphor LEDs.

Воздействие на биосферу взаимодействующих с ней физических факторов весьма обширно и проявляется практически через все составляющие известных на сегодняшний день фундаментальных взаимодействий макромира: гравитационного и электромагнитного. Влияние на биосферу проявлений гравитационного взаимодействия (например, шумового загрязнения окружающей среды) будет предметом следующих исследований, а сейчас остановимся на одном из проявлений электромагнитного воздействия.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) можно условно разделить на три основные области спектра: радиоизлучение, световой диапазон (инфракрасное (ИК) излучение, видимый свет и ультрафиолетовое (УФ) излучение), а также рентгеновское и

гамма-излучения. Исследования влияния электромагнитных полей (ЭМП) на биосферу ведутся уже долгое время. Но если загрязнение окружающей среды в двух из указанных областей спектра (постоянные электрические и магнитные поля и ЭМП от сверхдлинных радиоволн до ИК диапазона, а также рентгеновские и гамма-лучи) исследуется и контролируется достаточно активно (см. [18] и цитированную там литературу), то световое загрязнение (light pollution) окружающей среды не столь очевидно и до последнего времени почти не учитывалось. Однако последние открытия в области фоторецепторов, ускоряющееся в настоящее время внедрение искусственного освещения, а также предполагаемый повсеместный переход на люминофорные светодиоды в качестве экономичных, относительно недорогих и на первый взгляд экологически безопасных источников искусственного освещения делает разработку заявленной темы чрезвычайно актуальной и целесообразной.

Факторы окружающей среды действуют на элементы биосферы по-разному. Одни из них обеспечивают им жизнь, другие — оказывают отрицательное воздействие, третьи могут быть безразличны для них. Поскольку биосфера исторически пронизана всеми видами физических полей (естественными гравитационными и электромагнитными полями), то отрицательное воздействие физических факторов на биосферу может быть связано только с существенным превышением значений этих факторов над естественными величинами, т. е. в основном с антропогенными факторами (факторами воздействия человеческой деятельности на природную среду).

Само наличие на поверхности Земли ЭМИ светового диапазона, полученного нашей планетой от Солнца, не только не сказывается отрицательно на биосфере, но, наоборот, без солнечного света («заботливо» отфильтрованного земной атмосферой) жизнь на Земле, если бы и существовала, то была бы такой же скудной, как в глубинах мирового океана, куда солнечный свет не проникает. В тех областях Земли, которые в среднем за год получают мало солнечного света, обычно встречается малое разнообразие биологических видов и низкорослая растительность. У значительной части живой природы свет вызывает изменение 24-часового биоритма («циркадного ритма»). Подробный анализ литературных данных по теме биологического воздействия видимого света на организм человека дан в работе [8]. Показано, что длительное световое голодание приводит к ослаблению иммунобиологической реактивности организма и к функциональным нарушениям нервной системы. Свет воздействует на психику и эмоциональное состояние человека. В пасмурные дни у многих людей возникает психическая депрессия. Экспериментально доказано, что подобную депрессию можно снять, если человека помещать на несколько часов в течение ряда дней подряд в ярко освещённую комнату [14].

Долгое время считалось, что в глазах человека присутствуют два типа фоторецепторов: палочки и колбочки, расположенные на сетчатке глаза. Палочки более активны при тусклом освещении, в то время как колбочки более активны в условиях хорошей освещённости. Животные, ведущие ночной образ жизни, имеют гораздо больше зрительных палочек. Палочки расположены в окрашенном слое, содержат родопсин. Единственная фотохимическая реакция в зрительном акте — это цис-транс изомеризация хромофорной группы родопсина — 11-цис-ретинала. Самый первый продукт после фотоизомеризации — фотородопсин образуется с уникально высокой

скоростью — примерно за 200 фс [12]. Изучение строения и функционирования рецепторов, сопряжённых с G-белком (G protein-coupled receptors, GPCRs), является одной из важнейших задач современных биохимии и биофизики, поскольку они регулируют множество важнейших функций организма, и более трети лекарств, разрабатываемых в настоящее время, направлены на лечение заболеваний, связанных с нарушениями работы данных белков [47]. Родопсин — наиболее исследованный белок из семейства GPCR-рецепторов, и закономерности, полученные для него, могут быть использованы для изучения структуры и функциональных особенностей других рецепторов этого семейства [10, 16]. Однако структура большинства GPCRs на сегодня неизвестна. Впрочем, бурное развитие методов твердотельного ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и экспрессии белков [46] позволяет рассчитывать на существенный прогресс в этой области уже в ближайшее время [17].

Ещё один фотозависимый белок — церулоплазмин — медь-содержащий белок (гликопротеин), присутствующий в плазме крови [20, 21, 22]. Врождённый дефицит церулоплазмينا приводит к дефектам развития головного мозга и печени. В мозге человека белок производится определёнными популяциями глиальных клеток, связанных с микрососудами, а в сетчатке глаза — клетками внутреннего нуклеарного слоя [33].

Солнце — основной источник энергии для всех процессов, совершающихся на Земле. Без солнечного света был бы невозможен фотосинтез — сложный цикл фотохимических и темновых реакций синтеза органических веществ из углекислого газа и воды [4]. Одним из продуктов фотосинтеза является кислород [4, 42]. Таким образом, фотосинтез обеспечивает возможность существования большинства видов жизни на Земле. Животные существуют за счёт растений, которые преобразуют энергию Солнца в энергию химических соединений и кислород [27]. ИК излучение является носителем тепловой энергии. УФ излучение — обязательное условие нормальной жизнедеятельности человека. Оно обладает бактерицидным действием, нормализует обмен минеральных веществ, активирует кортико-адреналовую систему, повышает стойкость организма к различным заболеваниям. При недостатке УФ облучения нарушается фосфорно-кальциевый обмен, увеличивается чувствительность организма к инфекционным заболеваниям и к простуде (дети, получавшие достаточное количество УФ света, в 10 раз менее подвержены простудным заболеваниям, чем дети, не получавшие достаточного количества УФ облучения), возникают функциональные расстройства центральной нервной системы, обостряются некоторые хронические заболевания, снижается общая физиологическая активность, а следовательно, и работоспособность человека. Под действием УФ света в коже человека вырабатывается витамин D (или естественная форма витамина D — витамин D₃). Самой важной функцией витамина D является регулирование метаболизма кальция и фосфатов, что способствует правильной минерализации костей и росту скелета. Поэтому витамин D препятствует вымыванию кальция из костей и зубов, защищает сердце и сосуды и предотвращает появление некоторых раковых заболеваний. При недостатке витамина D возникает серьёзное заболевание — рахит. Благодаря витамину D в коже происходит равномерное распределение меланина, и она получает ровный оттенок загара. Солнечный свет может помочь при лечении кожных заболеваний путём активизации иммунной системы в поверхностных слоях кожи. Под действием солнечного света определённые клетки

кожи переводят витамин D₃ в активную форму. Это вызывает миграцию Т-клеток иммунной системы, которые разрушают инфицированные клетки и регулируют другие иммунные процессы. Солнечное излучение стимулирует выработку эндорфинов, поэтому солнечный свет — лучший природный антидепрессант.

Однако «и саго, употреблённое не в меру, может причинить вред» [15]. В естественной природе всё оптимально сбалансировано: солнечные дни чередуются с тёмными ночами, когда фотозависимые процессы могут приостановиться в пользу темновых процессов.

С развитием цивилизации, а особенно с развитием электричества и созданием в XIX—XX вв. искусственных источников света в различных диапазонах длин волн (ведь миллионы лет единственным источником, например, УФ света было Солнце, да и то поверхности Земли достигал только свет ближнего (самого безопасного) УФ диапазона). Если в первые годы интенсивность искусственного света была весьма незначительна, то в последние годы приходится уже говорить о световом загрязнении окружающей среды, влияющем на устоявшуюся экосистему и имеющем многочисленные последствия.

В «ГОСТ 30772-2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения» (введён Постановлением Госстандарта России от 28.12.2001 № 607-ст) в п. 6.10 дано следующее определение светового загрязнения: «Форма физического загрязнения окружающей среды, связанная с периодическим или продолжительным превышением уровня естественной освещённости местности, в том числе и за счёт использования источников искусственного освещения».

Основными источниками светового загрязнения являются крупные мегаполисы. Световое загрязнение создаётся в первую очередь уличным освещением и рекламными щитами. Значительная часть излучаемого света отражается вверх, что создаёт над городами так называемые «световые купола», достигающие высоты 60 км. Эффект осветления неба усиливается распространёнными в воздухе частицами пыли (аэрозолями), дополнительно преломляющими, отражающими и рассеивающими излучаемый свет (здесь световое загрязнение дополняется традиционным загрязнением атмосферы, которое также наиболее значительно в районах мегаполисов) [11]. В результате световое загрязнение получило и другое название — «световой смог». И масштабы светового загрязнения окружающей среды уже таковы, что не учитывать его больше нельзя. В густонаселённой Европе около половины населения так или иначе регулярно сталкивается со световым загрязнением, а ежегодный рост светового загрязнения в Европе достигает 6—12 %. Как уверяют специалисты, из-за световых куполов над городами две трети жителей Земли никогда не видели настоящего тёмного неба (в Европе и в США таких жителей ещё больше). Каждый пятый землянин (среди европейцев — каждый второй) не может наблюдать Млечный путь. В целом световые купола создают большую проблему для астрономических наблюдений (фоновые засветки неба приводят к увеличению шумов в регистрирующей аппаратуре телескопов). Так, сплошная жилищная и общественно-деловая застройка территорий вокруг обсерватории, строительство нового терминала аэропорта «Пулково» существенно затруднили работу Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук, расположенной всего в 19 км к югу от центра Санкт-Петербурга. Пулковская

обсерватория была основана в 1839 г., место для её строительства выбиралось долго и тщательно, а охранная зона, установленная вокруг обсерватории после её открытия, способствовала сохранению астроклимата. В 1966–1976 гг. Уокер вёл измерения световой засветки в зависимости от расстояния до населённых пунктов в Калифорнии. В результате им была получена эмпирическая зависимость, позволяющая оценить влияние засветки от города и определить минимальное расстояние от обсерватории до города, при котором городское освещение создаёт добавочную яркость неба не более 10 % в зените и не более 20 % на высоте 45° [9]. В случае Пулковской обсерватории фоновые засветки возросли за последние 10–15 лет почти в 5 раз и привели к потере двух звёздных величин при фотографических наблюдениях (с 17-й до 15-й звездной величины), в 1,5 раза возросли среднеквадратические ошибки в определении положений планет [2]. В 2006 г. было предложено перебазировать Пулковскую обсерваторию в более благоприятные районы, например, на Кольский полуостров «в связи с увеличением антропогенного влияния» и всё ухудшающимися условиями для астрономических наблюдений «по причинам урбанистического характера». Однако это, вероятно, одно из самых безобидных последствий светового загрязнения окружающей среды.

Другим последствием чрезмерного использования искусственного света является перерасход энергии. Считается, что только 40 % света от обычных уличных светильников освещает то, что они должны освещать, 10 % представляет собой излишне яркий свет, а 50 % — не просто бесполезное, но и вредное световое загрязнение. Образовавшаяся в 1998 г. в США некоммерческая организация «Международная ассоциация тёмного неба» (International Dark-Sky Association, IDA) утверждает, что на ночное освещение по всему миру ежегодно тратится свыше 1,5 млрд долл США, а также вырабатывается более чем 12 млн т диоксида углерода, что усиливает так называемый «парниковый эффект» (оставим за скобками сейчас дискуссию о самом факте так называемого «глобального потепления», связанного с увеличением концентрации парниковых газов). Это последствие светового загрязнения окружающей среды уже более серьёзное, но и оно далеко не самое главное.

Наиболее важным всё-таки стоит считать влияние светового загрязнения именно на биосферу. Световое загрязнение отрицательно влияет на растительный мир. Так, деревья, находящиеся рядом с искусственными источниками освещения, не чувствуют приближения зимы по сокращению продолжительности светового дня, оказываются физиологически не готовыми к холодам и могут вымерзнуть. Увеличение периода фотосинтеза, вызванного применением искусственного света, ведёт к неестественному росту растений и смещению фазы цветения.

Организм человека и большинства животных исторически сформировался под воздействием циркадного ритма с активной дневной фазой и фазой отдыха ночью. Свет синхронизирует повторяемость этого биоритма. Вся жизнедеятельность животных периодична. Внешними факторами, регулирующими ритмы, являются суточные и годовые колебания интенсивности света, температуры, уровня шумов и др. Периодичность освещения, соотношения длительности дня и ночи являются важными синхронизаторами суточных и годовых ритмов жизнедеятельности организмов. Световые сигналы регулируют внутренние часы независимо от фоторецепторов. Рецепторы света при фотопериодической регуляции существенно отличаются у разных животных. Так,

у птиц — это средняя часть мозга. У рыб, амфибий, рептилий — эпифиз. У млекопитающих — в глазах. Г. Ван Ден Бельд утверждает, что действие видимого света зависит от уровня освещённости, спектральной чувствительности, продолжительности и времени суток [6]. Уровень освещённости порядка 1000–2000 лк на глаз в течение 3 ч может привести к фазовому сдвигу от 2 до 4 ч в зависимости от времени суток (минимальное требование к освещённости супермаркета — 500 лк, а освещённость при студийной фотосъёмке может достигать 10000 лк и более).

Искусственный свет в ночное время полностью меняет среду обитания всех ночных существ и ведёт к гибели птиц, земноводных, насекомых и млекопитающих, ведущих ночной образ жизни. Распространённые источники белого света с преобладанием в спектре голубого цвета мешают ориентации многих видов насекомых, а также сбивают с пути перелётных птиц.

Известно, что бабочки и многие насекомые летят к источникам света (тончайшее восприятие света насекомыми делает их зависимыми даже от фазы Луны). Если они и не гибнут при столкновении с искусственным источником света, они всё равно расходуют энергию в бессмысленном полёте. Согласно наблюдениям, каждый уличный светильник ежедневно является причиной гибели 150 насекомых. С учётом числа светильников в одной только Германии каждую ночь от них погибает более миллиарда насекомых. При этом не учтены многие другие источники света (такие как освещение жилых домов, промышленных комплексов, светящаяся реклама). Австрийские учёные посчитали, что одна световая реклама средних размеров за год убивает 350 тыс. насекомых [40]. Кроме того, многие виды, дезориентированные ночным освещением, не способны вести себя адекватно — добывать пищу и воспроизводиться, что тоже сокращает их численность, а следовательно, и численность тех, кто ими питается, параллельно нарушая ритмы и объёмы опыления. Даже малейший перекося в экосистеме ведёт к колебанию всей цепочки: порванное звено нарушает целостность всей системы. Даже если насекомые не гибнут, притягиваясь к источнику света, они расходуют свою энергию в бессмысленном полёте, теряя время и силы для продолжения потомства.

Вторая группа существ, которые оказались в опасности из-за светового загрязнения: жабы, лягушки и морские черепахи. Взрослая черепаха откладывает яйца раз в 2 года. Она плывёт вдоль побережья, разыскивая безопасный пляж. Безопасный для черепах — это значит тёмный. Черепаха выходит на тёмный берег, вырывает ямку и кладёт туда яйца. Если она такого берега не находит, она выбрасывает все яйца в воду. Маленькие морские черепашки, которые всё-таки вылупляются в песке на берегу, в обычных условиях ползут ночью в воду, ориентируясь по отражённому водой свету Луны и звёзд — ночью берег темнее воды. Теперь очень часто черепашки ползут в сторону более светлого берега и освещённых автострад, т.е. в противоположном от воды направлении и гибнут от колёс автомобилей, обезвоживания или голода. Небезразличные люди даже организовались в службу Sea Turtle Oversight Protection, помогающую черепашкам.

Лягушки в большинстве своём являются существами, ведущими ночной образ жизни — именно ночью они охотятся, размножаются и питаются. Приблизительно 3500 разновидностей лягушек живут в земной, водной или древесной среде, и каждая особь обладает разнообразием способов визуальной адаптации к этим видам среды

обитания. Увеличение распространённости ночных источников освещения влечёт за собой как положительные последствия для лягушек, так и отрицательные. Около источников света много насекомых, которыми лягушки питаются. Но с другой стороны, свет привлекает в поисках пищи и тех, кто питается самими лягушками, ведь они становятся видны в ночи. Некоторые разновидности жаб, которые могут размножаться только в крошечной тьме, перестают это делать совсем.

Вредит световое загрязнение и млекопитающим, ведущим ночной образ жизни. На границе американского штата Техас с Мексикой установлены прожекторы, освещающие приграничную зону. Яркий свет прожекторов, установленных на протяжении всей границы, сделал практически непригодной среду обитания оцелотов — маленьких диких котов — ночных хищников. Особи, ведущие ночной образ жизни, вынуждены, скрываясь от искусственного ночного освещения, нарушать свой естественный природный ритм.

В швейцарских Альпах стала искусственно освещаться долина Bagnes (кантон Valais). И одна из популяций летучих мышей почти исчезла в этой местности. До иллюминации там доминировала *Mehely's Horseshoe Bat (Rhinolophus mehelyi)*, а освещение просто уничтожило их, и остались только нетопыри.

В «зоне повышенного риска» оказались ночные саламандры, некоторые виды рыб (например, лосось, сельдь, пескарь и многие другие). Излишнее освещение водоёмов приводит к цветению воды — развитию фитопланктона. Как следствие — истощение запаса кислорода и омертвление водоёмов.

Ещё одна группа существ, гибнущих от света чаще других, — птицы. Механизм ориентации перелётных птиц до конца не изучен. Вероятно, он включает в себя целый комплекс ориентиров — и магнитное поле Земли, и природные ориентиры, и созвездия. Теперь же световые купола мегаполисов сбивают систему птичьей навигации. Стаи резко меняют курс и направляются к светящимся высотным зданиям, башням, маякам и ярко освещённым судам. Орнитологи считают, что ослеплённые птицы перестают замечать препятствия на своём пути и на скорости 75–120 км·ч⁻¹ врезаются в препятствия. Ежегодно только в США гибнет около 4 млн мигрирующих птиц при столкновении с освещёнными телевизионными и радиовышками. 7 октября 1954 г. около 50 тыс. птиц, привлечённых светом маяка на американской военно-воздушной базе, погибли, разбившись о землю. В 1981 г. более 10 тыс. птиц врезались в освещённую прожекторами дымовую трубу электростанции на озере Онтарио. Осенью 1996 г. в Марбурге (Германия) световая реклама ночной дискотеки привела к тому, что сбита с курса стая летящих на юг журавлей несколько часов кружила вокруг неё, а потом, обессиленная, опустилась на город, жители которого потом находили сотни мёртвых или покалеченных птиц. Лишь один чикагский небоскрёб Willis Tower (бывший Sears Tower) высотой 443,2 м (110 этажей), ежегодно уносит жизни около 1500 мигрирующих птиц.

Городские птицы также страдают от искусственного освещения. В 2010 г. в британском научном журнале *Current Biology* группой учёных из немецкого Института орнитологии им. Макса Планка (Max Planck Institute for Ornithology) были опубликованы результаты изучения влияния искусственного ночного освещения на утреннее «брачное» пение пяти видов лесных певчих птиц [32]. У четырёх из пяти видов самцы в

условиях уличного освещения начинали петь значительно раньше, чем самцы в неосвещённых частях леса. Самки возле уличных фонарей отложили свои яйца в среднем на день раньше, а самцы рядом с фонарями были более успешными в привлечении самок, что хорошо для конкретных самцов, но совсем нехорошо для всего вида. «Раньше пение во время утренней зари говорило о качествах самцов, поскольку им приходилось меньше отдыхать, подвергаться опасности погибнуть в когтях хищника, — поясняется в комментарии к статье. — Кроме того самка спаривалась с несколькими партнёрами, что повышало уровень потомства. Теперь же связь между ранним пением и качествами самца утрачена, и это может привести к вырождению самцов».

Последние исследования показали, что световое загрязнение может иметь самые серьёзные последствия и для здоровья человека [13]. Этот факт указывает на необходимость учёта мощности излучения и спектра ламп при оценке условий освещения [8]. Рассмотрим воздействие искусственного освещения на здоровье человека подробнее.

Вредное действие синего света на сетчатку глаза было впервые доказано в многочисленных исследованиях на животных. Воздействуя на обезьян большими дозами синего света, исследователи Ronald S. Harwerth и H. Sperelung ещё в 1971 г. установили, что это приводит к продолжительной утрате спектральной чувствительности в синем диапазоне, возникающей из-за повреждений сетчатки [30]. В 1980-е гг. эти результаты были подтверждены другими учёными, которые обнаружили, что воздействие синим светом приводит к образованию фотохимических повреждений сетчатки, в особенности, её пигментного эпителия и фоторецепторов. В 1988 г. в опытах на приматах Young установил взаимосвязь между спектральным составом излучения и риском возникновения повреждений сетчатки. Он подтвердил логичное предположение, что достигающие сетчатки различные компоненты спектра излучения опасны в разной степени, а риск поражения экспоненциально возрастает с увеличением энергии фотонов. При воздействии на глаза светом диапазона от ближней ИК области до середины видимого спектра повреждающие эффекты были незначительными и слабо зависели от времени облучения. Но при достижении длины волны светового излучения 510 нм было обнаружено резкое увеличение повреждающего воздействия. Был сделан вывод, что при прочих равных условиях синий свет в 15 раз более опасен для сетчатки, чем все другие диапазоны видимого спектра вместе взятые. Эти данные были подтверждены другими экспериментальными исследованиями, в том числе исследованием Remé, в котором было показано, что при облучении глаз крыс зелёным светом не было обнаружено апоптоза или других вызванных светом повреждений, при этом наблюдалась массовая апоптотическая гибель клеток после облучения синим светом. В исследованиях также было показано, что изменение тканей после длительного воздействия ярким светом было таким же, какое связывают с симптомами возрастной дегенерации макулы (ВДМ).

Для установления чёткой корреляции между действием синего света и ВДМ были проведены широкомасштабные эпидемиологические исследования. В 2004 г. в США были опубликованы первые результаты начавшегося ещё в 1987 г. исследования The Beaver Dam Study, в котором в течение 5–10 лет проводились наблюдения над 6 тыс. человек. Окончательно исследование завершилось в 2010 г. Результаты исследования показали, что у людей, которые летом подвергаются воздействию солнечного света

более 2 ч в день, риск развития ВДМ в 2 раза выше, чем у тех, кто проводит летом на солнце менее 2 ч. При этом не было выявлено однозначной взаимосвязи между длительностью солнечного облучения и частотой обнаружения ВДМ. Был сделан вывод, что вредное действие солнечного света, проявляющееся в риске возникновения ВДМ, связано, скорее, с видимой, а не УФ составляющей солнечного света. Последующие исследования также не обнаружили взаимосвязи между ВДМ и УФ диапазоном, но была установлена взаимосвязь между ВДМ и воздействием на глаза синего света. В настоящее время повреждающее воздействие синего света на фоторецепторы и пигментный эпителий сетчатки доказано. Синий свет вызывает фотохимическую реакцию с выделением свободных радикалов, которые оказывают повреждающее воздействие на фоторецепторы — колбочки и палочки. Образующиеся вследствие фотохимической реакции продукты метаболизма не могут быть нормально утилизированы эпителием сетчатки, накапливаются и вызывают её дегенерацию. Меланин — пигмент, обуславливающий цвет глаз, защищает сетчатку и препятствует её повреждению. Люди со светлой кожей и голубыми или светлоокрашенными глазами потенциально более подвержены развитию ВДМ, так как у них меньшая концентрация меланина. Голубые глаза пропускают во внутренние структуры в 100 раз больше света, чем глаза тёмной окраски. Интересно, что голубые глаза — некая «ошибка природы» — результат совсем недавней мутации (от 6 до 10 тыс. лет назад). Профессору Hans Eiberg из Department of Cellular and Molecular Medicine at the University of Copenhagen, начавшему исследование в 1996 г., удалось идентифицировать ген OCA2, который в указанный отрезок времени мутировал у одного человека [28]. Таким образом, изначально природой не предполагалась высокая чувствительность глаза человека к синей области спектра. Но случайная мутация нарушила этот защитный механизм. Впрочем, есть ещё большая «зона риска» — дети. Дело в том, что чувствительность глаза человека к синей области спектра существенно снижается с возрастом. Для профилактики развития ВДМ рекомендуется применять очки с линзами, отсекающими синюю область видимого спектра.

На самочувствие человека, по некоторым исследованиям, оказывает влияние освещённость уже более 1000 лк (солнечные лучи в полдень на средних широтах создают освещённость порядка 100000 лк, 1000 лк — это освещённость на открытом месте в пасмурный день), причём и цветовой диапазон также имеет значение [39]. В 2002 г. David Berson обнаружил в сетчатке млекопитающих новый тип фоторецепторов, который отвечает за биологическое воздействие света [23]. Чувствительность нового фоторецептора неодинакова к свету различных длин волн. В работе [25] показано, что оптическое излучение в диапазоне 430–470 нм оказывает прямое воздействие на образование в организме человека мелатонина. Хотя действие мелатонина в организме не вполне ясно, опыты на животных дают основания полагать, что он усиливает функции таких стимулирующих жизнедеятельность организма эндокринных желез, как гипофиз, надпочечники, половые железы и поджелудочная железа. Кроме того, мелатонин участвует в регуляции кровяного давления, функций пищеварительного тракта, работы клеток головного мозга. Этот важнейший гормон, исполняющий антиоксидантную и иммуномодуляторную функции, может вырабатываться только в темноте. У взрослого человека в норме за сутки синтезируется около 30 мкг мелатонина, его концентрация в сыворотке крови ночью в 30 раз больше, чем днём, причём

пик активности приходится на 2 ч ночи, уже к 9 ч утра его содержание в крови падает до минимальных значений — у человека на ночные часы приходится 70 % суточной продукции мелатонина. Эксперименты на лабораторных животных показали [1], что при недостатке мелатонина, вызванном удалением рецепторов, животные начинали быстрее стареть: раньше начиналась менопауза, накапливались свободнорадикальные повреждения клеток, снижалась чувствительность к инсулину, развивались ожирение и рак. Исследования показали, что, возможно, новый фоторецептор, реагирующий на синий (голубой) свет, сигнализирует организму о наступлении дня или ночи, лета или зимы. Повышение и снижение показателей мелатонина регулируется количеством света, который захватывают наши глаза (сильнее всего выработка мелатонина подавляется светом с длиной волны 450–480 нм) и передают в шишковидную железу (эпифиз). Когда темнеет, выработка мелатонина в эпифизе увеличивается. Яркое освещение тормозит синтез мелатонина. Синий свет сдвигает в сторону дня стрелку биологических часов в среднем на три часа, а зелёный — только на полтора, и эффект синего света держится дольше. Поэтому синий искусственный свет становится угрожающе опасным в ночное время [5]. Нарушение синтеза мелатонина как количественно, так и по ритму является пусковым механизмом, приводящим на начальных этапах к возникновению десинхроза, за которым следует возникновение органической патологии.

Еще в 1964 г. немецкий ветеринарный врач Wolfgang Jöchle установил, что мыши, содержащиеся при круглосуточном освещении, гораздо чаще болели раком молочной железы и умирали от него, чем животные, находившиеся при обычном световом режиме. В СССР первое научное исследование о связи рака и постоянного освещения было проведено в 1966 г. в Институте экспериментальной патологии и терапии рака АМН СССР (Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН). В результате было обнаружено, что через 7 месяцев после начала воздействия постоянного освещения у 78–88 % самок крыс развились гиперпластические процессы в молочной железе и мастопатии. В 2005 г. на научной конференции «Световой режим, старение и рак» в г. Кондопога учёные из Петрозаводского государственного университета доложили о результатах исследований, связанных с изменением светового режима. При содержании в условиях постоянного освещения до 18 месяцев доживало чуть больше половины самок крыс, при этом у 30 % были обнаружены спонтанные опухоли. Среди животных, содержащихся при стандартном световом режиме, до 18 месяцев доживали почти 90 % самок крыс, а опухоли были выявлены только у 16 %. Таким образом, можно утверждать, что опыты с грызунами убедительно свидетельствуют об ингибирующем действии световой депривации на канцерогенез молочной железы.

Эпидемиологические данные также подтверждают такой вывод. Американский эпидемиолог Richard G. Stevens из U.S. Department of Energy's Pacific Northwest National Laboratory обнаружил связь между раком молочной железы и световым загрязнением в конце 1980-х гг., когда установил, что вероятность развития рака молочной железы была значительно выше в промышленно развитых странах, где ночное освещение более интенсивно, чем в развивающихся регионах. При этом заболевания работниц ночных смен были в 2 раза выше [43]. William Hrushesky из Dorn Veterans Affairs Medical Center, Южная Каролина (США) тоже обнаружил, что женщины, работающие в ночную смену,

больше заболели раком молочной железы, чем другие работающие женщины. Он также установил, что у слепых женщин концентрации мелатонина выше, а показатели рака молочной железы необычно низкие. Американский эпидемиолог R. Khan в 1991 г. сообщил о результатах анализа свыше ста тысяч выписных эпикризов, опубликованных в Национальном госпитальном регистре. Риск развития рака молочной железы оказался в 2 раза меньшим у первично слепых женщин по сравнению со зрячими. В ряде исследований, выполненных в последние годы учёными Швеции и Финляндии, было обнаружено существенное снижение риска всех видов рака среди слепых. В 1999 г. в работе [24] прямо указывалось на связь между воздействием электромагнитного поля и света на мелатонин и риском возникновения рака молочной железы (табл. 1).

*Таблица 1.***Световой режим и риск рака молочной железы у женщин [Davis, 2001]**

Особенности образа жизни	Риск рака молочной железы
Бессонница по ночам	
1 раз в неделю	1,14 (1,01÷1,28)
3 раза в неделю	1,4 (1,0÷2,0)
> 4 раз в неделю	2,3 (1,2÷4,2)
Яркое освещение в спальне	1,4 (0,8÷2,6)
Работа в ночную смену	1,6 (1,0÷2,5)

Для снижения риска рака молочной железы с учётом светового загрязнения окружающей среды, учёные рекомендуют спать в тёмной комнате, лишённой как интерьерного (экран компьютера), так и внешнего (уличные фонари) света, не менее 9 ч в сутки. Согласно исследованиям 12 тыс. финских женщин, большие риски заболеть имели те, кто спал только 7 или 8 ч. Даже яркий свет в туалетной комнате способен спровоцировать появление злокачественных опухолей молочной железы у женщин. Некоторые исследователи утверждают, что двух часов чтения с компьютерного экрана при максимальной яркости достаточно, чтобы подавить нормальную выработку ночного мелатонина. А если читать с яркого экрана в течение многих лет, то это может привести к нарушению циркадного ритма. В настоящее время предлагаются специальные компьютерные программы, делающие свечение экрана адаптированным к времени суток. Свечение монитора плавно меняется от холодного днём к тёплому ночью, и работать за монитором в любое время суток становится значительно комфортнее.

Были также изучены люди, работающие в условиях большой освещённости. Выявленные у них повышенное кровяное давление, частые головные боли, тенденции к беспокойству — всё это связывают именно со световым загрязнением. Многие исследования последних лет находили связь между работой в ночную смену и воздействием искусственного света на возникновение или обострение у наблюдаемых работников болезней сердца, сахарного диабета, ожирения, а также рака предстательной железы. Исследователи из Гарварда, пытаясь пролить свет на связь циркадного цикла с диабетом и ожирением, провели эксперимент среди 10 участников. Им постоянно смещали

с помощью света сроки их циркадного цикла. В результате уровень сахара в крови значительно возрос, вызвав преддиабетное состояние, а уровень гормона лептина, отвечающего за чувство сытости после еды, напротив, понизился.

В последнее время число исследований, посвящённых негативному влиянию светового загрязнения окружающей среды на биосферу, существенно возросло (см., например, [41, 36, 38, 45, 37, 29, 44]). В 2008–2009 гг. исследователи из University of Haifa (Израиль) при участии профессора Richard G. Stevens из University of Connecticut (США) сопоставили данные Международного агентства по исследованию рака по заболеваемости раком предстательной железы в 164 странах мира с уровнями ночного освещения в этих странах, определёнными по спутниковым снимкам [34, 35]. Оказалось, что в странах с низким уровнем ночного освещения раком предстательной железы болеет 66,77 человек из 100 тысяч. При средней ночной освещённости заболеваемость возрастает на 30 % (87,11 случаев на 100 тыс. человек), а при высокой – на 80 % и составляет 157 случаев на 100 тыс. человек.

Исследования, проведённые в University of Haifa, также подтвердили, что освещение в ночное время вредит не только человеку, но и нарушает циркадные ритмы у животных и растений. Результаты исследований показывают, что коротковолновый свет синих светодиодов негативно влияет на лабораторных животных. Так, у крыс и слепышей он вызывает нарушение метаболизма, производства гормонов и повышенный риск развития опухолей. К похожим выводам пришли исследователи из Ohio University (США), проводившие опыты на хомячках. Они выяснили, что даже тусклый свет в ночное время способен вызвать у зверьков депрессивное поведение [31]. Учёные считают, что синий свет смартфонов, компьютеров и телевизоров может оказывать такой же эффект на человека. Особенно страдают от этого воздействия жители развитых стран, которые постоянно используют подобные приборы. Специалисты рекомендуют для сна использовать плотные шторы, надевать тёмную маску на глаза, чтобы защититься от уличного освещения, а также советуют отказаться от телевизора и компьютера в спальне. Специалисты НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова в Санкт-Петербурге уже несколько лет изучают влияние светового загрязнения на здоровье людей и пришли к выводу, что постоянный яркий свет подавляет активность ферментов, которые помогают превратить гормон бодрости серотонин в гормон сна – мелатонин. Чем интенсивнее ночной свет, тем больше он угнетает синтез мелатонина, причём голубое освещение действует сильнее, чем обычное. Обнаружено, что женщины более чувствительны к действию ночного освещения, чем мужчины. Световое загрязнение у них не только увеличивает риск развития рака молочной железы и толстой кишки, но и вызывает преждевременное старение репродуктивной системы.

Итак, чем опасно световое загрязнение для человека? Постоянное освещение вызывает: увеличение вероятности различных онкологических заболеваний, угнетение синтеза и секреции мелатонина, увеличение синтеза и секреции пролактина, увеличение порога чувствительности гипоталамуса к торможению эстрогенами, индукцию ановуляции (нарушения менструального цикла, при котором отсутствует овуляция) и кист яичника, стимуляцию пролиферативных процессов и рака молочной железы и эндометрии, усиление образования активных форм кислорода, стимуляцию атеросклероза.

А каковы пути решения этой проблемы? Невозможно и не нужно отказываться от ночного освещения городов вообще, но следует сделать его более рациональным. Для этого обычно предлагаются вполне осуществимые меры: минимальное освещение закрытых на ночь заведений, грамотное распределение светового потока подсветки зданий, памятников архитектуры и ландшафта, использование оборудования с «правильной» оптикой, позволяющей точно направлять световой поток. Подсветка должна быть фрагментарной и никогда не направляться в небо. Что касается световой рекламы, то она должна быть разумно ограничена.

Первой европейской страной, в которой к проблеме светового загрязнения подошли на законодательном уровне, стала Словения, в 2007 г. принявшая закон, запрещающий направлять свет прожекторов в небо. По словам астронома-любителя Andrej Mohar, который лоббировал введение новых правил освещения, после этого ночное небо над Люблянкой стало почти на 20 % темнее. В США федеральное Агентство по защите окружающей среды (United States Environmental Protection Agency) разработало программу, цель которой резко снизить потребление энергии на освещение. Здесь также создаются общественные центры по борьбе с лишним освещением. Кроме того, в США была принята программа по защите мигрирующих птиц, согласно которой запрещается включать ночную фасадную подсветку высотных зданий на время перелёта птиц. В Toronto (Канада) эти правила действуют с 1996 г. Помимо привлечения внимания общественности к проблеме светового загрязнения в городах, IDA пропагандирует сведение к минимуму ночного освещения заповедников. Начиная с 2006 г. уровень ночного освещения контролируется почти в 20 заповедных зонах (включая заповедник на юго-востоке Намибии The NamibRand Nature Reserve с 2012 г.). В Европе наибольшее число зон «Тёмного неба» расположено в Великобритании и Венгрии. Так, в Великобритании в зону «Тёмного неба» входят Galloway Forest Park в Шотландии (с ноября 2009 г.), Exmoor National Park в Англии (с 2011 г.) и др. Постановление Правительства Москвы «О Концепции единой световоцветовой среды города Москвы» вышло ещё 11 ноября 2008 г., однако и в Москве, и в других российских мегаполисах борьба со световым загрязнением окружающей среды практически отсутствует. При этом очевидно, что роль муниципальных образований в обеспечении системы экологической безопасности территорий достаточно велика [19]. Но не следует преуменьшать и роль формирования экологического правосознания молодых специалистов и иных категорий граждан в РФ [7] (опыт неправительственных организаций типа IDA это подтверждает).

Целью исследования, проведённого астрономами, физиками и биологами из итальянского Научно-технологического института светового загрязнения, Национального центра геофизических данных (Колорадо, США) и израильского Univeristy of Haifa, было изучение вклада различных типов ламп в световое загрязнение, а также влияния испускаемого ими света на синтез мелатонина. Сравнение влияния света, испускаемого лампами разных типов, показало, что белый свет галогенных ламп (рис. 1), часто используемых помимо прочего для освещения стадионов, подавляет синтез мелатонина более чем в 3 раза сильнее, чем жёлтый свет натриевых ламп высокого давления (рис. 2). Однако наиболее опасными оказались светодиодные лампы, испускающие свет с длиной волны 440–500 нм (рис. 3). Такой свет подавляет синтез мелатонина в 5 раз сильнее, чем свет натриевых ламп высокого давления.

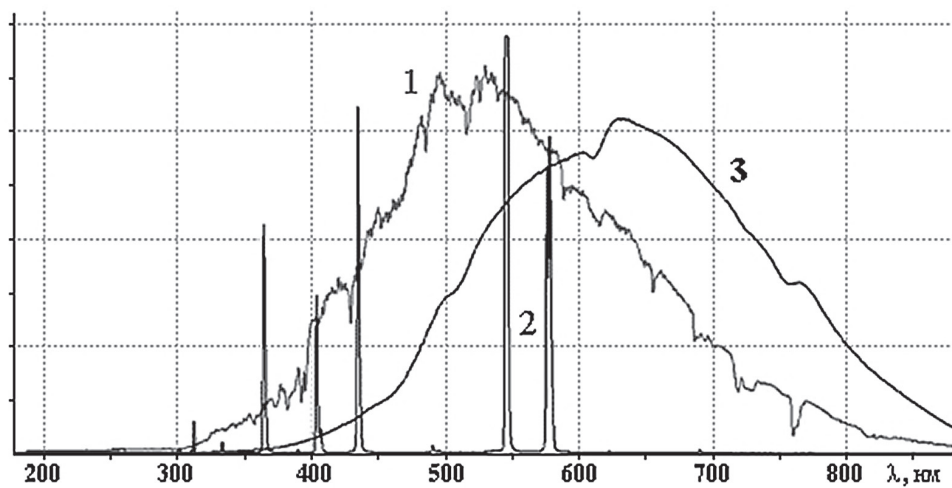


Рис. 1. Спектры испускания: 1 – Солнца (14.00 20 июня 2005 г., Бристоль, Великобритания); 2 – ртутной лампы (ReptileUV Zoo MegaRay); 3 – галогенной лампы (GE 50w MR-16-GU10).

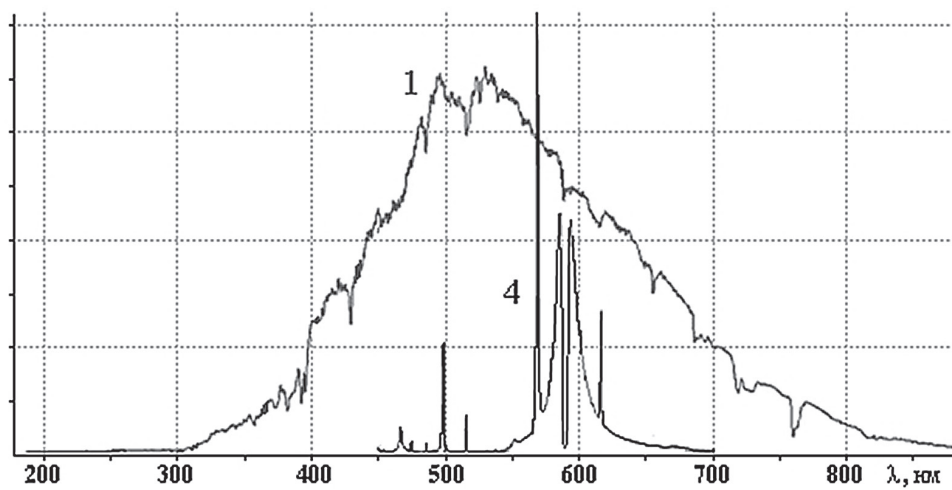


Рис. 2. Спектры испускания: 1 – Солнца (14.00 20 июня 2005 г., Бристоль, Великобритания); 4 – натриевой лампы высокого давления.

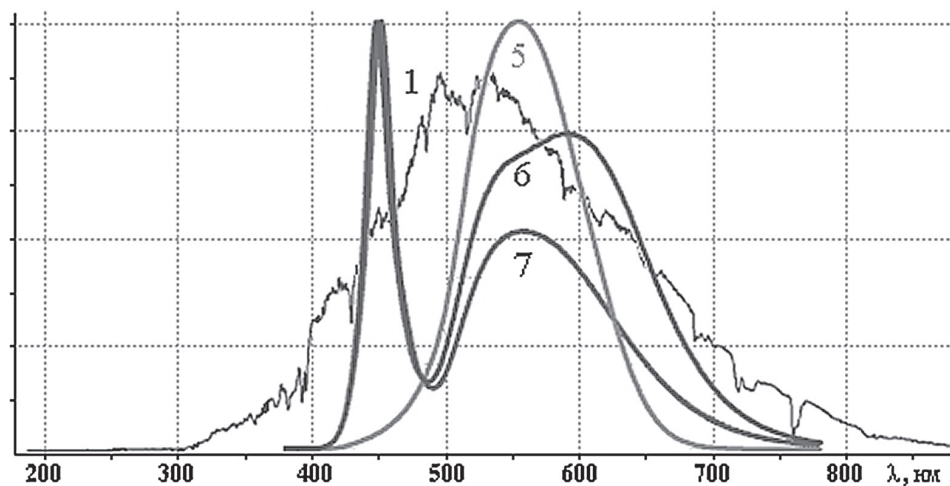


Рис. 3. Спектры испускания: 1 – Солнца (14.00 20 июня 2005 г., Бристоль, Великобритания); 2 – светодиода «натурального» белого цвета (CCT (Correlated Color Temperature, т. е. цветовая температура) = 4000 K); 3 – «белого» светодиода (CCT = 6500 K).
4 – стандартная кривая чувствительности глаза.

Очевидно, что повсеместный переход на светодиодное освещение неизбежен. Уже сегодня светодиодные источники света всё больше применяются в уличном, промышленном, бытовом освещении, в светофорах, в автомобильных фарах, в подсветке жидкокристаллических экранов, в фонариках и т.п. Использование светодиодов в бытовом освещении пока ещё сдерживается относительно высокой стоимостью мощных светодиодов (стоимость которых достигает 8–10 долл США), но постоянно снижается (в настоящее время стоимость светодиодов мощностью в несколько ватт меньше доллара США). По такому важному параметру, как световая отдача, современные светодиоды сравнялись и превзошли натриевые газоразрядные лампы и металлогалогенные лампы, достигнув $160 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Длительный срок службы и отсутствие ртути, фосфора и УФ излучения, несомненно, сделают светодиодные лампы наиболее популярными в качестве источников бытового освещения. Но повсеместный переход к светодиодным лампам приведёт к усилению подавления синтеза мелатонина в организмах людей и животных и одним из последствий может стать существенный рост числа онкологических заболеваний.

На сегодняшний день существуют два основных вида белых светодиодов: многокристалльные светодиоды, имеющие в своём составе три полупроводниковых излучателя красного, зелёного и синего свечения, объединённые в одном корпусе, и более перспективные люминофорные светодиоды, создаваемые на основе УФ или синего светодиода, имеющие в своём составе слой специального люминофора, преобразующего в результате фотолюминесценции часть излучения светодиода в свет в относительно широкой (и меньшей по интенсивности по сравнению с синей) спектральной полосе с максимумом в области жёлтого света (рис. 3). Комбинация этих двух полос излучения

и даёт «белый» цвет излучения люминофорного светодиода. Но именно интенсивная полоса излучения в области 455 нм и может представлять угрозу здоровью человека.

Авторы настоящей работы предлагают, во-первых, провести серьёзное целенаправленное научное исследование влияния светодиодных источников света на здоровье человека с учётом приведённых в данной работе результатов, и, во-вторых, начать массовую (промышленную) установку защитных светофильтров (уменьшающих излучение в области 400–500 нм) хотя бы на бытовых светодиодных источниках освещения. Установка таких светофильтров, конечно, несколько повысит стоимость бытовых светильников и несколько снизит привлекательность светодиодов из-за снижения их наиболее привлекательных качеств — экономичности и белизны излучения. Однако очевидно, что это повышение стоимости будет незначительным по сравнению с возможными потерями. С этой целью, возможно, будет необходимо пересмотреть технические условия и стандарты, предъявляемые к бытовым источникам света на основе белых люминофорных светодиодах.

В качестве светофильтра, уменьшающего пропускание света в области 400–500 нм, можно предложить, например, жёлтые стёкла (ЖС), см. рис. 4.

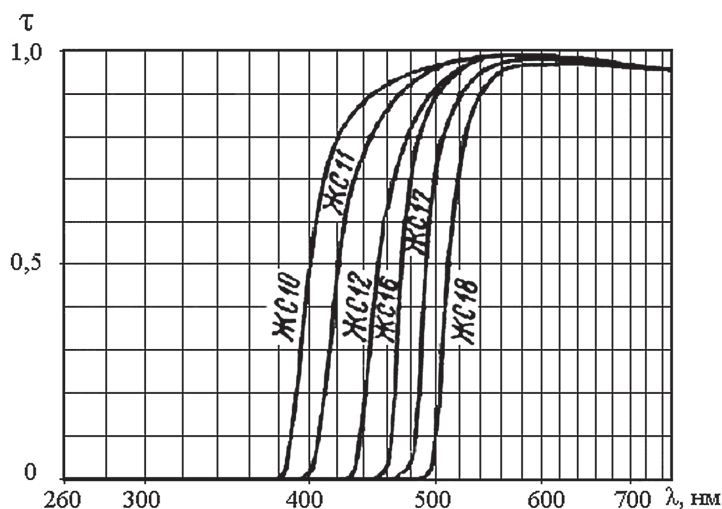


Рис. 4. Спектры пропускания светофильтров ЖС (τ — коэффициент пропускания при толщине 3 мм).

Жёлтые стёкла (ЖС10–ЖС18) в разной степени сократят голубое излучение светодиода, почти не уменьшив излучение в других областях спектра. В результате световая отдача светодиода несколько понизится, цвет станет более желтоватым (напоминая цвет традиционной лампы накаливания), но зато существенно снизится риск подавления синтеза мелатонина в организме человека.

Физический закон, определяющий ослабление параллельного монохроматического пучка света при распространении его в поглощающей среде — закон Бугера-Ламберта: пучок монохроматического света интенсивностью I_0 , пройдя через слой

поглощающего вещества толщиной l , выходит ослабленным до интенсивности I , определяемой выражением:

$$I(l) = I_0 e^{-k_\lambda l},$$

где k_λ — показатель поглощения [3].

Таким образом, применяя тот или иной светофильтр и варьируя его толщину, можно создать оптимальное соотношение яркости и спектрального распределения излучения источника света на основе белого люминофорного светодиода.

Литература

1. Анисимов В.Н. Хронометр жизни. // Природа, 2007, № 7, с. 3–10.
2. Бронникова Н.М., Шахт Н.А. О точности измерений галактик и звезд AGK3. // Известия ГАО, 1987, № 204, с. 52–55.
3. Бугер П. Оптический трактат о градации света. / Пер. с франц. — М., 1950.
4. Букина М.Н., Бармасов А.В., Кононов А.И., Баранова Л.Н., Холмогоров В.Е. Спектроскопические исследования слоев тетрапиррольных пигментов. I. Слои из экстрактов пигментов листьев высших растений. // Вестн. С.-Петерб. у-та. Сер. 4, 2008, вып. 1, с. 48–55.
5. Вайтцель Р., Ваккер Р.А., Мюллер Ш., Хальтбритер В. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений (взгляд изготовителей ламп). // Светотехника, 2005, № 5, с. 12–15.
6. Ван Ден Бельд Г. Свет и здоровье. // Светотехника, 2003, № 1, с. 4–8.
7. Ермолина М.А. К вопросу об экологическом правосознании. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 32, с. 193–196.
8. Иоффе К.И. Биологическое влияние видимого света на организм человека. // Светотехника и электроэнергетика, 2008, № 3, с. 21–29.
9. Исаков А.А. Астроклиматический аспект свечения ночного неба. / В кн.: Астроклимат и эффективность телескопов. — Л.: Наука, 1984.
10. Климентьева И.Г. Динамика хромофора в активированном состоянии родопсина по данным ЯМР-релаксации. Выпускная квалификационная работа / Руководители А.В. Струц и А.В. Бармасов. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 50 с.
11. Матвеев Л.Т., Вершель Е.А., Матвеев Ю.Л. Влияние антропогенных факторов на климат городов. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 17, с. 41–50.
12. Островский М.А. Молекулярные механизмы предупреждающего действия света на структуры глаза и системы защиты от такого повреждения. // Успехи современной химии, 2005, т. 45, с. 175–177.
13. Падченко С.И. Информационные механизмы регуляции функционального состояния человека. // Информационная та негентропийна терапія, 2003, № 1, с. 825.
14. Потапенко А.Я. Действие света на человека и животных. // Соровский образовательный журнал, 1996, № 10.
15. Прутков К. Сочинения Козьмы Пруткова. [Вступ. ст. В. Сквозникова, прим. А.К. Бабореко]. — М., 1965.
16. Пухова Н.А. Изучение строения ретиналя в метародопсине I методами ЯМР и оптической спектроскопии. Выпускная квалификационная работа / Руководители А.В. Струц и А.В. Бармасов. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 45 с.
17. Струц А.В., Бармасов А.В. Перспективы применения методов ядерного магнитного резонанса для изучения рецепторов, сопряженных с G-белком. / В кн.: «Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 29 ноября 2013 г. В 7 частях. Часть I. Мин-во обр. и науки. — М.: АР-Консалт, 2013. — 172 с.», с. 13–15.
18. Холмогоров В.Е., Бармасов А.В. Биосфера и физические факторы. Электромагнитные поля и жизнь. / В кн.: Проблемы теоретической и прикладной экологии. — СПб.: РГГМУ, 2005, с. 27–47.
19. Цховребов Э.С., Баршневский Е.В., Яйли Е.О., Церенова М.П. Роль муниципальных образований в обеспечении системы экологической безопасности. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 30, с. 148–154.

20. Яковлева Т.Ю., Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Голубой белок – свет – жизнь. // Научное приборостроение, 1998, т. 7, № 1–2, пр. 1, с. 84–85.
21. Яковлева Т.Ю., Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Церулоплазмин: внутримолекулярная цепь переноса электрона, состоящая из трех типов медьсодержащих центров. / В сб.: Материалы Итоговой сессии Ученого совета 27–28 января 2003 г. Информационные материалы. Часть II. Секции океанологии, экологии и физики природной среды. – СПб.: РГГМУ, 2003, с. 129–130.
22. Aukhadeev A.M., Barmasov A.V., Kholmogorov V.E. On the Optical Investigations of Some Components of Photochemical Model System of Human Plasma. / XVIth IUPAC Symposium on Photochemistry (Helsinki, Finland, July 21–26, 1996), Book of Abstracts, p. 305–306.
23. Berson D.M., Dunn F.A., Motoharu T. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. // Science. – February 8, 2002.
24. Brainard G.C., Kaver R., Kheifets L.T. The relationship between electromagnetic field and light exposure to melatonin and breast cancer risk: a review of the relevant literature. // Hi. Pineal Res., 1999, vol. 26, p. 65–100.
25. Brainard G.C. Photoreception for regulation of melatonin and the circadian systems in humans. // Fifth International LRO lighting research symposium. – Orlando, 2002.
26. Davis S., Mirick D.K., Stevens R.G. Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. // J. Natl. Cancer Inst., 2001, vol. 93, p. 1557–1562.
27. Douglas A.E., Raven J.A. Genomes at the interface between bacteria and organelles. // Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 2003, vol. 358, No. 1429, p. 5–17; discussion 517–518.
28. Eiberg H. Human Genetics. – 2014.
29. Hansen J. Light at Night, Shiftwork, and Breast Cancer Risk. // J. Natl. Cancer. Inst., 2001, vol. 93, p. 1513–1515.
30. Harwerth R., Sperling H. Prolonged color blindness induced by intense spectral lights in rhesus monkeys. // Science, 1971, vol. 174, p. 520–523.
31. Hurd M.W., Ralph M.R. The significance of circadian organization for longevity in the golden hamster. // J. Biol. Rhythms., 1998, vol. 13, p. 430–436.
32. Kempenaers B., Borgström P., Loës P., Schlicht E., Valcu M. Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. // Current Biology, 2010, vol. 20, No. 19, p. 1735–1739.
33. Klomp L.W.J., Gitlin J.D. Expression of the ceruloplasmin gene in the human retina and brain: implications for a pathogenic model in aceruloplasminemia. // Hum. Molec. Genet. 5: 1989–1996, 1996.
34. Kloog I., Haim A., Stevens R.G., Barchana M., Portnov B.A. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. // Chronobiology International, 2008, vol. 25, No. 1, p. 65–81.
35. Kloog I., Haim A., Stevens R.G., Portnov B.A. Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. // Chronobiology International, 2009, vol. 26, No. 1, p. 108–125.
36. Longcore T., Rich C. Ecological light pollution. // Front. Ecol. Environ., 2004, vol. 2, p. 191–198.
37. Miller M.W. Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. // Condor., 2006, vol. 108, p. 130–139.
38. Navara K.J., Nelson R.J. The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences. // J. Pineal Res., 2007, vol. 43, p. 215–224.
39. Newman L.A., Walker M.T., Brown R.L., Cronin T.W., Robinson P.R. Melanopsin forms a functional short-wavelength photopigment. // Biochemistry, 2003, vol. 42, No. 44, p. 12734–12738.
40. Petteri T. Light Pollution: Definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects. – Barcelona, Catalunya, September 2007.
41. Rich C., Longcore T., eds. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. – Washington, DC: Island Press, 2006.
42. Smith A.L. Oxford dictionary of biochemistry and molecular biology. – Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press, 1997. – 508 pp.
43. Stevens R.G. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. // Am. J. Epidemiol., 1987, vol. 125, p. 556–561.
44. Stevens R.G., Hansen J., Schernhammer E.S., Davis S. Response to Ijaz S, et al. Night-shift work and breast cancer – a systematic review and meta-analysis. // Scand. J. Work Environ. Health., 2013, vol. 39, No. 6, p. 631–632.
45. Stone E.L., Jones G., Harris S. Street lighting disturbs commuting bats. // Current Biology, 2009, vol. 19, p. 1123–1127.
46. Struts A.V., Salgado G.F.J., Martinez-Mayorga K., Brown M.F. Retinal dynamics underlie its switch from inverse agonist to agonist during rhodopsin activation. // Nat. Struct. Mol. Biol., 2011, vol. 18, No. 3, p. 392–394.
47. Verdegem P.J.E., et al. Biochemistry, 1999, vol. 38, p. 11316–11324.

В.В. Дмитриев

**СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ КАРЕЛЬСКОГО ПРИЛАДОЖЬЯ И ЕГО СРАВНЕНИЕ
С РЕТРОСПЕКТИВНЫМИ ДАННЫМИ**

V.V. Dmitriev

**MODERN ECOLOGICAL STATE OF WATER OBJECTS OF LADOGA KARELIA
AND ITS COMPARISON WITH RETROSPECTIVE DATA**

Рассматриваются результаты летних полевых исследований состояния экосистем водоемов карельского Приладожья (оз. Суури, залив Лехмалаhti Ладожского озера) в 2007–2012 гг. Выполнялись наблюдения за химическим и биологическим составом и физическими свойствами воды в 18 точках озера; на суточной станции, на разных глубинах. Оценивалось влияние факторов среды на формирование первичной продукции в озере. Выполнена оценка трофического состояния, качества воды, самоочищения озера. Оценена устойчивость озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Формулируется представление об экологическом благополучии водоема. Рассматриваются результаты интегральной оценки экологического благополучия оз. Суури по материалам натурных исследований 2010–2012 гг.

Ключевые слова: водная экосистема; химический, биологический состав, физические свойства воды; первичная продукция; влияние факторов на продуцирование ОВ; деструкция; зоопланктон; бентос; самоочищение; трофность; качество воды; устойчивость, экологическое благополучие, интегральная оценка.

Discusses the results of field studies of ecosystem ponds Ladoga in Karelia (lake Suuri, Lehmalahhti Bay, Lake Ladoga) in July 2007–2012. Observations were made for the chemical (biogens, gas, pH, etc.) and biological (zooplankton, benthos, primary production, destruction) structure and physical properties (temperature, transparency, electroconductivity, etc.) of water on the 18 points of the lake; on a daily station at different depths. Effect of the environmental factors was evaluated (light, the content of mineral nitrogen, phosphorus) on the formation of primary production in the lake. The evaluation of trophic status, water quality, self-purification of the lake. Assess the sustainability of the lake to changes in the parameters of the natural and anthropogenic (anthropogenic eutrophication, changes in water quality) mode. Are formulated idea of ecological wellbeing of a reservoir. The first results of an integrated assessment of ecological wellbeing of the lake of Suuri of materials of natural researches of 2010–2012 years are considered.

Key words: aquatic/water ecosystem; chemical; biological composition; physical properties of water; primary products; the influence of factors on the production of organic matter; destruction; zooplankton; benthos; self-cleaning; trophicity/eutrophication, the water quality; the sustainability of the lake, ecological wellbeing, integrated assessment.

Введение

Целостное представление о закономерностях взаимодействия населения, хозяйства и водных объектов, их биоценозов формируется в междисциплинарной области исследований, называемой в последние годы геоэкологией. В настоящее время в литературе для этой цели в основном используются такие названия, как: гидробиология, водная экология, гидроэкология. Биологические аспекты существования населения водных экосистем традиционно изучает гидробиология. Мониторинговые наблюдения за компонентами экосистемы позволяют получить информацию о массах или концентрациях компонентов в определенные моменты времени. Эти показатели отражают результат жизнедеятельности экосистемы и лишь частично характеризуют протекающие в ней процессы, поскольку изменение биомасс и концентраций является видимым проявлением сложных процессов обмена веществом и энергией между компонентами системы. В связи с этим *водная экология* (термин чаще упоминается биологами) выделилась из гидробиологии и как формализованный целостный подход и стала самостоятельным разделом общей экологии в результате развития гидробиологии, современных математических методов, информатики, обработки данных на ПК и т.д., а также формального упрощения и моделирования водных экосистем. Ей чаще всего отводится изучение отношений в системе «водный объект — организмы гидробионты». *Гидроэкология* (термин чаще упоминается географами и гидрометеорологами) разрабатывает методологию, изучает возможность и практические пути минимизации негативного влияния гидрологического режима и состояния водных объектов на общество, а также на безопасность жизнедеятельности населения, социальных и производственных объектов в зонах существующей или потенциальной угрозы затопления, подтопления территорий, разрушения сооружений, ухудшения качества воды. Ей же отводится исследование экологической безопасности водных бассейнов и минимизация в них экологических рисков. Современная реальность свидетельствует о широком толковании предмета исследований перечисленных научных направлений. В нашем понимании водноэкологическое и гидроэкологическое направления должны оставаться экологическими по существу и в определённом смысле являются синонимами. Речь может идти лишь о присутствии в них биоцентристской, экоцентристской, геоцентристской или антропоцентристской позиций на изучение водных объектов, или всех одновременно [3, 9, 15, 16, 21].

Материалы и методы

Под оценкой экологического состояния водоема понималась параметрическая оценка его биологического, химического состава и физических свойств, а также факторов на них влияющих, обуславливающих пригодность водоема для жизни организмов-гидробионтов (биоцентризм) или его использование человеком (обществом) для различных целей (антропоцентризм) [10, 14].

Исследования состояния малых озер карельского Приладожья традиционно выполняются с конца 1980-х гг. ежегодно в рамках производственных практик студентов геоэкологов, гидрологов и научных исследований по грантам [5, 6, 11, 12, 23]. В 2012 г.

исследования проводились в период с 22 по 31 июля 2012 г. на территории базы СПбГУ Кузнечное. Перечень полевых работ включал в себя: отбор и подготовку к лабораторным исследованиям гидробиологических проб бентоса: 2 пробы в оз. Суури, 4 пробы в зал. Лехмалаhti Ладожского озера; отбор и подготовку к лабораторным исследованиям пробы зоопланктона на ст. 7 в оз. Суури; отбор гидрохимических проб на 18 станциях в оз. Суури в поверхностном, придонном горизонтах и горизонте прозрачности; установку и отбор проб на продукционные исследования в оз. Суури на ст. 7; выполнение съемки озера (18 станций, поверхностный горизонт, горизонт прозрачности и придонный) для получения информации о пространственном распределении абиотических компонентов в водной экосистеме; выполнение исследования внутрисуточной изменчивости гидрохимических компонентов водной экосистемы в центре озера (ст. 7); выполнение физико-географического описания озера и исследование степени и динамики его зарастания. На ст. 7 (суточная станция) пробы отбирались 25–26 июля на горизонтах: 0, 1, 2, 3, 4, 4,5 м через каждые 6 ч. Съемка озера в 18 точках была проведена 24 июля (0 м, горизонт прозрачности и дно). Со всех горизонтов в каждой точке были взяты пробы воды. Для наблюдения суточной динамики различных гидрофизических и гидрохимических характеристик выполнялись наблюдения на суточной станции в т. 7. Всего в этой точке выполнено 5 сроков наблюдений различных характеристик с интервалом 6 ч.

Перечень лабораторных работ включал в себя: обработку проб зообентоса; обработку проб зоопланктона; обработку гидрохимических проб, наблюдений за гидрофизическими характеристиками воды (температура, освещенность, электропроводность, прозрачность).

Перечень исследовательских задач включал в себя оценку трофности, качества воды, самоочищения озера по отношению «деструкция»/«продукция» и времени осветления воды зоопланктоном; оценку степени лимитации биогенами первичной продукции в озере; оценку устойчивости озера к изменению элементов естественного и антропогенного режимов. [1, 3, 4, 7, 8, 10, 15, 16, 20, 22]. При оценке экологического благополучия (ЭБ) озера использовался аксиологический подход и методические возможности интегрального оценивания состояния геосистем [10, 13, 17].

Результаты и их обсуждение

1. Оценка изменчивости параметров гидробиологического режима оз. Суури и залива Лехмалаhti Ладожского озера. По данным о видовом составе зообентоса и частоте встречаемости гидробионтов рассчитывались: индекс видового разнообразия Шеннона, индекс качества воды BMWP. В 2012 г. в оз. Суури индекс Шеннона по зообентосу изменялся в пределах 1,77–2,38. В Ладожском озере — 1,77–3,63.

В 2011 г. в оз. Суури индекс Шеннона по зообентосу изменялся в пределах 1,71–2,89. В Ладожском озере — 1,17–3,14. Результаты анализа данных указывают на выраженное увеличение индекса от 2007 до 2010 г., небольшое снижение его величины в 2011 г., увеличение величины в 2012 г. Отмечается небольшое увеличение видового разнообразия зообентоса в 2012 г. на трех точках отбора проб, для которых имеются данные за прошлые годы. Анализ данных показал, что относительно низкие значения

индекса Шеннона в Ладожском и других озерах могут отражать преобладание в воде *Amphipoda* — *Gmelinoides fasciatus*, внесённого человеком в озера Карельского перешейка в начале 1970-х гг. Биологическое загрязнение воды в озерах коснулось и Ладожского озера, в некоторых прибрежных районах которого рачок доминирует и сегодня. В меньшей степени это относится к оз. Суури, озеру и ручью Мянтю-Лампи, соединяющему оз. Суури с Ладожским озером.

По наблюдениям 2012 г. в воде оз. Суури преобладали *Calanoida* и *Cladocera*. На долю первых приходилось 39,6 % численности и 88,5 % биомассы зоопланктона. На долю вторых 32,9 % по численности и 9,5 % биомассы организмов. Численность и биомасса каланоид составила — 1040910 экз/м³ и 0,000131061 мг/м³; кладоцер — 866640 экз/м³ и 0,000014 мг/м³ соответственно. Общая численность зоопланктона в оз. Суури 2012 г. составила 2628180 экз/м³, общая биомасса равна 0,000148093 мг/м³. Биомасса зоопланктеров-фильтраторов была оценена величиной 7 мг сырого веса/л.

2. Оценка пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик по результатам съемки озера Суури 24.07.2012 и суточной станции 25–26.07.2012.

2.1. Анализ пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик по результатам съемки озера Суури.

Прозрачность воды. Невысокие значения скорости ветра (0,7–2,3 м/с) обусловили достаточно высокую прозрачность воды в озере в 2012 г. Прозрачность в 2012 г. изменялась от 1,3 до 2,0 м. Значения прозрачности в 2011 г. изменялись от 1,6 до 2,1 м. Прозрачность воды в 2010 г. изменялась от 1,2 до 1,6 м, в июле 2009 г. она изменялась от 0,9 до 1,5 м; в июне 2008 г. — от 1,8 до 2,1 м. В июле 1993 г. прозрачность воды изменялась от 1,7 до 2,9 м. В целом, прозрачность увеличивается от берегов к центру озера. Это обусловлено влиянием водной растительности, большим количеством взвеси у берегов, локальным антропогенным влиянием.

Температура воды. На поверхности озеро прогрето практически равномерно, значения температуры находятся в интервале 18,8–19,9°C. Более прогрета восточная часть озера, самое высокое значение отмечено на ст. 15 — 19,9°C, наименьшее значение температуры наблюдаются на ст. 4 в южной части озера. В целом, наиболее высокие температуры наблюдаются ближе к берегу, где глубина меньше. Температура горизонта прозрачности отличается от температуры на поверхности озера незначительно, в среднем на 1°C. Эта температура изменяется от 17,5 до 19,4°C. Температура, измеренная в придонном слое, изменяется от 10,8 до 19,4°C.

pH воды. Значения pH в озере изменялись в интервале 5,93–6,79, вода относится к слабокислой — нейтральной. Значения pH в поверхностном слое изменялись от 6,45 до 6,79 (нейтральные воды). Значения pH для горизонта прозрачности изменяются от 6,52 до 6,79; в придонном горизонте — от 5,93 до 6,56. В общем случае наблюдается снижение pH с глубиной. Анализ пространственного распределения pH указывает на увеличение значений pH от берега к центру озера.

Электропроводность воды. Значения электропроводности на поверхности озера составили 59,5–65,6 мкСм/см, что меньше, чем в 2011 г. На горизонте прозрачности — 60,8–64,6 мкСм/см. В придонном горизонте — от 62,8 до 71,9 мкСм/см. Значения электропроводности увеличиваются с глубиной и понижаются к берегам на всех горизонтах.

Содержание фосфатов. Содержание фосфатов на поверхности оз. Суури не превышает 0,01 мг P-PO₄/л. (в 2011 г. — 0,008 мг P-PO₄/л). Среднее значение по поверхности 0,004 мг P-PO₄/л. Максимальное значение для горизонта прозрачности — 0,009 мг P-PO₄/л, среднее — 0,004 мг P-PO₄/л. Содержание фосфатов в придонном слое не превышает 0,009 мг P-PO₄/л, среднее значение — 0,004 мг P-PO₄/л. Таким образом, сделан вывод о незначительном увеличении содержания фосфатов с глубиной. В пространственном распределении фосфатов отмечено увеличение их содержания от берегов к центру озера.

Содержание аммонийного азота. Исследования содержания аммонийного азота (мг N-NH₄/л) в воде проводились только в поверхностном и придонном горизонтах. Содержание аммонийного азота в воде на поверхности озера изменялось в интервале от 0,62 до 1,14 мг N-NH₄/л, среднее значение — 0,8 мг N-NH₄/л. Меньшая концентрация аммонийного азота отмечена в восточной части озера, как на поверхности, так и в придонном горизонте. Значение ПДК по аммонийному азоту — 0,39 мг/л, таким образом, в оз. Суури наблюдается превышение ПДК в 2–2,5 раза. По классификации А.А. Былинкиной и соавторов вода по аммонийному азоту относится к классу загрязненных вод (IV кл. 0,4–1 мг/л). Однако все загрязнение является естественным и возникает в результате деятельности бактерий-аммонификаторов. Источников антропогенного загрязнения оз. Суури не выявлено. На дне озера значения концентраций аммонийного азота изменяются от 0,18 до 1,01 мг N-NH₄/л. В общем случае содержание аммонийного азота уменьшается с глубиной. В пространственном распределении аммонийного азота отмечено увеличение содержания от берегов к центру.

Содержание кислорода. Содержание кислорода в поверхностном слое озера изменялось от 9,2 до 9,82 мг/л; на горизонте прозрачности — от 6,74 до 9,44 мг/л; на дне — от 0,69 до 6,35 мг/л. Насыщение воды кислородом на поверхности изменялось от 91,3 до 105,6 %; на горизонте прозрачности — от 69,4 до 100,7 %; в придонном горизонте — от 5,6 до 66,3 %. Наблюдается увеличение содержания кислорода к центру водоема на всех горизонтах, а также его увеличение в месте впадения ручья Мянтью-Лампи в Ладожское оз. Содержание и насыщение воды кислородом сильно уменьшаются с глубиной.

2.2. Анализ изоплет компонентов химического состава и физических свойств воды. Максимальные значения температуры воды на поверхности озера +20,8°C, на дне — +12,9°C. Анализ изоплет температуры на суточной станции показывает, что на глубинах 1 и более метров внутрисуточное изменение температуры практически отсутствует. Около 6 ч утра примерно до 4 м наблюдается незначительное понижение температуры, глубже — более резкое понижение температуры. Градиент снижения температуры в поверхностном слое — 1,5°C на 1 м, а от 2 м до дна — примерно 6°C на 1 м.

Анализ внутрисуточного распределения электропроводности воды показывает, что на поверхности озера ее значения изменялись незначительно: от 63,0 до 65,2 мкСм/см (в 2011 г. — от 77,6 до 88,0 мкСм/см). То же — до глубины 3 м. На глубине 4,5 м значения увеличиваются. Ночью наблюдается увеличение электропроводности.

Концентрация ионов водорода рН на станции по глубине изменялась от 5,8 до 6,78. Ядро максимального значения рН приходится на дневное время суток в слое 0–2 м. Глубже 2–2,5 м наблюдается снижение значений рН.

Среднее значение концентрации в воде фосфатов составляет 0,003 мг/л. Максимум (0,008 мг/л) был зафиксирован на глубине 4,5 м 25 июля в 18:00. Минимальное значение — 0,000 мг/л отмечено на глубине 3 м в 12 ч. 25 июля. 26 июля в 0 ч были зафиксированы 2 ядра максимальных значений PO_4 на глубинах 1 и 4,5 м. 25 июля в 12 ч на глубине 2,5–3 м выделено ядро минимальных значений.

Содержание кислорода в воде изменялись от 0,06 до 8,47 мг/л. Ядро максимума зафиксировано в 18 ч 25 июля (8,5 мг/л). До глубины 2,5–3 м внутрисуточные колебания незначительны. Глубже отмечено снижение содержания кислорода в ночное время суток.

Насыщение кислородом изменяется от 0,5 до 96,3 %. Ядро максимума наблюдалось примерно с 19 ч до 1 ч ночи. Внутрисуточные колебания незначительны до 2,5–3 м. Глубже увеличение значений наблюдалось в 18 ч 25 июля и 06 ч 26 июля.

3. Оценка трофического статуса оз. Суури. Трофический статус водоемов устанавливается, как правило, по 3–5 летним рядам наблюдений. Сравнение результатов определения трофности озера для последних лет дало следующие результаты:

- 2007 г. По результатам определения первичной продукции трофический статус озера был определен как мезотрофный с признаками эвтрофикации (по шкале Гутельмахера, 1986 [10, 17]). Измерение прозрачности воды в 2007 г. дало результат, по которому озеро относится к мезотрофному с признаками эвтрофикации (по шкалам Ganerbland, 1931, Китаев, 1970) [10, 17].
- 2008 г. По результатам определения первичной продукции по той же шкале трофический статус озера был определен как мезотрофный. По прозрачности воды озеро относится к мезотрофному типу по тем же шкалам. По относительной прозрачности озеро относится к мезотрофному типу (шкалы Китаев, 1973, Хрисанов, Осипов, 1993) [10, 17].
- 2009 г. По тем же шкалам трофический статус озера был определен как мезотрофный. Полученная оценка биомассы зоопланктона $0,83\text{--}2,5 \text{ г/м}^3$ свидетельствует о том, что данный водоем относится к средnekормному. Измерение прозрачности воды дало результат, по которому озеро относится к мезотрофному типу. Измерение отношения прозрачности H_{sd} к глубине H водоема дало результат, по которому озеро относится к эвтрофному типу по шкале Китаева, 1973 [10, 17].
- 2010 г. Трофический статус озера оценивался на покомпонентной основе по 7 характеристикам: 1 — прозрачности воды; 2 — отношению прозрачности к глубине; 3 — первичная продукция; 4 — pH воды в летнее время; 5 — БПК₅; 6 — индекс видового разнообразия Шеннона; 7 — фильтрационная активность зоопланктона. В итоге по данным критериям получено: 1 — переходное состояние от мезотрофии к эвтрофии; 2 — левая граница эвтрофии; 3 — правая граница олиготрофии; 4 — олиготрофия; 5 — мезотрофия; 6 — олиготрофия; 7 — олиготрофия.
- В 2011 г. для оценки трофности по прозрачности воды использовались 7 оценочных шкал разных авторов [10, 17, 22]. Средняя величина прозрачности воды составила 2,01 м. По 2 шкалам прозрачности воды статус оценен как мезотрофный, по 2, как переходный от мезо- к эвтрофии, по 2, как эвтрофный. Для оценки трофности по критерию «отношение прозрачности к глубине» (P_i/H_i) сначала для 18 станций по результатам съемки озера были рассчитаны значения P_i/H_i . Затем было

получено среднее значение от ношения. Оно равнялось 0,7. По шкале Китаева (1973) [10,11] данное значение соответствует классу мезотрофных вод. По критерию «рН воды в летнее время» трофический статус оценен как олиготрофный, а по критерию «продукция фитопланктона» как эвтрофный. По величине индекса Шеннона и фильтрационной активности зоопланктона (ФА) озеро можно отнести как к олиготрофным, так и к мезо- и эвтрофным водоемам. Сделан вывод о том, что эти критерии не являются репрезентативными для оценки трофического состояния озера. По уровню кормовой базы озеро относилось к мало — среднекормным водоемам.

- В 2012 г. для оценки трофности использовались те же шкалы, что и в 2011 г. Средняя величина прозрачности воды составила 1,61 м. По 1-й шкале — прозрачности воды трофический статус оценен как мезотрофный. Для оценки трофности по критерию «отношение прозрачности статус к глубине» сначала для 18 станций по результатам съемки озера были рассчитаны значения P_t/H_t . Затем было получено среднее значение отношения. Оно равнялось 0,48. По шкале Китаева (1973) [10, 17] данное значение соответствует классу мезотрофно-эвтрофных вод. По критерию «рН воды в летнее время» трофический статус оценен как олиготрофный, а по критерию «продукция фитопланктона» как мезотрофный (ближе к границе с олиготрофией), по БПК₅ (3,5 мг/О/л) также как мезотрофный. По уровню кормовой базы озеро относилось к малокормным водоемам.

В 2012 г. впервые была выполнена интегральная оценка трофности по 4 критериям для 2010–2012 гг. По величине интегрального показателя трофности озеро в 2010 г. отнесено к правой границе класса мезотрофных вод, а в 2011–2012 гг. — к середине класса мезотрофных вод.

4. Оценка качества воды и загрязнения водоема на основе гидрохимического и гидробиологического подходов. В 2009 г. качество воды оценивалось по 7 характеристикам: минеральному фосфору (I), прозрачности воды (II), по валовой суточной продукции фитопланктона (I), индексу Шеннона (I), содержанию кислорода (I–II), концентрации аммонийного азота (III–IV), рН воды (II).

В 2010 г. качество воды оценивалось по 8 критериям. Воду поверхностных слоев можно отнести классам «очень чистая» — «чистая» по 7 критериям, по 3–4 критериям (кислород, рН, фосфаты, аммонийный азот) придонные воды следует считать грязными.

В 2011 г по прозрачности воды, удельной электропроводности и валовой суточной продукции фитопланктона относятся к «очень чистым» и «чистым» (по классификации Института охраны природы и заповедного дела Минэкологии России (1992) [16, 21]); по содержанию аммонийного азота и среднему проценту насыщения кислородом принадлежит к классу «загрязненных» вод (IV класс в соответствии с классификацией А.А. Былинкиной, С.М. Драчеву, А.И. Ицковой [18, 19, 24]; по прозрачности воды к «очень чистым», по содержанию фосфора — к «предельно чистым» на поверхности (0,003 мгР/л) и «чистым» на глубине (0,005 мгР/л), по валовой продукции фитопланктона — к «предельно чистым» (I и II классы в соответствии с классификацией Романенко, 1990 г. [22, 24]).

На основе покомпонентной оценки в 2012 г., качество воды в оз. Суури было оценено по трем классификациям (8 критериям) для поверхностного и придонного

слоев по 6 признакам: содержанию кислорода, прозрачности, удельной электропроводности, валовой суточной продукции фитопланктона, содержанию минерального фосфора и рН воды поверхностного слоя озера относятся к «очень чистым» и «чистым» (I и II классы).

Воды придонного слоя по содержанию кислорода относятся к «грязным» (V класс), по удельной электропроводности в непроточных водоемах и содержанию минерального фосфора к «очень чистым» (I класс), а по величине рН — к «чистым» (II класс).

По 2 критериям — содержанию аммонийного азота и БПК-5 вода поверхностного (и придонного) слоя принадлежит к классу «загрязненных» вод (IV класс).

4.1. Оценка качества воды по гидробиологическим индексам. В 2012 г. получены результаты оценки качества воды по индексам BMWP и Вудивисса. Использовались: индекс Вудивисса в оригинальной трактовке TBI (Woodiwiss, 1978) и в модифицированном виде EBI (Extended Biotic Index) и индекс BMWP [26, 27]. Индекс BMWP был разработан Департаментом Окружающей среды Великобритании в 1976 г. в рамках системы RIVACS, которая является основой для оценки состояния текучих вод в Великобритании и Австралии [26, 27]. Данный индекс активно используется в странах ЕС и Восточной Европы. Индекс BMWP основан на наборе различных семейств макрозообентоса. В середине 1990-х гг. была осуществлена ревизия индекса на основании компьютерной обработки баз данных по речным местообитаниям Англии и Уэльса [26, 27].

Таким образом, в настоящее время используется 2 вида BMWP: 1 — оригинальный BMWP (1976); 2 — обновленный BMWP с учетом специфики местообитаний (1996–1997).

При характеристике местообитаний были выделены 3 вида биотопов: перекаты, заводь и промежуточный тип перекаты/заводь. Основанием для выделения отдельных местообитаний явилось преобладание гальки и камней ($\geq 70\%$) — «перекаты» или песка и ила ($\geq 70\%$) — «заводь».

Для Ладожского озера из оценочных таблиц нами было выбрано название местообитания «перекаты-заводь», а для оз. Суури — «заводь». На основе индекса EBI (Вудивисса) нами была предложена оценочная шкала с шестью классами качества воды.

В 2008 г. в оз. Суури BMWP составило 34–54 балла (IV класс), для Ладожского оз. 59–64 балла (III класс).

В 2009 г. значения индекса в различных водоемах изменялось от 10 до 56 баллов, что позволило отнести водоемы к III–V классам (хорошее–плохое).

В 2010 г. по значениям индекса BMWP вода оз. Суури была отнесена к классам «хорошая»–«средняя», а Ладожского озера — к классу «хорошая». При этом значения индекса BMWP в пробах Ладожского озера практически совпали, а в оз. Суури изменялись по величине в 2 раза. По сравнению с 2009 г. индекс BMWP на ст. 3 вырос в 1,3 раза. Для Ладожского оз. (восточнее впадения ручья Мянтью-Лампи) индекс незначительно увеличился, западнее ручья — практически не изменился. В 2011 г. по значениям индекса BMWP вода Ладожского озера была отнесена к классам «удовлетворительное» (III) — «невысокое» (IV) качество, вода оз. Суури к классам «удовлетворительное» (III). При этом значения индекса BMWP в пробах Ладожского озера практически совпали со значениями 2012 г., а в оз. Суури уменьшились по величине в 2 раза. Таким образом, вода, в озере в 2012 г. может быть признана в целом более

низкого качества, чем в 2011 г. Это подтверждается оценкой качества воды по гидрохимическим показателям.

В 2012 г. по обновленному индексу BMWP (18,2–40,9) вода в оз. Суури относится к IV классу качества; по оригинальному индексу BMWP (16–41) — также к IV классу; по индексу Вудивисса (6–3) — к III–IV классам. Последующий анализ результатов показал, что индекс BMWP, созданный для водотоков Европы, не вполне адекватно оценивает состояние среды оз. Суури и нуждается в локальной адаптации. Возможно, этот вывод был сделан на основе того, что поверхностные и придонные воды озера характеризуются разным качеством воды (на поверхности I–II класс, в придонных — IV–V класс).

Вода Ладожского оз. по обновленному (18–46) и оригинальному (40–47) индексам BMWP относится к IV классу качества; по индексу Вудивисса (7–4) — к III (по трем станциям) — IV (по одной станции) классам.

5. Оценка степени самоочищения водной экосистемы по отношению деструкции к первичной продукции и по фильтрационной активности зоопланктона. По первому способу оценивалось отношение $D/P_{\text{вал}}$ и делался вывод о способности водной экосистемы к самоочищению. Если это отношение больше 1, то система способна к самоочищению и справляется с нагрузками на нее; если меньше 1, то система в большей степени продуцирует ОВ, чем может разложить [1, 14].

В полевых условиях на озере для определения продукции и деструкции применялась кислородная модификация скляночного метода. Отношение $D/P_{\text{вал}}$ изменяется в течение суток и по сезонам года [1, 10].

В 2012 г. было выполнено 2 серии наблюдений на двух горизонтах 0 и глубина прозрачности (SD). В центре озера (ст. 7) в подповерхностном горизонте деструкция превышала продукцию. Значение $D/P_{\text{вал}}$ во всех случаях больше единицы, что свидетельствует о том, что в период выполнения съемки озера в центральной его части процессы деструкции органического вещества превышали новообразование (продуцирование) органического вещества в толще воды «0 м — глубина прозрачности». Глубина прозрачности 23–24.07 составляла 1,3 м, а 25–26.07 — 1,5 м.

По результатам исследований 2011 г. также было установлено, что в центре озера в подповерхностном горизонте деструкция также превышает продукцию. Однако в прибрежной зоне продукционные процессы преобладали над деструкционными.

Второй способ оценки самоочищения водной экосистемы основан на расчете времени осветления воды зоопланктерами-фильтраторами [10, 22]. В расчетах принимались два допущения: зоопланктеры находятся в оптимальных условиях питания и равномерно распределены в озере. Предварительными наблюдениями было показано, что в составе зоопланктона преобладают организмы-фильтраторы.

В 2012 г. скорость фильтрации воды зоопланктоном оценивалась для оптимальных условий питания и средней температуры воды в озере 24.07.2012 (17,8°C), с учётом трофического состояния оз. Суури составляла 0,20 л/(мг сыр.веса·сут). Фильтрационная активность (ΦA) с учетом рассчитанной 24.07.2012 биомассы зоопланктона (0,7 мг/л) в озере составила $\Phi A = 0,20 \times 0,7 = 0,14 \text{ сут}^{-1}$. Время осветления воды зоопланктоном есть величина обратная фильтрационной активности: $T = 1/\Phi A = 1/0,14 = 7,14 \text{ сут}$. Таким образом, зоопланктеры-фильтраторы осветляли водоем в данное время за 7,14 сут.

В 2011 г. скорость фильтрации воды зоопланктоном в оптимальных условиях питания для средней температуры воды в озере 21.07.2010 (21,3°С), с учётом трофического состояния оз. Суури составляла 0,23 л/(мг сыр.веса·сут). Фильтрационная активность (ФА) с учетом рассчитанной 20.07.2011 биомассы зоопланктона (1 мг/л) в озере составила $ФА = 0,23 \times 1 = 0,23 \text{ сут}^{-1}$. Время осветления воды зоопланктоном $T = 1/0,23 = 4,39 \text{ сут}$. Таким образом, зоопланктеры-фильтраторы осветляли водоем в 2011 г. в 1,6 раза быстрее, чем в 2012 г.

Похожие выводы были получены в 2009 г. и ранее. Скорость фильтрации воды зоопланктоном в оптимальных условиях питания для температуры воды в озере 13.07.2009 (20,6), с учётом трофического состояния оз. Суури, была оценена величиной 0,22 л/мг сыр.в·сут, а время осветления воды зоопланктоном $T = 5,6 \text{ сут}$. В зависимости от изменений линейных размеров организмов (0,26–0,42 мм) суммарная биомасса оценивалась в пределах 0,83–2,5 г/м³. При этих условиях зоопланктон осветлял весь объем озера за период от 2 до 6 суток.

6. Оценка лимитации биогенами продуцирования органического вещества фитопланктоном. По модели Михаэлиса-Ментен-Моно выполнена оценка лимитации биогенами продуцирования органического вещества фитопланктоном в оз. Суури [10, 2]. Оценка лимитации биогенами первичной продукции в озере проводилась на основе гидрохимических наблюдений за содержанием аммонийного, азота и минерального фосфора. Оценка лимитации первичной продукции азотом и фосфором в оз. Суури выполнена для съемки озера 24 июля 2012 г. Среднее значение PO_4 принято равным 0,004 мг/л. Среднее значение аммонийного азота (NH_4) принято равным 0,798 мг N/л. Получено, что недостаток в воде фосфора уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в верхнем слое воды в 4,75 раза. Недостаток в воде азота уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,04 раза.

По материалам съемки озера в 2011 г. было получено, что недостаток в воде фосфора уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в верхнем слое воды в 6 раз. Недостаток в воде азота уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,04 раза. Сравнение с аналогичными исследованиями 2010 г. показало, что недостаток в воде фосфора уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 2,15 раза, а недостаток в воде азота уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,24 раза. Эти модельные расчеты подтверждают вывод о том, что основным биогеном, лимитирующим первичную продукцию в озере, является фосфор.

7. В 2012 г. впервые выполнена оценка влияния освещенности на рост первичных продуцентов в водной экосистеме оз. Суури в период выполнения съемки озера 24.07.2012. Расчет среднеинтегральной освещенности выполнялся для толщи воды 0–2 м. Влияние освещенности на максимальную удельную скорость роста фитопланктона оценивалось по формуле Дж. Стила [15]. Коэффициент ослабления света взвесью рассчитывался двумя способами: через оптическую плотность проб воды при разных длинах волн и по эмпирической формуле Института озероведения РАН через прозрачность воды. В итоге, получено, что в зависимости от способа расчета коэффициента ослабления света взвесью эффект самозатенения в верхней 2-метровой толще воды

вызывал снижение удельной скорости продуцирования органического вещества фитопланктоном в 2–3,8 раза.

8. Выполнена оценка устойчивости озерной экосистемы к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Расчет проводился по балльно-индексному методу [3, 8, 10, 12, 13] для двух типов устойчивости.

8.1. Устойчивость к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию. Последовательно подсчитывалась сумма баллов параметров естественного режима по физико-географическим и морфометрическим признакам, гидрологическому режиму (уровенный и температурный режим, условия водообмена) — всего 11 признаков. Сумма баллов устойчивости по этим признакам равна 18. Для оценки устойчивости озерной системы к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию необходимы сведения о трофности водоема.

По данным 2012 г. оз. Суури отнесено к классу мезотрофных. По балльно-индексной системе этой ситуации соответствует 5 баллов трофности. Суммируем баллы устойчивости (естественный режим — 18 и антропогенный режим 5): $18 + 5 = 23$ балла. В этом случае относим оз. Суури к границе III класса (ближе к границе с IV классом) устойчивости.

8.2. Устойчивость к изменению параметров естественного режима и качества воды. Устойчивость водной экосистемы оценивалась по тому же индексно-балльному методу. Сумма баллов устойчивости по признакам естественного режима равна 18. Для оценки устойчивости озерной системы к изменению параметров естественного режима и изменения качества воды оз. Суури, необходимы сведения о качестве воды в озере.

В 2011 г. вода в верхних слоях озера была отнесена к классу «чистая» (I–II классы). В этом случае оз. Суури было отнесено к IV классу устойчивости. Если учесть, что придонные слои воды в озере загрязнены сильнее, и их качество можно оценить IV классом, в этом случае оз. Суури отнесено к III классу устойчивости. Таким образом, было признано, что придонные слои воды более устойчивы к изменению параметров естественного режима и загрязнению, чем верхние. Это не должно восприниматься как создание благополучной экологической ситуации (обстановки) в придонных слоях озера или как повышение экологического благополучия в водоеме.

В 2012 г. качество воды оз. Суури оценивалось на условиях покомпонентного оценивания по трем классификациям по 8 критериям для поверхностного и придонного слоев. В поверхностном слое воду озера можно отнести к I–II классам, в придонных слоях, в зависимости от глубины, — к I–II (мелководье), либо к IV–V (глубоководные станции) классам качества.

На втором этапе по результатам оценки качества были заданы баллы устойчивости по качеству воды. Сумма баллов по этим признакам изменялась от 15 (очень чистая) до 8 (чистая) баллов на мелководье; и от 3 (грязная) до 1 (очень грязная) для глубоких станций.

По сумме баллов для поверхностных горизонтов оз. Суури было отнесено к IV–V (низкоустойчивым) классам. Для глубоких точек, расположенных в центральной части озера получен III класс устойчивости.

9. Интегральная оценка экологического благополучия (ЭБ) озера. Нормальная (понимаемая как «хорошая») экосистема — это экосистема с оптимальной и

разнообразной продукцией (удовлетворяющей экономические и эстетические потребности человека), существующая неограниченно долго в изменяющейся среде [2]. В наших работах по обоснованию критериев ЭБ признаками благополучной водной экосистемы предлагалось считать: 1 — оптимальную продукцию ресурсного звена; 2 — оптимальную биомассу ресурсного звена; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты; 4 — высокое качество воды; 5 — высокую устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 6 — низкую скорость загрязнения, закисления, эвтрофирования; 7 — высокую скорость самоочищения; 8 — способность сохранять вышеназванные признаки реально неограниченное время [10, 11, 13]. В зарубежной литературе идея оценки экологического благополучия дискутируется под углом зрения «здоровья экосистемы» [21, 25].

Основу разработанной модели-классификации ЭБ составляют признаки «хорошей» (для человека и организмов-гидробионтов) водной экосистемы и их изменение по 5 классам благополучия. При создании модели использовано совмещение антропоцентрического и биоцентрического подходов. Признаки экологически благополучной водной экосистемы, учитываемые в модели: 1 — оптимальная первичная продукция, создаваемая олиготрофными экосистемами; 2 — высокое качество воды; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты (по зообентосу); 4 — высокая устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 5 — низкая скорость закисления; 6 — высокая скорость самоочищения. Интегральная оценка ЭБ выполнялась на основе метода сводных показателей (МСП). В соответствии с этим были реализованы следующие основные этапы (табл. 1).

Таблица 1

Этапы интегральной оценки ЭБ оз. Суури

№ этапа	Содержание этапа
1	Выбрать необходимые и достаточные параметры, описывающие исследуемое свойство или состояние изучаемой системы;
2	Определить набор классов, отражающих исследуемое свойство или состояние системы;
3	Найти для исходных параметров соответствующие классам градации или оценочные шкалы;
4	Выбрать правило нормирования и нормировать исходные параметры созданной модели-классификации;
5	Решить проблему выбора весов (приоритетов оценивания);
6	Выбрать синтезирующую функцию (вид обобщенного интегрального показателя);
7	Ввести уровни свертки показателей для исходной модели-классификации;
8	Выполнить первый уровень обобщения информации;
9	Выполнить последующие уровни обобщения информации;
10	Для мониторинговой информации, собранной в полевых условиях для тех же параметров оценивания, выполнить первый уровень обобщения информации по правилам построения исходной модели-классификации;
11	Выполнить последующие уровни обобщения информации для получения интегральных показателей.

В табл. 2 приведены сведения о критериях и способах их задания в модели. В табл. 3 приведена шкала интегрального показателя ЭБ, рассчитанная с учетом равновесности задания приоритетов оцениваемых параметров для первого и второго уровней свертки.

Таблица 2

Параметры модели интегральной оценки ЭБ

1. Трофический статус водной экосистемы	Оценивался по величине интегрального показателя трофности ИПТ для 5 классов трофности (О—олиготрофия, М—мезотрофия, Э—эвтрофия, П—политрофия, Г—гиперэвтрофия) по 4 критериям: валовая первичная продукция фитопланктона, мг С/л сут; прозрачность воды, м; отношение прозрачности к глубине (по шкале Китаева, 1973 и средней глубине озера 3 м); рН воды в летнее время [10, 14].
2. Качество воды (интегральный показатель качества)	Оценивалось по величине интегрального показателя качества воды ИПКВ для 5 классов качества по 7 критериям: прозрачность воды (шкала взята из модели-классификации оценки трофности); удельная электропроводность воды (мк См/см), азот NH_4 (мг N/л), кислород в % насыщения, гидробиологический индекс BMWP, фосфор PO_4 (мг P/л).
3. Максимум видового разнообразия по индексу Шеннона (H)	Оценивался по авторской шкале. В процессе построения шкалы было принято, что максимум индекса Шеннона (H) равен 5,0 наблюдается в олиготрофных условиях. По мере увеличения трофности и снижения качества воды значения H равномерно уменьшаются до 0. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение индекса в пределах 5—4; II классу 4—3; III классу 3—2; IV классу 2—1; V классу 1—0.
4. Устойчивость (баллы устойчивости по индексно-балльной шкале) к изменению естественного и антропогенного режимов	Оценивалась по балльно-индексной шкале, которая нормированием переводилась в интегральный показатель устойчивости ИПУ [10, 17, 22]. ИПУ рассчитывался для двух сценариев У1 и У2, в которых оценивалась устойчивость к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию (У1) или к изменению параметров естественного режима и изменению качества воды (У2).
5. Степень закисления воды	Оценивалась по авторской шкале рН. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение рН в пределах 8,5—6,5; II классу 6,5—6,0; III классу 6,0—5,5; IV классу 5,5—5,0; V классу <5,0.
6. Скорость самоочищения	Оценивалась по времени осветления воды зоопланктоном (T) в сутках по авторской шкале. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение T в пределах от 1 до 2 сут, II классу 2—5 сут.; III классу 5—10 сут.; IV классу 10—25 сут.; V классу 25—50 сут.
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	ИПЭБ представляет собой сумму нормированных значений параметров 1—6, взятых со своим весом. ИПЭБ оценивался на втором уровне свертки показателей в предположении равновесности исходных критериев 1—6 первого уровня.

Таблица 3

Оценочная шкала интегрального показателя ЭБ

Признак	Степень экологического благополучия, классы экологического благополучия				
	Высокое I	Выше среднего II	Среднее III	Ниже среднего IV	Низкое V
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	0–0,23	0,23–0,46	0,46–0,58	0,58–0,76	0,76–1,00

Результаты интегральной оценки ЭБ для оз. Суури с учетом равновесности задания приоритетов оцениваемых параметров для первого и второго уровней свертки приведены в табл. 4. Для 2010–2012 гг. экологическое благополучие озера оценено II классом (выше среднего). При этом значения ИПЭБ в 2010–2012 гг. незначительно изменялись внутри II класса: от 0,37 до 0,41 (IIc–IIп).

Таблица 4

Значения показателей первого и второго уровней свертки для оз. Суури в 2010–2012 гг.

Показатели / год	2010	2011	2012
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	0,41 (IIп)	0,37 (IIc)	0,40 (IIп)

Примечание. Нижний индекс справа от номера класса означает: с — ближе к середине класса, п — ближе к правой границе класса.

Заключение

Сравнивая результаты наблюдений 2012 г. с ретроспективными данными можно отметить следующее. Характерной особенностью 2012 г. являлось то, что все наблюдения проводились после обильных, продолжительных дождей 18–19 июля 2012 г. Уровень воды в озере повысился на 0,5–0,6 м относительно уровня июля 2011 г. Температура воды в поверхностном слое озера была на 4° ниже температуры 2011 г. В то же время в период работ 2010–2011 гг. из-за устойчивой теплой погоды в озере в большей степени была выражена летняя вертикальная стратификация вод и формирование придонного слоя воды в гипolimнионе, ниже глубины 3–3,5 м, отличительными чертами которого являются: понижение температуры воды до 11–12°С (при температуре на поверхности 24,5°С), недостаточная аэрация придонного слоя и формирование условий, близких к анаэробным с минимальным насыщением воды кислородом 0,06 мг/л (0,5 % насыщения). Содержание аммонийного азота распределялось в толще воды равномерно и возросло по сравнению с 1993 г. в 2–3 раза. Еще одной особенностью является то, что до глубины 2 м в 2012 г. и 3–3,5 м в 2011 г. доходит лишь 1–2 % поступающей на поверхность воды освещенности. Ниже глубины 4 м развиваются слабо закисленные условия (рН от 5,93 до 6,56 в 2012 г.; рН = 5,9–6,0 в 2011 г.; в 1993 г. — 6,3–6,7)

с максимумом электропроводности 62,8–71,9 мкСм/см в 2012 г. и 81–88 мкСм/см в 2011 г. Весной–летом 1993 г. в связи с сильным ветром максимальная разница температур верхнего и придонного слоев воды не превышала 1,3 °С.

Значение $D/P_{\text{вал}}$ во всех случаях больше единицы, что свидетельствует о том, что в период выполнения съемки озера в центральной его части процессы деструкции органического вещества превышали новообразование (продуцирование) органического вещества в толще воды «0 м — глубина прозрачности». Однако в прибрежной зоне продукционные процессы преобладали над деструкционными. Время осветления воды зоопланктоном в июле составляет 4–7 суток. Основным биогеном, лимитирующим первичную продукцию в озере, как и в прошлые годы, является фосфор. Его недостаток уменьшает продуктивность фитопланктона в 2–6 раз. Азот практически не лимитирует первичную продукцию. Эффект самозатенения в верхней 2-метровой толще воды вызывает снижение удельной скорости продуцирования органического вещества фитопланктоном в 2–3,8 раза.

По биологическим индексам качество воды оценивается III–IV классами. По гидрохимическим показателям в поверхностном слое воду озера можно отнести к I–II классам, в придонных слоях, в зависимости от глубины, — к I–II (мелководье), либо к IV–V (глубоководные станции) классам качества.

Оценка устойчивости оз. Суури к изменению параметров естественного режима и эвтрофированию указывает, что водоем относится к границе III–IV классов устойчивости (III класс, ближе к правой границе). Следуя принципу Ле Шателье-Брауна, повышение уровня трофии для озера будет сопровождаться в перспективе повышением устойчивости к антропогенному эвтрофированию. Это не должно восприниматься как создание благополучной экологической ситуации (обстановки) в озере или как повышение экологического благополучия в водоеме.

По устойчивости к изменению параметров естественного режима и изменению качества воды для поверхностных горизонтов оз. Суури относится к IV–V (низкоустойчивым) классам. Для глубоких точек, расположенных в центральной части озера, в этом случае получен III класс устойчивости. Было признано, что оз. Суури более уязвимо к изменению параметров естественного режима и качества воды (в поверхностном слое), чем к изменению параметров естественного режима и эвтрофированию.

Разработаны признаки экологически благополучной водной экосистемы, для которой сформулирована модель-классификация экологического благополучия (ЭБ). В перечень признаков включены: 1 — оптимальная первичная продукция, создаваемая олиготрофными экосистемами; 2 — высокое качество воды; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты; 4 — высокая устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 5 — низкая скорость закисления; 6 — высокая скорость самоочищения. На основе метода сводных показателей (МСП) выполнена интегральная оценка экологического благополучия оз. Суури. Для 2010–2012 гг. экологическое благополучие озера оценено II классом (выше среднего). При этом значения интегрального показателя ЭБ в 2010–2012 гг. незначительно изменялись внутри II класса: от 0,37 до 0,41 (IIc–IIп).

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 11-05-00909-а, 13-05-10046-к, 113-05-00648-а.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. — СПб., 1992. — 318 с.
2. *Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). — Екатеринбург: Изд. УИФ «Наука», 1994. — 280 с.
3. *Гальцова В.В., Дмитриев В.В.* Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем. Учебное пособие. — СПб.: Наука, 2007. — 364 с.
4. *Дмитриев В.В.* Гидробиология и водная экология. Программа учебного курса. Учебно-методическое обеспечение специальностей 012700—Гидрология, 012800—Океанология. Для гос. ун-тов. — М.: Изд. Геогр. фак. Моск. ун-та, 2002, с.158–168.
5. Длительные изменения и современное состояние ландшафтов Приладожья. Отв. ред. Г.А. Исаченко. — СПб., 1995.
6. *Дмитриев В.В., Мандрыка О.Н., Огуцов А.Н., Потапова Т.М.* Состояние водных объектов северо-западного Приладожья и оценка их устойчивости к антропогенному эвтрофированию. // Сборник научных трудов «Длительные изменения и современное состояние ландшафтов Приладожья» под ред. А.Г. Исаченко. — СПб.: изд. СПбГУ, 1995, с. 90–99.
7. *Дмитриев В.В.* Методическое пособие к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть 1. — СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. — 38 с.
8. *Дмитриев В.В.* Гидроэкологические работы на озере. Учебная практика студентов 2-го курса. Учебное пособие «Полевая гидрологическая практика». Под ред. В.С. Вуглинского. Раздел 3. — СПб.: СПбГУ, 2000, с. 84–115.
9. *Дмитриев В.В.* Гидроэкология: проблемы самоидентификации и развития. // Международная конференция и школа-семинар для молодых ученых и аспирантов «Первые Виноградовские чтения, будущее гидрологии» памяти выдающегося российского гидролога Ю.Б. Виноградова. 16–18 ноября 2013 г., Редакторы: проф. Дмитриев В.В., Лебедева Л.С., Семенова О.М. — СПб.: СПбГУ, 2013, с. 115–117.
10. *Дмитриев В.В.* Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов. Автореф. докт. дисс. — СПб., 2000.
11. *Дмитриев В.В., Васильев В.Ю., Горбовская А.Д., Мандрыка О.Н., Огуцов А.Н., Опекунова М.Г., Потапова Т.М.* Диагностика состояния водоемов, наземной растительности и почвенного покрова геосистем карельского Приладожья. I. Диагностика состояния водных объектов. // Известия Русского географического общества, 1996, т. 128, вып. 1, с. 45–55.
12. *Дмитриев В.В., Васильев В.Ю., Горбовская А.Д., Огуцов А.Н., Опекунова М.Г., Потапова Т.М.* Диагностика состояния водоемов, наземной растительности и почвенного покрова геосистем карельского Приладожья. II. Диагностика состояния почвенного и растительного покрова, устойчивость геосистем к антропогенному воздействию и др. // Известия Русского географического общества, 1996, т. 128, вып. 2, с. 49–54.
13. *Дмитриев В.В., Огуцов А.Н., Васильев В.Ю., Примаков Е.А., Лобачева Ю.В., Скрыгина В.К.* Оценка эмерджентных свойств сложных систем в природе и обществе на основе моделей интегрального оценивания. // Сборник трудов VI международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ — 2012». 2–4 июля 2012 г. Под редакцией: Л.Н.Карлина, В.Н. Воробьева, В.А. Шелутко, В.В.Дмитриева. — СПб.: РГМУ, 2013, с. 18–27.
14. *Дмитриев В.В., Панов В.Е., Пряхина Г.В.* Методические указания по учебно-производственной практике «Экологическое состояние водных объектов». Учебно-метод. пособие. — СПб.: ВВМ, 2010. — 116 с.
15. *Дмитриев В.В., Панов В.Е., Пуленко Н.А., Шарафутдинова Г.Ф., Бурцев С.Н., Боброва О.Н., Буршева О.А., Евдокимов А.А., Зезюльчик Т.С., Кашина В.В.* Экологическое состояние водных объектов карельского приладожья по результатам экспедиционных исследований 2011 г. и его сравнение с ретроспективными данными. // Современные проблемы географии и геоэкологии. Материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию почетного профессора СПбГУ, доктора географических наук, профессора А.Г. Исаченко. Под общей ред. Алиева Т.А., Белозерского Г.Н., Дмитриева В.В., Мовчан В.Н., Чистобаева А.И. — 2012, с. 220–233.
16. *Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Пряхина Г.В., Федорова И.В.* Методическое пособие к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть 2. — СПб.: Изд. СПбГУ, 2007. — 48 с.

17. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. — СПб.: Наука, 2004. — 294 с.
18. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. — М., Л., 1964. — 271 с.
19. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. — Л., 1988.
20. *Дмитриев В.В.* Методические указания по дисциплине «Системная экология». Специальность 320300 — Геоэкология. — СПб.: РГГМУ, 2002. — 26 с.
21. *Семенченко В.П., Раздужский В.И.* Экологическое качество поверхностных вод. — Минск: Беларуская навука, 2010. — 329 с.
22. *Снакин В.В., Мельченко В.Е., Буковский Р.О. и др.* Оценка состояния и устойчивости экосистем. — М., 1992. — 127с.
23. Учебно-научные географические станции вузов России. Справочное пособие. Под ред. Г.И. Рычагова и С.И. Антонова. — М.: Географический факультет МГУ, 2001. — 589 с.
24. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. — М.: Наука, 2005.
25. Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ—2012. Сборник трудов VI международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ — 2012». 2–4 июля 2012 г. Под ред. Л.Н. Карлина, В.Н. Воробьева, В.А. Шелутко, В.В. Дмитриева. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 298 с.
26. *Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J., Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T.* Buffer Zones in headwater catchments. // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. — 22 p.
27. *Wright J.F., Furse M.T., Armitage P.D.* RIVPACS — a technique for evaluating the biological quality of rivers in the UK. // European Water Pollution Control, 1993, vol. 3(4).

Л.Н. Тимошенко

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ВОЛОГОДСКОЙ
ОБЛАСТИ**

L.N. Timoshenko

**ECOLOGICALLY ACCEPTABLE LEVELS OF CHEMICAL SUBSTANCES IN
WATER OBJECTS OF THE VOLOGDA REGION**

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме экологического нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов. Автор приходит к выводу об экологической целесообразности регионального нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты Вологодской области.

Ключевые слова: экологически допустимая концентрация, реки Вологда, Ягорба, Молога, Суда, М.С. Двина, Сухона, Юг.

The article is devoted to the present problem of environmental regulation of water quality in fishery water bodies. The author comes to the conclusion that the environmental advisability of the regional regulation of anthropogenic load on water bodies of the Vologda region.

Key words: environmentally acceptable concentration, r. Vologda, r. Yagorba, r. Mologa, r. Suda, r. Malaya Severnaya Dvina, r. Sukhona, r. Yug.

Современное общество все в большей степени сталкивается с проблемой обеспечения безопасности и защиты человека и окружающей среды от воздействия техногенных, антропогенных и природных факторов. Ключевая проблема формирования системы экологической безопасности — это создание научного подхода к экологическому нормированию состояния и антропогенного воздействия на природные системы. Экологическое нормирование, базирующееся на оценке состояния и ответной реакции на воздействие, устойчивости экосистем к различным видам антропогенного воздействия, представляет собой механизм управления хозяйственной деятельностью, предназначенный для снижения ущерба от антропогенного воздействия на окружающую среду. Одной из важнейших причин нарушения естественного функционирования водных экосистем и ухудшения качества вод является небезупречность системы нормирования антропогенной нагрузки. К примеру, в качестве критериев нормирования применяются общие для всей территории Российской Федерации предельно допустимые концентрации, которые зависят исключительно от вида водопользования и не принимают в расчет региональные особенности формирования природных вод. В конечном итоге утверждаются ошибочные приоритеты управления антропогенной нагрузкой. Проблемы экологического нормирования состояния поверхностных водных объектов и, как следствие, проблема оценки состояния и устойчивости водных систем являются приоритетными в эколого-географических исследованиях.

В связи с изложенным цель данного исследования заключалась в установлении региональных экологических уровней содержания химических веществ в водных объектах Вологодской области. Задачами работы являлись оценка качества поверхностной воды по гидрохимическим показателям, сравнение фактических концентраций загрязняющих веществ водных объектов Вологодской области с действующими предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{р/х}). Для проведения исследования были использованы первичные данные гидрохимического мониторинга рек Вологодской области за период с 1998 по 2012 г. Вологодского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Территория Вологодской области относится к бассейнам трех морей: Белого, Каспийского и Балтийского. Водосборная площадь бассейна Белого моря занимает 70 % территории области, бассейна Каспийского моря — 22 % и бассейна Балтийского моря — 8 %. В области насчитывается около 20 тысяч рек и ручьев, более 5 тысяч озер общей площадью 3023 км², поверхностными водными объектами занято 4,6 % территории (6603 км²). Самые малые водотоки длиной до 25 км составляют 98 %, малые реки длиной до 100 км составляют около 1,5 %, на долю средних рек, длина которых измеряется от 100 до 1000 км, приходится менее 1 %. Наиболее крупными реками являются р. Сухона, р. Юг, р. Суда, р. Молога. На территории Вологодской области формируются речные воды гидрокарбонатного класса группы кальция малой и средней минерализации [1].

Особенностью всех поверхностных водных объектов являются сезонные колебания состава воды, особенно таких показателей, как цветность, щелочность, жесткость. Поверхностные воды Вологодской области отличаются повышенным содержанием органических веществ гумусового происхождения, которые образуются в процессе разложения остатков растений. Особенно это характерно для зон, где распространены торфяные болота. Высокое содержание гуминовых веществ придает воде желто-коричневый цвет.

Химический состав природных вод подвергается трансформации под действием антропогенной нагрузки. Наибольшее загрязнение водных объектов наблюдается в период летней и зимней межени, когда уровни воды достигают минимальных значений, и в период весеннего половодья, когда происходит таяние снежного покрова и смыв загрязняющих веществ с прилегающих территорий. Период пика и спада весеннего половодья и период перед ледоставом характеризуются улучшением качества поверхностных вод вследствие больших расходов воды в реках. Следует отметить значительный вклад в загрязнение поверхностных водных объектов неорганизованного стока, поступающего с водосборной площади.

Для оценки качества вод использован метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по 15 основным гидрохимическим показателям на основе УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), согласно РД 52.24.643-2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям» с применением программного комплекса «УКИЗВ-сеть» [2]. При этом были использованы следующие классы качества воды: 1-й класс — условно чистая; 2-й класс — слабо загрязненная; 3-й класс:

разряд а) — загрязненная, разряд б) — очень загрязненная; 4-й класс: разряды а) и б) — грязная, разряды в) и г) — очень грязная; 5-й класс — экстремально грязная» (табл. 1).

Таблица 1

Динамика величин УКИЗВ водных объектов Вологодской области

Пункт наблюдений	Год														
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) / Класс качества воды														
р. Вологда выше г. Вологда	4,34 4 А	3,64 3 Б	4,13 4 А	4,30 4 А	4,48 4 А	4,73 4 А	3,24 3 Б	3,96 3 Б	5,24 4 А	2,82 3 А	3,88 3 Б	4,54 4 А	4,32 4 А	4,37 4 А	5,75 4 Б
р. Ягорба д. Мостовая	4,91 4 А	4,94 4 А	5,23 4 А	5,29 4 А	5,88 4 А	5,68 4 А	4,79 4 А	4,07 4 А	5,02 4 А	4,73 4 А	3,55 3 Б	4,93 4 А	5,00 4 А	4,82 4 А	5,62 4 А
р. Молога выше г. Устюжна	2,74 3 А	2,73 3 А	3,74 3 Б	2,53 3 А	3,41 3 Б	3,11 3 Б	3,87 3 Б	3,74 3 Б	3,09 3 Б	2,77 3 А	3,08 3 Б	2,89 3 А	3,47 3 Б	3,00 3 Б	3,69 3 Б
р. Суда д. Борисово- Судское	3,38 3 Б	3,19 3 Б	4,00 4 А	4,72 4 А	3,52 3 Б	4,19 4 А	4,51 4 А	3,80 3 Б	3,76 3 Б	3,96 3 Б	3,48 3 Б	4,28 4 А	4,54 4 А	4,24 4 А	3,94 3 Б
р. М.С. Двина выше г. Краса- вино	3,58 3 Б	3,57 3 Б	3,68 3 Б	2,81 3 А	5,01 4 А	3,72 3 Б	3,89 4 А	3,75 4 А	4,13 4 А	3,03 3 Б	2,56 3 А	3,75 3 Б	4,48 4 А	3,93 3 Б	3,37 3 Б
р. Сухона выше г. Сокол	4,47 4 А	4,03 4 А	4,41 4 А	4,2 4 А	4,73 4 А	4,91 4 А	3,22 3 Б	3,19 3 Б	3,81 4 А	2,42 3 А	3,93 4 А	3,62 3 Б	3,57 3 Б	4,62 4 А	4,70 4 А
р. Сухона выше г. Тотьма	3,64 3 Б	4,93 4 А	5,29 4 А	4,43 4 А	4,43 4 А	4,22 4 А	2,87 3 А	3,68 3 Б	4,31 4 А	3,23 3 Б	4,09 4 А	2,74 3 А	3,48 3 Б	3,49 3 Б	4,21 4 А
р. Сухона г. Великий Устюг	4,09 4 А	4,77 4 А	3,51 3 Б	3,96 3 Б	4,50 4 А	4,30 4 А	4,17 4 А	3,97 3 Б	5,16 4 Б	3,62 3 Б	3,33 3 Б	3,01 3 Б	3,51 3 Б	3,76 3 Б	4,56 4 А
р. Юг д. Пермас	2,79 3 А	2,40 3 А	3,79 3 Б	1,99 2	2,97 3 А	2,00 2	2,28 3 А	3,29 3 Б	2,74 3 А	1,93 2	2,77 3 А	3,03 3 Б	1,98 2	3,31 3 Б	3,62 3 Б
р. Юг д. Стрелка	4,33 4 А	4,02 4 А	2,96 3 А	3,07 3 Б	3,62 4 А	4,18 4 А	4,44 4 А	4,09 4 А	3,79 4 А	3,02 3 Б	3,30 3 Б	3,36 3 Б	3,67 3 Б	3,01 3 Б	2,99 3 А

При оценке загрязненности поверхностных вод использованы «Нормативы качества водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденные приказом Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010 [3].

Проведенный анализ данных мониторинга (величин УКИЗВ) показал, что в основном состояние водных объектов характеризуется 3 классом качества разряда «Б» (очень загрязненная) и 4 классом качества разряда «А» (грязная). Математико-статистический анализ данных мониторинга поверхностной воды основных водных объектов позволил провести сравнение фактических концентраций загрязняющих веществ с действующими ПДК_{р/х} (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнение ПДК_{р/х} и содержания загрязняющих веществ для водных объектов
Вологодской области**

№ п/п	Вещество	Концентрации веществ по гидрологическим сезонам, мг/дм³				ПДК _{р/х}
		зимняя межень	весеннее половодье	летняя межень	осенний паводок	
р. Вологда выше г. Вологда						
1	Железо	0,22	0,28	0,14	0,15	0,10
2	Медь	0,004	0,005	0,008	0,004	0,001
3	Цинк	0,005	0,009	0,009	0,007	0,010
4	Нитраты	0,42	0,38	0,10	0,15	40,00
5	Сульфаты	83	31	74	90	100
6	Хлориды	20	7	18	20	300
7	Фосфаты	0,034	0,025	0,029	0,027	0,200
р. Ягорба д. Мостовая						
1	Железо	0,19	0,24	0,22	0,18	0,10
2	Медь	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001
3	Цинк	0,013	0,011	0,007	0,007	0,010
4	Нитраты	0,53	0,47	0,16	0,26	40,00
5	Сульфаты	268	124	328	237	100
6	Хлориды	13	7	11	16	300
7	Фосфаты	0,090	0,071	0,170	0,094	0,200
р. Молога выше г. Устюжна						
1	Железо	0,49	0,37	0,25	0,36	0,10
2	Медь	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001
3	Цинк	0,008	0,009	0,010	0,006	0,010
4	Нитраты	0,31	0,25	0,07	0,15	40,00
5	Сульфаты	34	23	27	48	100
6	Хлориды	8	4	8	9	300
7	Фосфаты	0,038	0,035	0,027	0,027	0,200
р. Суда д. Борисово-Судское						
1	Железо	0,53	0,42	0,51	0,57	0,10
2	Медь	0,0039	0,0057	0,0051	0,0050	0,001
3	Цинк	0,0170	0,0201	0,0195	0,0177	0,010
4	Нитраты	0,28	0,21	0,20	0,24	40,00
5	Сульфаты	11,31	13,69	13,30	12,92	100
6	Хлориды	5,11	4,09	4,84	5,27	300
7	Фосфаты	0,040	0,031	0,026	0,030	0,200
р. Малая Северная Двина выше г. Красавино						

№ п/п	Вещество	Концентрации веществ по гидрологическим сезонам, мг/дм ³				ПДК _{р/х}
		зимняя межень	весеннее половодье	летняя межень	осенний паводок	
1	Железо	0,39	0,50	0,28	0,32	0,10
2	Медь	0,004	0,006	0,005	0,006	0,001
3	Цинк	0,009	0,011	0,012	0,012	0,010
4	Нитраты	0,38	0,15	0,07	0,12	40,00
5	Сульфаты	65	26	36	0,01	100
6	Хлориды	15	6	9	13	300
7	Фосфаты	0,022	0,016	0,014	0,009	0,200
р. Сухона выше г. Сокол						
1	Железо	0,20	0,20	0,15	0,13	0,10
продолжение таблицы 2						
2	Медь	0,004	0,005	0,007	0,005	0,001
3	Цинк	0,006	0,010	0,008	0,006	0,010
4	Нитраты	0,28	0,30	0,11	0,07	40,00
5	Сульфаты	68	30	33	50	100
6	Хлориды	8	6	5	6	300
7	Фосфаты	0,013	0,013	0,007	0,007	0,200
р. Сухона выше г. Тотьма						
1	Железо	0,56	0,44	0,29	0,38	0,10
2	Медь	0,003	0,003	0,004	0,003	0,001
3	Цинк	0,009	0,008	0,007	0,008	0,010
4	Нитраты	0,42	0,26	0,17	0,21	40,00
5	Сульфаты	54	21	33	42	100
6	Хлориды	15	5	8	9	300
7	Фосфаты	0,059	0,033	0,034	0,038	0,200
р. Сухона г. Великий Устюг						
1	Железо	0,39	0,43	0,29	0,31	0,10
2	Медь	0,005	0,006	0,005	0,006	0,001
3	Цинк	0,010	0,013	0,011	0,011	0,010
4	Нитраты	0,37	0,25	0,21	0,14	40,00
5	Сульфаты	90	26	48	50	100
6	Хлориды	14	5	8	9	300
7	Фосфаты	0,020	0,015	0,011	0,009	0,200
р. Юг д. Пермас						
1	Железо	0,34	0,37	0,32	0,40	0,10
2	Медь	0,002	0,003	0,005	0,002	0,001
3	Цинк	0,005	0,006	0,008	0,005	0,010

№ п/п	Вещество	Концентрации веществ по гидрологическим сезонам, мг/дм ³				ПДК _{р/х}
		зимняя межень	весеннее половодье	летняя межень	осенний паводок	
4	Нитраты	0,30	0,11	0,04	0,11	40,00
5	Сульфаты	18	16	14	18	100
6	Хлориды	6	4	6	5	300
7	Фосфаты	0,032	0,024	0,020	0,026	0,200
р. Юг д. Стрелка						
1	Железо	0,48	0,62	0,27	0,42	0,10
2	Медь	0,004	0,006	0,006	0,005	0,001
3	Цинк	0,011	0,015	0,011	0,012	0,010
4	Нитраты	0,26	0,20	0,05	0,13	40,00
5	Сульфаты	26	17	26	26	100
6	Хлориды	9	4	9	8	300
7	Фосфаты	0,016	0,016	0,008	0,015	0,200

Выявлено, что утвержденные Федеральным агентством по рыболовству ПДК_{р/х} являются завышенными для поверхностных вод Вологодской области по нитратам, сульфатам, хлоридам и фосфатам; по железу и меди — заниженными.

В ходе работы автором установлены экологически допустимые концентрации (ЭДК) для водных объектов Вологодской области. Применена методология экологического нормирования, разработанная Д.Г. Замолотчиковым и базирующаяся на следующей формуле:

$$\text{ЭДК} = \text{ВК} + 1,5(\text{ВК} - \text{НК}), \text{ мг/л},$$

где ЭДК — экологически допустимая концентрация, мг/л; ВК — верхняя квартиль распределения, мг/л; НК — нижняя квартиль распределения, мг/л.

Верхняя граница значений рассматривается как экологически допустимая концентрация для тех факторов, с возрастанием значений которых связано ухудшение экологического состояния. По вышеприведенной формуле были рассчитаны величины ЭДК для толщи воды рек Вологда, Ягорба, Молога, Суда, Малая Северная Двина, Сухона, Юг (табл. 3).

Результаты исследований свидетельствуют, что разработка и внедрение региональных экологически допустимых уровней содержания химических веществ в водах позволит исправить ситуацию, когда ПДК, с одной стороны, необоснованно завышены (нитраты, сульфаты, хлориды и фосфаты), а с другой — занижены (медь, железо) и не могут быть соблюдены в силу естественных причин, обусловленных природными особенностями водных объектов Вологодской области. Кроме этого, внедрение региональных экологических критериев нормирования позволит снизить биогенную нагрузку и уменьшить негативные последствия, связанные с ухудшением её качества. В работе предлагается скорректировать предельно допустимые показатели концентраций

для рыбохозяйственного использования в узком спектре, не отменяя более тысячи показателей, утвержденных Федеральным агентством по Росрыболовству приказом № 20 от 18.01.2010, тем самым региональное нормирование позволит внести фактор учёта природных особенностей водных объектов Вологодской области.

Таким образом, внедрение региональных экологически допустимых уровней содержания химических веществ позволит по-новому оценить экологическое состояние водных объектов и составить эффективную программу поэтапного снижения антропогенной нагрузки по приоритетным загрязняющим веществам.

Таблица 3

**Экологически допустимые концентрации химических веществ в водных объектах
Вологодской области**

Пункт наблюдений	Ингредиент						
	Железо	Медь	Цинк	Нитраты	Сульфаты	Хлориды	Фосфаты
	ЭДК, мг/л						
р. Вологда выше г. Вологда	0,66	0,014	0,021	1,18	157	35	0,088
р. Ягорба д. Мостовая	0,47	0,008	0,025	1,06	520	22	0,243
р. Молога выше г. Устюжна	0,95	0,007	0,021	0,55	67	15	0,068
р. Суда д. Борисово-Судское	1,10	0,018	0,036	0,60	34	10	0,059
р. М.С. Двина выше г. Красавино	0,87	0,015	0,029	0,48	114	20	0,036
р. Сухона вышег. Сокол	0,42	0,013	0,022	0,59	88	14	0,032
р. Сухона выше г. Тотма	0,92	0,007	0,024	0,64	77	17	0,090
р. Сухона г. Великий Устюг	0,78	0,015	0,028	0,71	109	16	0,037
р. Юг д. Пермас	0,76	0,007	0,019	0,40	32	10	0,043
р. Юг д. Стрелка	1,05	0,011	0,030	0,45	51	15	0,033

Литература

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2011 г. / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2012. — 248 с.
2. Руководящий документ 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. — СПб.: Гидрометеоздат, 2002. — 49 с.
3. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. — М.: Изд-во ВНИРО, 2011. — 257 с.

А.В. Новиков

МЕНТАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ

A. V. Novikov

MENTAL PREREQUISITES OF ECONOMIC ACTIVITIES IN THE RUSSIAN SOCIETY

В статье рассматриваются процессы формирования ментальности российского общества, становление неформальных институтов и их воздействие на хозяйственное поведение людей. Анализируются подходы к пониманию богатства и бедности в российской традиции. Подчёркивается необходимость учёта традиций, определяющих и гарантирующих сохранение постоянства и устойчивости нации, при проведении социально-экономических реформ.

Ключевые слова: ментальность, социально-экономические преобразования, хозяйственная деятельность, национальная специфика, богатство.

Processes of mentality forming of the Russian society, formation of informal institutes and their influence on economic behavior of people are considered in the article. Approaches to understanding of riches and poverty in the Russian tradition are analyzed. Necessity of accounting of the traditions determining and warranting preserving of a constancy and stability of the nation at realization of social and economic reforms is underlined.

Key words: mentality, social and economic transformations, economic activities, national specificity, riches and poverty.

Макроэкономическое положение России в конце XX в. было достаточно тяжёлым. Основные показатели иллюстрируют снижение эффективности национальной экономики, резкий спад объемов производства, снижение уровня и качества жизни населения, ухудшение состояния окружающей среды, то есть резкую деградацией политической и социально-экономической ситуации в стране. Однако больше всего пострадала не хозяйственная сфера, не система власти, а, по определению А.А. Зиновьева, «третья основная сфера страны — ментальная» [6, с. 345–346], то есть то общее, что рождается из природных данных и социально обусловленных компонентов и раскрывает представление человека о мире. Другими словами, — идеологическое, психологическое и моральное состояние российского населения, которому был нанесен колоссальный ущерб.

В процессе формирования национального менталитета каждого народа важную роль играют специфические условия его социально-экономического, общественного и государственно-политического развития, в ходе которого складываются социальная психология, традиции, обычаи, культура, присущие только ему и отличающие его от других народов, закрепляющиеся на генном уровне народа.

Мироощущение и мировосприятие людей данного общества, их верования, навыки мышления, социальные и этнические ценности, сложившиеся в течение длительного времени нормы морали и традиции в каждую эпоху и в каждом обществе взаимосвязаны и образуют некую модель мира, которая является основой менталитета нации. Именно менталитет определяет экономические, политические, социальные отношения, социально-культурное и социально-экономическое мышление и, как следствие, мотивированное поведение отдельного человека и нации в целом, то есть хозяйственный строй.

В частности, менталитет народа реализуется через представления о богатстве и сложившееся отношение к богатым, что в большой степени определяет экономическое поведение и является показателем уровня развития рыночных отношений, степени имущественного и социального расслоения, а также готовности народа к рыночным реформам.

Традиционно понятие богатства на Руси было неоднозначным. Богатство в смысле зажиточности, довольства, сытости было тесно связано с личным трудом и обеспеченностью семьи продовольствием и имело положительный оттенок. Труд почитался крестьянами в качестве первоосновы материального благосостояния и нравственного поведения: «Без труда нет добра»; «Труд кормит и одевает» [4]. Так, в Смоленской губернии богатым считался крестьянин, полностью обеспечивающий потребности семьи собственным хлебом. «Затем степень зажиточности уже определялась тем временем, когда крестьянин начинает покупать хлеб: «до Рождества, до Масляной, после Святой, только перед новью [13, с. 487]». При этом понятия «богатство» и «довольство» могли противопоставляться: «Богатым быть трудно, а сытым (а довольным) не мудрено». Богатство как явление положительное связывалось с наличием ума и со способностью самостоятельно мыслить: «Богатство ум рождает»; «Смотря на людей, сыт не будешь». Идеальное представление крестьянина о богатстве ассоциировалось «не с количеством материальных благ, а с полнотой бытия», не было противопоставления материального богатства духовному, экономического благосостояния нравственному совершенствованию, а «спутником материального достатка» должно было быть «нравственное и душевное здоровье» [3, с. 57–74]. С другой стороны, богатство, понимаемое как обладание имуществом и деньгами, позволявшими иметь сверх необходимого, используемое как источник извлечения новой прибыли, приближалось к понятию «капитала» и имело явно осуждающий оттенок. Наличие психологической ориентации на использование собственности в качестве капитала было для крестьян самым точным индикатором, помогавшим определять «кулака». Кулак — это характеристика не столько имущественного состояния крестьянина, социальная характеристика, сколько состояние его души.

Такое богатство, его происхождение и рост связывались не с трудовой деятельностью, а с несправедливыми, не соответствовавшими христианской морали делами и

прямым обманом: «В аду не быть, богатство не нажить»; «От трудов праведных не нажить палат каменных».

Многие в народе считали, что любое богатство связано с грехом: «Богатство перед Богом — большой грех»; «У кого деньги вижу, — души не вижу»; «Пусти душу в ад — будешь богат». Отсюда следовали выводы: «Лучше жить бедняком, чем разбогатеть со грехом» [4].

То есть образ бедняка больше согласовывался с народным идеалом. Отсюда особое отношение у русского человека к юродивым, «несчастненьким», как особо отмеченным Богом. «Бедность — святое дело»; «Богат, да крив, беден, да прям»; «Бедность не порок, а несчастье».

«Домострой» — свод житейских предписаний и наставлений, составленный в XVI в. священником Сильвестром, проводил идею неразрывности экономической жизни с практической духовностью, что должно было быть отражено в построении саморегулируемого хозяйства, ориентированного на разумный достаток. Идеал такого хозяйства — праведный труд, основанный на духовности и нравственности: «Краше быть в праведном убожестве, чем в неправедном богатстве».

Н.О. Лосский приводит наблюдение Вальтера Шубарта, прибалтийского немца, написавшего книгу *«Europa und die Seele des Ostens»* («Европа и душа Востока») о том, что «русскому и вообще славянам свойственно стремление к свободе, не только от ига иностранного народа, но и свободе от всего преходящего и бренного». Это отличительная черта русского характера: «У европейцев бедный никогда не смотрит на богатого без зависти; у русских богатый зачастую смотрит на бедного со стыдом. У западного человека сердце радостнее бьется, когда он обозревает свое имущество, а русский при этом чувствует порой угрызения совести. В нем живо чувство, что собственность владеет нами, а не мы ею, что владеть значит быть в плену у того, чем владеешь, что в богатстве чахнет свобода души, а таинство этой свободы и есть самая дорогая святыня» [8, с. 50].

В преобладании духовно-нравственных мотивов жизненного поведения над материальными интересами заключается суть черты, которую О. Платонов называет «нестяжательством» и которая характерна для большинства россиян — отсутствие стремления к алчному накоплению денег, страсти к наживе. Суть его заключена в русских пословицах: «Лишнее не бери, карман не дери, души не губи»; «Живота (богатства) не копи, а душу не мори»; «Не о хлебе едином жив будешь»; «Лучше хлеб с водою, чем пирог с бедою» [10, с. 51]. «Нестяжательство» было идеологией трудового человека Древней Руси, в значительной степени повлиявшей и на его дальнейшее развитие.

Даже в среде крупной российской буржуазии, среди богатых промышленников и купцов название права собственности «священным» было бы кощунством. В иерархии ценностей русского купечества к концу XIX в. богатство занимает не главное место, его начинают рассматривать как средство жить независимо, открыть свое дело, иметь возможность вести благотворительную и культурную деятельность. (Достаточно вспомнить имена С.И. Мамонтова, П.М. и С.М. Третьяковых, С.Т. Морозова и многих других).

Характерным является отношение к чужому имуществу. Посягнуть на него — страшный грех. «Лучше по миру собирать, чем чужое брать»; «Хоть в латаном, да не в хватаном»; «Не береги своё, береги чужое». Для западного бюргера такая фраза была бы бессмыслицей [4].

Таким образом, к богатству и богачам, к накопительству русский человек относился если не недоброжелательно, то с большим подозрением. Стяжание богатства выше своей потребности, накопительство всяких благ выше меры не вписывалось в его шкалу жизненных ценностей. О. Платонов формулирует бытовавшие среди крестьянских мудрецов и бывалых людей истины, идейно-нравственное содержание которых состоит в следующем: «Богатство человека состоит не в деньгах и комфорте, не в дорогих и удобных вещах и предметах, а в глубине и многообразии постижения сущности бытия, стяжании красоты и гармонии мира, создании высокого нравственного порядка» [10, с. 53–54]. В то же время, безусловно не поощряя излишеств, подозрительно относясь к роскоши, крестьянин стремился к достатку, выраженному в достаточности жизненных благ и для отдельного двора, и для деревни в целом [1, с. 309].

Показательно, что девизом дореволюционных «Биржевых ведомостей» было: «Прибыль превыше всего, но честь превыше прибыли», а присяга биржевого брокера гласила: «Я, ниже поименованный, обещаюсь и клянусь Всемогущим Богом перед Святым Его Евангелием, в том, что по принимаемой мной обязанности маклера... исполнять все предписанные и впредь предписываться могущие правила, и оправдывать сделанное мне доверие не по одному опасению законных наказаний, а по чистой совести и в страхе Божиим; из пристрастия же, корысти, дружбы или вражды, противно должности моей, отнюдь не поступать; в чем целую слова и Крест Спасителя моего, Аминь» [11, с. 45–53].

К несчастью для России, в результате усиленного насаждения западных стереотипов экономического поведения произошел отрыв большей части нашей элиты, в руках которой волею случая оказалась экономическая власть над российским народом, от той нравственно-этической основы общества, на которой строилось здание экономики Российской империи. Направленность на личное обогащение в ущерб интересам государства и народа, которая не была свойственна исторически сложившемуся менталитету россиян, стала не только завоевывать умы элиты, но и изменять с угрожающей быстротой ментальность народа, и в первую очередь молодого поколения, формировавшегося уже в новых условиях дикого капитализма последнего десятилетия XX в. [12, с. 175]

На это указывают результаты многочисленных социологических опросов, направленных на выяснение ценностной ориентации молодежи, проводившихся в последнее время в среде студентов вузов ряда городов. Так, например, по данным, приводимым Ю.Р. Вишневым и В.Т. Шапко, приоритетными жизненными целями большинства респондентов являются высокий заработок, богатство, а высокий рейтинг имеют «рыночные» качества (предприимчивость, деловитость, инновационность) при низких оценках нравственно-коммуникативных качеств [2, с. 62].

Данные, полученные Институтом комплексных социальных исследований РАН, показывают, что до 40 % молодежи готовы преступить черту закона и моральные нормы для достижения своей цели [7, с. 78].

Конечно, можно возразить, что это естественный ход событий и изменение менталитета народа в сторону соответствия «более прогрессивному» строю поможет нам приблизиться к идеалам западной цивилизации. Однако нельзя забывать, что черты менталитета, национального характера, традиции и делают любой народ

именно данным народом. Их полная утрата, полное преобразование означает потерю национальной самобытности, гибель народа, этноса. «Народ, даже утративший свою государственность и свободу, всё же продолжает существовать, но утрата традиций означает исчезновение народа» [9, с. 34]. Традиции — основа жизни любого общества, именно они гарантируют сохранение того постоянства и устойчивости, которые и делают народ, нацию, этнос исторической реальностью.

В «Соборном слове» XI Всемирного русского народного Собора, проходившего в 2006 г. и посвященного вопросам богатства и бедности («Богатство и бедность: исторические вызовы России») сказано: «Порочный курс на личное обогащение в ущерб интересам государства и народа чужд исторически сложившемуся российскому общественному укладу. Проблему бедности следует решать конкретными политико-экономическими средствами с учетом краеугольных ценностей, присущих нашей национальной традиции. Наш народ, сохранивший от предков высокую нравственную чуткость, продолжает считать законными и справедливыми трудовые доходы, а не «легкие» и уж тем более не криминальные деньги. Россия никогда не поклонялась золотому тельцу, помня, что «не в силе Бог, а в правде» [5, с. 84–94].

Об этом мы не должны забывать, если хотим сохранить Великую Россию для будущих поколений.

Литература

1. *Алпатов Г.Е.* Предпринимательство и труд. Ключевая причина безработицы. // Современные проблемы науки и образования, 2012, № 2.
2. *Вишневский Ю.Р., Шапко В.Т.* Студент 90-х — социокультурная динамика. // Соц. ис., 2000, № 12.
3. *Гордон А.В.* Хозяйствование на земле — основа крестьянского мировосприятия. // Менталитет и аграрное развитие России. (XIX–XX в.) Материалы междунар. конф. 14–15 июня 1994 г. — М., 1996.
4. *Даль В.И.* Пословицы русского народа. — М., 1957.
5. Журнал Московской Патриархии, 2007, № 3.
6. *Зиновьев А.А.* Гибель русского коммунизма. — М., 2001.
7. *Карпущин О.И.* Культура и молодёжь. // Вестник аналитики, 2006, № 3.
8. *Лосский Н.О.* Характер русского народа. Диалог времён и народов. // Философия и жизнь, 1991, № 2.
9. *Панфилов О.М.* Парадокс традиции. // Традиции и обновление. Диалог мировоззрений. Ч. 1. Материалы междунар. симп. 6–8 июля 1995 г. — Н. Новгород, 1995.
10. *Платонов О.* Русская цивилизация. — М. 1995.
11. *Фальцман В.* Российское предпринимательство с позиций христианской морали. // Вопросы экономики, 2000, № 8.
12. *Феофилова Т.Ю.* Теоретическое обоснование регионального социально-экономического развития: формирование понятийно-терминологической системы. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 21, с. 172–180.
13. *Энгельгардт А.Н.* Из деревни: 12 писем. 1872–1887. — М., 1987.

Е.Е. Петрова, Н.Н. Сисина

**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕТА
И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ**

E.E. Petrova, N.N. Sisina

**ECONOMIC ANALYSIS AS A BASIS OF ACCOUNTING AND OPTIMIZATION
OF ENVIRONMENTAL REGULATION ACTIVITY OF ECONOMIC ENTITIES**

В статье аргументированы место и роль экономического анализа природоохранной деятельности в системе функционирования и оценки деятельности предприятий, исследованы некоторые показатели оценки природоохранных достижений на макроуровне.

Ключевые слова: природоохранная деятельность, показатели затрат на охрану окружающей среды, затраты на природоохранные мероприятия, экономический анализ.

This paper argued the place and role of economic analysis of environmental activities in the functioning and evaluation of companies investigated some indicators to measure environmental achievements at the macro level.

Key words: environmental performance, cost indicators for environmental protection, the costs of environmental protection measures, the economic analysis.

Разработка единого методологического подхода к решению задач оптимизации и комфортного внедрения природоохранной деятельности в хозяйственный механизм функционирования экономических субъектов — сложная задача, требующая всестороннего и глубокого научного осмысления. Важной темой этого научного направления является полномасштабное информационное отражение процессов, связанных с реализацией мероприятий, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, в нефинансовой отчетности, в регистрах бухгалтерского и статистического учета и отчетности, иных носителях информации. Это требует грамотной и обоснованной систематизации природоохранных затрат и оценки их эффективности с помощью аналитических показателей во всех циклах управления предприятием. И в этой связи актуализация экономического анализа как функции управления очевидна и не требует доказательств.

Количественно характеризуя проявления массовых процессов на всех уровнях взаимодействия общества и природы, экономический анализ окружающей среды способствует и углублению научного познания процессов природопользования, законов его развития. При решении указанных проблем применяются единые методологические приемы, обусловленные познавательными функциями науки. Эти функции сводятся к изучению совокупностей объектов природопользования, динамики аналитических показателей окружающей среды, изменений структуры совокупностей, происходящих

во времени, связей и взаимозависимостей между показателями. Анализ, располагая мощным арсеналом приемов измерения, разрабатываемых его теорией, способствует совершенствованию управления природопользованием. При этом ставится задача охватить всю совокупность многочисленных категорий и отношений, возникающих в процессе взаимодействия общества и природы, помочь интегрировать политику охраны среды и воспроизводства природных ресурсов в общий механизм функционирования народного хозяйства.

Само рассмотрение каждого результата выполнения плана средоохранительных мероприятий не как фатально предопределенного, а как одного из возможных результатов, открывает прекрасные перспективы для экономического анализа, подчеркивает роль и значение анализа для обоснованного оптимального выбора управленческих решений. Вот почему и в дальнейшем необходимо совершенствовать действующую систему показателей окружающей среды как в качественном, так и в количественном отношении, чтобы более четко и полно видеть отражение процессов природопользования. Кроме того, система аналитических показателей природопользования должна быть органически увязана с другими системами, в первую очередь — с системами результативных экономических показателей. В связи с этим необходима стоимостная оценка природных ресурсов, по которой используемые ресурсы должны включаться в затраты соответствующих предприятий. Установление адекватной экономической оценки природных ресурсов — одна из сложнейших задач, которые стоят перед экономической наукой. Не решив ее, нельзя успешно исчислять статистические характеристики природопользования, объединять различные системы в единую систему, охватывающую научно-технический базис, экономику, биосферу и область собственно социальных процессов.

Важность анализа окружающей среды проявляется и в том, что его методология должна активно использоваться в определении рациональных форм организации социально-экономической информации, применяемой в управлении природоохранной деятельностью. Поэтому важной теоретической и практической задачей экономического анализа служит изучение деятельности по использованию объектов природы в целях удовлетворения человеческих потребностей. Иначе говоря, для того чтобы экономический анализ был мощным «орудием социального познания», надо прежде всего выделить все то, что составляет качество, природу явлений и что подлежит в данной конкретной обстановке количественному измерению, ибо лишь после того, как выяснены сущность этих форм и их отличительные особенности, имеет смысл иллюстрировать развитие той или другой формы посредством обработанных надлежащим образом данных. Объекты аналитического исследования средоохранительной деятельности имеются на любом уровне — локальном, региональном, во всех без исключения отраслях и сферах деятельности.

Потенциальным потребителям учетно-аналитической информации о деятельности хозяйствующих субъектов чрезвычайно важно знать не только текущее финансовое состояние предприятия и его стоимость, базирующуюся на использовании традиционных оценок эффективности воспроизводственного цикла, но и о глубинных причинах данного процесса, возможных и скрытых отношениях. Благополучное на первый взгляд финансово-экономическое положение организации может быть в

реальности совсем другим, если не учитывать систему соответствующих ограничений экологического характера, основанных на концепции устойчивого развития. Например, получение высокодоходных в настоящее время видов продукции (монокультур в АПК, сырьев в природоэксплуатирующих отраслях) неизбежно приводит к резкому ухудшению финансовой устойчивости и, как следствие, финансовой результативности. Естественно, что в этих условиях растет доля затрат хозяйствующих субъектов, направленных на создание и функционирование средозащитных инфраструктур.

Цель экономического анализа прежде всего зависит от интересов внутренних и внешних потребителей информации. Основные цели экономического анализа видятся в исследовании особенностей процесса природопользования хозяйственных единиц с позиций повышения их эколого-экономической безопасности и устойчивости. Кроме того, необходима оценка влияния эколого-экономических процессов на финансово-хозяйственные перспективы развития предприятий и организаций. С этих позиций к основным задачам экологического анализа относятся:

- а) комплексная оценка эффективности процессов природопользования в рамках воспроизводственного цикла хозяйственных единиц, их активности и привлекательности;
- б) анализ финансово-экономической результативности природоохранной деятельности;
- в) информационное обеспечение менеджмента предприятия и других потребителей;
- г) анализ экологического риска и качества управленческих решений, связанных с процессами природопользования, освоение ресурсосберегающих технологий и производств по утилизации и переработке отходов [1];
- д) оценка эффективности экологического налогообложения и других обязательств природоохранного характера;
- е) моделирование и прогнозирование эколого-экономических процессов и оценка их влияния на перспективное устойчивое развитие предприятий.

В настоящее время возникла объективная необходимость в комплексной (интегральной) методике анализа итогов хозяйственной деятельности, понимаемой не только с точки зрения получения определенного объема прибыли, но и усиления устойчивости предприятия, приращения его стоимости, в том числе с учетом эколого-ориентированных факторов.

Вопросам разработки показателей природоохранной деятельности действующих предприятий в той или иной степени посвящены работы Ананиашвили Д.Н., Арбузова В.В., Балацкого О.Ф., Барского Л.А., Бородина А.И., Гофмана К.Г., Гухмана Г.О., Грузина Д.П., Ильичевой М.В., Иутина И.Г., Коробкина В.И., Кувалдиной Т.Б., Либермана Б.Н., Медведевой О.Е., Музалевского А.А., Петровой Е.Е., Саенко К.С., Сенина В.Н., Симакина В.И., Сисиной Н.Н., Смагаринского И.А., Сотниковой Л.В., Сошниковой Л.А., Суягиной А.Б., Трудовой М.Г., Туяковой З.С., Фатеева А.А., Цыганкова А.П., других [2].

Для характеристики объема затрат на природоохранные мероприятия, как правило, используются показатели величины текущих экологических затрат и экологических инвестиций. Это такие показатели как «затраты на эксплуатацию и текущий ремонт

природоохранного оборудования», «затраты цеха очистки сточных вод за текущий месяц», «затраты на закупку и ввод в эксплуатацию очистных сооружений на водных объектах» и другие.

А для исследования достаточности таких затрат, по нашему мнению, следует использовать показатели уровня природоохранных издержек в себестоимости продукции, а также снижения объема вредных технологических и иных выбросов на единицу природоохранных затрат или на 1 млн руб. произведенной продукции в рыночных ценах. Иными словами, 1 млн руб. природоохранных затрат (или на 1 млн руб. готовой продукции по рыночным ценам) снижает антропогенную нагрузку на элементы окружающей природной среды (водный, воздушный бассейны, земельные ресурсы,) в количестве, например, 100 т (или приходится 100 т выбросов вредных веществ от всех источников загрязнения).

В соответствии с действующими методиками экономического анализа на предприятии для анализа природоохранных затрат, на наш взгляд, можно использовать модель следующего содержания:

$$Z_{\Sigma} = K + T, \quad (1)$$

где Z_{Σ} — общая сумма экологических затрат предприятия; K — капитальные затраты; T — текущие затраты.

Эту модель следует расширить с учетом количества охраняемых элементов окружающей природной среды.

$$Z_{\Sigma} = K_{\text{вод}} + K_{\text{возд}} + K_{\text{зем}} + T_{\text{вод}} + T_{\text{возд}} + T_{\text{зем}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{вод}}$, $K_{\text{возд}}$, $K_{\text{зем}}$ — капитальные затраты на охрану воды, воздуха, земельных ресурсов; $T_{\text{вод}}$, $T_{\text{возд}}$, $T_{\text{зем}}$ — текущие затраты по водо-, воздухо- и землеохранной деятельности.

Представленная модель носит аддитивный характер и количественный факторный анализ сводится к применению приема сравнения. Применяя эту модель на практике, аналитик имеет возможность проследить динамику и результаты и факторов-слагаемых, а также сравнить полученные расчетные значения результатов и факторов их определяющих с суммой всех издержек предприятия и выявить влияние изменения текущих затрат на финансовые результаты предприятия. Кроме экологических затрат на финансовые результаты предприятия влияют и экологические результаты, среди которых наиболее ярко выступает показатель прибыли, полученной от реализации на сторону — третьим лицам — (либо от использования в собственном производстве в виде сырья) уловленных промышленных отходов. Также важно исследовать влияние динамики экологических платежей предприятия и экологических штрафов на финансовые результаты его деятельности.

В экономической и научной литературе не утихают дискуссии по вопросу определения эффективности природоохранных затрат. В частности, О.Е. Медведева предлагает при проектировании деятельности хозяйствующих субъектов считать не только

экономическую, но и эколого-экономическую эффективность их будущей деятельности. По мнению Медведевой О.Е., в ходе проектного анализа необходимо считать показатель эколого-экономической эффективности, который определяется как соотношение общих экономических выгод и потерь от проекта, включая внешние экологические эффекты и связанные с ними социальные и экономические последствия, затрагивающие интересы населения и будущих поколений в результате осуществления разрабатываемого проекта [4].

В рамках изучаемой темы особый научный интерес вызывают показатели, используемые государственными органами для оценки природоохранных достижений на макроуровне, алгоритм расчета которых может быть использован и для формирования показателей на уровне предприятий. Так, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации использует показатели, называя их ключевыми индикаторами достижения поставленных задач [3], а именно:

- показатель «Объем выбросов вредных (загрязняющих) веществ от стационарных источников на единицу валового внутреннего продукта»;
- показатель «Объем образованных отходов всех классов опасности на единицу валового внутреннего продукта».

Первый показатель, по данным Минприроды РФ, в 2012 г., по предварительной оценке, составил 0,4 т на 1 млн руб. валового внутреннего продукта. Второй показатель в 2012 г. составил 91 т на 1 млн руб. валового внутреннего продукта. Как оценить достигнутые результаты? Как их интерпретировать? Каково содержание каждого из вышеуказанных применяемых Минприродой России показателей?

Валовый внутренний продукт (ВВП) представляет собой рыночную стоимость всех конечных товаров и услуг произведенных на территории нашего государства за год во всех отраслях народного хозяйства, т.е. ВВП — совокупная стоимость товаров и услуг, которые производят предприятия природопользователи и не природопользователи. Очевидно, что не все товары и не все услуги производятся с использованием «грязных» технологий, которые оказывают негативное влияние на состояние и качество элементов окружающей природной среды. Следовательно, алгоритм расчета предлагаемых Минприродой РФ показателей, приведённых выше, не совсем корректен. На наш взгляд, из расчета ВВП для целей расчета этих показателей необходимо исключить продукцию и услуги производимые на предприятиях — не природопользователях, а также предприятий с «зелеными» технологиями. Аналогичная ситуация и с расчетом второго показателя. Кроме того, целесообразно, на наш взгляд, рассчитывать показатели, характеризующие величину загрязнений (количество в тоннах и по ингредиентам) не на 1 млн руб., а на 1 т продукции по отраслям. Например, предприятия химии и нефтехимии загрязняют, в основном, воздух и воду, а атомные станции — воду и физические поля (радиационные загрязнения). Поэтому по предприятиям основной химии для оценки достигнутых результатов следует рассчитывать показатель удельного веса загрязнений на 1 т произведённой продукции, в том числе по ингредиентам и по объектам охраны — воде и воздуху. Для атомной энергетики следует считать удельный вес радиационных загрязнений на 1000 кВт/ч электроэнергии, в том числе в воде и в физических полях.

Система показателей анализа природоохранной деятельности и оценки её эффективности продолжает разрабатываться и пополняться новыми показателями, наиболее полно отражающими все её аспекты в условиях развивающейся «зелёной» экономики.

Литература

1. *Петрова Е.Е.* Управление экологическими рисками в инвестиционном анализе. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 27, с. 191–195.
2. *Петрова Е.Е., Сисина Н.Н.* Природоохранная деятельность предприятий: инвестирование, учет и анализ. Монография. — СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. — 199 с.
3. [mnr.gov.ru].
4. [ecopolici.ru].

Э.С. Цховребов, А.Н. Лебин, М.П. Церенова, Е.А. Яйли

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА (ВРЕДА)

E.S. Tshovrebov, A.N. Lebin, M.P. Tserenova, E.A. Yally

ECONOMIC AND LEGAL QUESTIONS OF THE ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL DAMAGE (HARM)

В статье рассматриваются экономические и правовые вопросы оценки и определения экологического ущерба (вреда), наносимого окружающей среде и здоровью граждан в разрезе существующей нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: вред окружающей среде, экономический ущерб, охрана окружающей среды, экологическая безопасность, экологический мониторинг.

In article economic and legal questions of an estimation and definition of the ecological damage (harm) put to environment and health of citizens in a cut of existing is standard-legal base are considered.

Key words: harm to environment, an economic damage, preservation of the environment, ecological safety, ecological monitoring.

В соответствии с определением, данным в ФЗ «Об охране окружающей среды» [8], под понятием вреда окружающей среде понимается негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов. Статьи 77 и 79 Закона обязывают юридических и физических лиц, причинивших вред окружающей среде в результате ее загрязнения, истощения, порчи, уничтожения, нерационального использования природных ресурсов, деградации и разрушения естественных экологических систем, природных комплексов и ландшафтов, а также здоровью и имуществу граждан, причиненный негативным воздействием на них окружающей среды в результате хозяйственной и иной деятельности, возместить его в полном объеме в соответствии с законодательством. Однако наиболее актуальным и необходимым для обеспечения экологической безопасности, защиты жизни и здоровья граждан является не прекращение экологически опасной деятельности, в результате которой может быть нанесен вред атмосфере, земельным, водным, лесным, биологическим ресурсам, недрам, а ее предотвращение и недопущение.

В основном экологическом законе страны заложены принципы ответственности как органов государственной власти Российской Федерации и субъектов РФ, местного самоуправления за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на соответствующих территориях, так и субъектов хозяйственной и иной деятельности, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, а также за реализацию проектов, которые могут привести к деградации естественных экологических систем, изменению и (или) уничтожению генетического фонда растений,

животных и других организмов, загрязнению и истощению природных ресурсов и иным негативным изменениям окружающей среды.

Предприятия, организации и граждане, ответственные за выполнение работ по проектированию и строительству объектов, зданий и сооружений, в случае несоблюдения санитарных правил или невозможности их выполнения, обязаны приостановить либо полностью прекратить проведение этих работ и их финансирование, что предусмотрено статьей 12 ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Большая роль в предупреждении и недопущении возможного вреда окружающей среде и здоровью людей отведена российским законодательством общественности, общественным и некоммерческим объединениям, гражданам. В соответствии со статьями 11 и 12 [8] граждане и общественные объединения имеют право подавать в органы государственной власти Российской Федерации и субъектов РФ, органы местного самоуправления, суд обращения об отмене решений о проектировании, размещении, строительстве, реконструкции, эксплуатации объектов, хозяйственная и иная деятельность которых может оказать негативное воздействие на окружающую среду, об ограничении, о приостановлении и прекращении хозяйственной и иной деятельности, оказывающей негативное воздействие на окружающую среду, а также предъявлять в суд иски о возмещении вреда, нанесенного окружающей среде.

Многие виды деятельности, связанной с воздействием на окружающую среду (почвы, воды, атмосферный воздух), законно считать обеспечением потребителей товарами и услугами и отнести отношения, возникающие при этом, к отношениям, регулируемым ФЗ «О защите прав потребителей». В статье 7 Закона отмечается, что в случае нарушения установленных правил использования, хранения или транспортировки продукции причиняется или возможно причинение вреда жизни, здоровью и имуществу потребителя, окружающей среде, изготовитель (исполнитель, продавец) обязан незамедлительно приостановить её производство (реализацию) до устранения причин вреда, а в необходимых случаях принять меры по изъятию её из оборота и отзыву от потребителя (потребителей).

Однако если вред природной среде или здоровью граждан фактически нанесен, должны приниматься все необходимые предусмотренные российским законодательством меры по возмещению его в полном объеме. В соответствии с п. 3 статьи 77 [8] вред окружающей среде, причиненный субъектом хозяйственной и иной деятельности, возмещается в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, а при их отсутствии исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды.

Определение размера вреда окружающей среде, причиненного нарушением экологического законодательства, осуществляется исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды, а также в соответствии с проектами рекультивационных и иных восстановительных работ, при их отсутствии — в соответствии с таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, утвержденными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды. При этом на основании решения суда или арбитражного

суда вред окружающей среде, причиненный нарушением законодательства в области охраны окружающей среды, может быть возмещен посредством возложения на ответчика обязанности по восстановлению нарушенного состояния окружающей среды за счет его средств в соответствии с проектом восстановительных работ (статья 78 [8]).

В соответствии с нормативно-правовыми актами МПР России [1, 2], возмещение вреда потерпевшей стороне может осуществляться в натуральной и стоимостной формах за счет собственных средств виновника или средств страховых организаций, осуществляющих экологическое страхование.

К натуральным формам возмещения относятся меры по восстановлению эквивалента утраченному количеству и качеству природного ресурса, предоставлению равноценного природного ресурса взамен утраченного или выведенного из хозяйственного оборота, восстановлению природного ресурса до исходного состояния на момент нанесения вреда, прекращению работы объектов, технологических процессов, оборудования, строительство за счет виновной стороны и передача потерпевшей стороне сооружений и объектов по воспроизводству и восстановлению утраченного. При натуральной форме возмещения вреда оформляются соответствующие соглашения и договоры, регламентирующие порядок, условия, сроки и объемы компенсационной передачи потерпевшей стороне эквивалента либо адекватного возмещения природного ресурса, утраченного вследствие нанесенного вреда, определенных действий или бездействия. Наиболее разнообразными представляются стоимостные формы возмещения вреда, включающие:

- предоставление финансовых средств для восстановления нарушенного состояния природной среды или природного ресурса до исходного к моменту нанесения вреда уровню;
- финансирование мероприятий по воспроизводству природных ресурсов;
- компенсацию иных дополнительных затрат в связи с восстановлением природного ресурса и народнохозяйственной продукции;
- финансовое обеспечение мер по возмещению вреда, включая упущенную в связи с этим потерпевшей стороной выгоду.

При стоимостной форме возмещения осуществляются следующие юридические действия:

- виновной стороной (или страховой организацией) перечисляются требуемые средства в полном объеме и в установленные сроки;
- предусматриваются поэтапные компенсационные выплаты в соответствии со сроками восстановления утраченного в результате нанесенного вреда;
- на договорной основе виновной стороной обеспечивается льготный режим финансирования и кредитования по перечню мероприятий пострадавшей стороны или устанавливаются иные формы, адекватные масштабам и последствиям нанесенного вреда.

Оценка ущерба от проявления социально-экономических последствий негативного воздействия на окружающую среду и здоровье граждан осуществляется на основе специальных обследований, аналитических расчетов и прогнозных экспертных оценок возможных последствий.

Убытки потерпевшей стороны, связанные с ликвидацией последствий ущерба, рассчитываются по документам, представленным потерпевшими и включаются в исковое заявление. При этом убытки, понесенные виновной стороной, не учитываются при определении суммы иска.

Исчисление ущерба и убытков осуществляется на основании действующей нормативно-методической документации (утвержденных Правительством РФ, МПР России методик и такс исчисления вреда водным объектам, почве, лесам, животному миру, атмосферному воздуху [3–6]), кадастровой оценки природных ресурсов, а также по фактическим затратам на восстановление природной среды. При этом документально подтверждаются данные об убытках и ущербе, включая упущенную выгоду. В конкретных ситуациях, при недостаточном нормативно-методическом обеспечении, используются экспертные оценки компетентных специалистов, данные экологического мониторинга природных систем.

При расчете величины ущерба учитываются объемы, степень опасности и продолжительность негативного воздействия на окружающую среду (загрязнения), коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости, иные предусмотренные законодательством повышающие коэффициенты, включая коэффициент инфляции.

В некоторых методиках регламентируется исчисление вреда конкретному виду природных объектов или ресурсов от различных видов негативного воздействия. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [3], предназначена для исчисления в стоимостной форме размера вреда, нанесенного почвам в результате нарушения экологического законодательства, а также при возникновении аварийных и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С помощью данной Методики в стоимостной форме исчисляется размер вреда, причиненного почвам, в результате:

- химического загрязнения почв в результате поступления в почвы химических веществ, приводящее к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций химических веществ в почвах;
- несанкционированного размещения отходов производства и потребления;
- порчи почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами.

Однако в практике работы природоохранных и правоохранительных органов возникают значительные трудности, связанные с полноценным сбором доказательной базы для привлечения юридических, должностных и физических лиц, незаконные действия которых способствовали возникновению ущерба (вреда) окружающей среде и здоровью граждан к различным видам юридической ответственности из-за несвоевременного выявления субъекта и объекта правонарушения, отсутствия инструментально-аналитической базы для обоснованной оценки объемов нанесенного вреда отдельным видам природных ресурсов и природной среды, сложностям правоприменения различных методик исчисления ущерба (вреда) природной среде и ее компонентам.

Особенно остро это проявляется в случаях нанесения вреда различным видам природных объектов и ресурсов в тесном взаимодействии недобросовестных природопользователей и должностных лиц органов исполнительной власти различных уровней. Наиболее частые эпизоды совместной противозаконной деятельности представляют собой незаконное выделение или захват земель лесного фонда либо сельхозугодий, уничтожение на них растительности, зеленых насаждений, лесов, последующую выработку на нарушенных участках полезных ископаемых (песка, торфа), а затем превращение оставшихся котлованов в свалки бытовых отходов, зачастую с получением всех разрешительных документов на эти действия. В этих случаях объектом невосполнимого вреда выступают как почвенный покров из-за уничтожения или порчи, лесной фонд в результате вырубki, недра — в виде изъятия, так и растительность, земли, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух в результате загрязнения, захламления значительных территорий свалками, размещения (захоронения) опасных отходов в природной среде, транслокации вредных веществ в воды, почвы, воздушную среду, флору, способствующих их загрязнению, деградации, уничтожению ценных экологических систем. В этом случае, за исключением гражданско-правовой ответственности, при наличии необходимых оснований должны привлекаться к уголовной ответственности не только природопользователи по статьям главы 26 УК РФ «Экологические преступления», но и должностные лица по преступлениям, связанными с злоупотреблениями и превышениями должностных полномочий (ст. 285 и 286 ст.), мошенничеством с использованием своих служебных полномочий (ст. 159), служебным подлогом (ст. 292), а также иным специфическим преступлениям в данной сфере: регистрацией незаконных сделок с землей (ст. 170), сокрытии информации об обстоятельствах, создающих опасность для жизни и здоровья людей (ст. 237), халатности (ст. 293).

Учитывая, что права граждан России на благоприятную для проживания окружающую среду, достоверную информацию о её состоянии и возмещение в полном объеме ущерба здоровью и имуществу граждан, причиненных экологическими правонарушениями, являются конституционными правами, а обеспечение экологической безопасности и охраны окружающей среды представляются одними из основных задач российского государства, именно неисполнение или ненадлежащее исполнение должностными лицами своих служебных обязанностей, их превышение, злоупотребление ими, повлекшие существенное нарушение прав и законных интересов граждан, организаций либо охраняемых законом интересов общества, государства и явившихся причиной тяжких последствий — нанесенного вреда окружающей среде или здоровью граждан должны являться основанием для привлечения к уголовной ответственности должностных лиц, по вине которых стало возможной экологически опасная деятельность юридических или физических лиц с нанесением вреда природной среде и здоровью людей.

Следует учитывать, что отказ в возбуждении или прекращение возбужденного уголовного дела, вынесение приговора не исключают возможности предъявления иска о возмещении вреда, причиненного окружающей среде, при наличии к тому оснований, предусмотренных законом.

В соответствии с [7], лица, совместно причинившие вред окружающей среде, на основании статьи 1080 ГК РФ несут солидарную ответственность. Суд вправе

возложить на них долевую ответственность, исходя из степени вины каждого из них, а при невозможности определить степень вины — исходя из равенства долей (ст. 1080, 1081 ГК РФ). При причинении вреда окружающей среде несколькими лицами они несут солидарную ответственность за причиненный вред лишь в тех случаях, когда установлено их совместное участие, проявляющееся в согласованности, координации и направленности их совместных действий, направленных на реализацию общего для всех действующих лиц намерения.

Курс на борьбу с коррупцией, провозглашенный как одна из основных задач российского государства, позволяет в комплексе решать и другие актуальные задачи: недопущение ущерба окружающей среде в результате незаконных действий юридических, физических и должностных лиц, а также предотвращение незаконного разбазаривания природных ресурсов России.

Литература

1. Временный порядок оценки и возмещения вреда окружающей природной среде в результате аварии. Утв. приказом МПР РФ от 27.06.94 № 200.
2. Временная методика предотвращения экологического ущерба. Утв. Председателем Госкомэкологии РФ 09.03.1999.
3. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утв. приказом Минприроды России от 08.07.2010 № 238.
4. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, утв. приказом МПР России от 30.03.2007 № 71.
5. Методика исчисления размера ущерба от загрязнения подземных вод, утв. приказом Госкомэкологии РФ от 11.02.98 № 81.
6. Постановление Правительства РФ от 08.05.2007 № 273 «Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства».
7. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 18.10.2012 № 21 «О применении судами законодательства об ответственности за нарушения в области охраны окружающей среды и природопользования».
8. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 2, ст. 133; 2004, № 35, ст. 3607).

А.Б. Звездова, М.С. Туровская

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПОДХОДЫ И ОЦЕНКА

A.B. Zvezdova, M.S. Turovskaya

EFFICIENCY INNOVATIVE EDUCATIONAL ACTIVITY: APPROACHES AND EVALUATION

Одной из приоритетных целей современных государств является обеспечение долгосрочного экономического роста. Экономический рост обусловлен результатом успешной деятельности предприятий всех отраслей национальной экономики и зависит в значительной мере от инновационной деятельности образовательных учреждений.

Ключевые слова: Инновации, экономика, развитие, эффективность, кластер, стратегия, государство, конкурентоспособность, образование, научно-технический потенциал.

One of the priorities of modern state is to ensure long-term economic growth. Economic growth is a result of the success of companies of all sectors of the national economy, and depends largely on enterprise innovation.

Key words: Innovation, the economy, development, efficiency, a cluster strategy, state, competitiveness, education, scientific and technological potential.

Вопрос инновационного развития экономики на данный момент — это вопрос конкурентоспособности страны в условиях дальнейшей глобализации. Понимание необходимости инновационного развития российской экономики нашло отражение в Стратегии инновационного развития Российской Федерации до 2020 г. В стратегии представлен сценарий развития инновационной экономики, дана оценка недавнего прошлого состояния инноваций в экономике страны и отмечены некоторые тенденции негативного характера.

Относительно современного состояния инноваций в России в Стратегии делается следующий вывод: «Несмотря на предпринятые Правительством Российской Федерации усилия, в российской экономике не сформировалась окончательно тенденция инновационного поведения бизнеса. Поставленные в предыдущей Стратегии развития науки и инноваций в Российской Федерации до 2015 г. целевые показатели, связанные с расширением инновационной активности компаний реального сектора, в том числе вследствие замедления роста, обусловленного кризисом 2008–2009 гг. в основном не достигнуты...».

В соответствии с результатами анализа, компании реального сектора в полном объеме не задействуют потенциал, созданный в последнее время инновационными структурами. Существует проблема измерения интенсивности инновационной деятельности, которая сегодня во многом определяет уровень экономического развития субъектов рынка. Освоение новых технологий в процессе диффузии инноваций, внедрение новых

конкурентоспособных услуг, в том числе образовательных, и активный маркетинг на новых сегментах рынка, включая географическое расширение сферы деятельности, являются ключевыми факторами устойчивого экономического развития страны.

По мнению специалистов, росту показателей эффективности функционирования национальной инновационной системы препятствует стагнация спроса на инновации со стороны российских компаний. Основными причинами такой ситуации является как недостаточная мотивация руководства организаций, так и ограниченные ресурсы, в первую очередь, финансовые. Кроме пассивности российских компаний, выделяются и другие причины, негативно влияющие на инновационное развитие страны: по числу исследователей на 1000 занятых в экономике Россия уступает более чем двадцати государствам, в том числе Финляндии, Франции, Германии, США, Японии и др.; уровень внутренних затрат на исследования и разработки в расчете на одного исследователя в России отстает: от Китая — в 1,3 раза, от Франции — в 3,3 раза, от США — в 4,4 раза; удельный вес возрастных групп ученых до 29 лет и 30–39 лет невелик, при этом наблюдается рост доли исследователей в возрасте 60 лет и старше. Следует заметить, что по приведенным количественным характеристикам наблюдается значительная вариативность, в том числе в различных официальных источниках.

В рамках решения стратегической задачи повышения конкурентоспособности российской экономики на государственном уровне были выработаны следующие меры:

- увеличение к 2018 г. общего объема финансирования государственных научных фондов до 25 млрд руб.;
- увеличение к 2015 г. внутренних затрат на исследования и разработки до 1,77 % внутреннего валового продукта с увеличением доли образовательных учреждений высшего профессионального образования в таких затратах до 11,4 %;
- увеличение к 2015 г. доли публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science), до 2,44 %;
- создания и внедрения инновационных образовательных продуктов, в том числе совместных программ с ведущими зарубежными вузами, программ, получивших валидацию ведущих зарубежных университетов, другие формы международного признания (не менее 10 % от общего числа программ ведущих российских университетов).

Заинтересованность государства в наполнении реального сектора кадрами, способными вывести экономику страны на новый уровень, нашла свое отражение в реализации повышения квалификации и междисциплинарной подготовки инновационно активных специалистов, которые востребованы на рынке труда, в финансировании фундаментальных и прикладных научных исследований, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, результатом которых являются объекты интеллектуальной собственности, ноу-хау, лицензии, патенты, новые методы, явления, научные публикации и др.

Методическое обеспечение оценки инновационной деятельности и процедур необходимых измерений содержится в Руководстве Осло, документ представляет собой совместную публикацию ОЭСР и Евростата, содержит рекомендации по сбору

и анализу данных по инновациям. Проблема заключается в том, что данные рекомендации относятся только к предприятиям, образовательные учреждения рассматриваются лишь в контексте диффузии инноваций.

Обсуждение процессов развития инновационного образования России в условиях глобализации и соответствующие варианты структурных решений отражено в ряде предложений, среди которых:

- создание необходимых условий и организация фундаментальных исследований;
- организация и поддержка прикладных НИОКР и развитие соответствующей материально-технической базы исследований;
- обеспечение и развитие необходимой информационной базы НИОКР.

Для эффективной организации взаимодействия на современном этапе образовательных учреждений, малых предприятий в сфере инновационной деятельности, промышленности предлагается создание интегрированных структур, которые формируются на основе национальной инновационной системы и объединяют в разных организационных формах науку, технику, технологии и образование с ориентацией на мировой рынок наукоемкой продукции и высоких технологий.

На практике только объединенные структуры способны обеспечить конкурентные преимущества как на внутреннем, так и на внешнем рынках высоких технологий. Отдельные главы Руководства Осло посвящены проблемам малого инновационного бизнеса, но затруднительно применить основные положения к российским предприятиям, в том числе к МИПам (малым инновационным предприятиям), создаваемых в российских вузах в соответствии с 217-м ФЗ с целью коммерциализации инноваций. Заслуживают внимания разнообразные модели инновационного взаимодействия. Так, модель сетевой структуры представляет собой иерархическую структуру сетевых систем, охватывающих весь инновационный цикл «исследования — разработка технологий — производство — реализация продукции». Государственная инновационная политика предполагает реализацию следующих принципов:

- интеграция науки и образования на основе различных форм участия работников, аспирантов и студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования в научных исследованиях и экспериментальных разработках посредством создания учебно-научных комплексов, лабораторий на базе образовательных учреждений высшего профессионального образования, кафедр на базе научных организаций государственных академий наук, а также научных организаций федеральных органов исполнительной власти;
- поддержка конкуренции и предпринимательской деятельности в области науки и техники;
- концентрация ресурсов на приоритетных направлениях развития науки и техники;
- стимулирование научной, научно-технической и инновационной деятельности через систему экономических и иных льгот;
- развитие научной, научно-технической и инновационной деятельности посредством создания системы государственных научных центров и других структур;
- развитие международного научного и научно-технического сотрудничества Российской Федерации;

- обеспечение управления и координации функционирования сетевых структур и на их основе — нормативных правовых документов;
- аккумулярование и распределение финансовых, интеллектуальных, производственных и организационных ресурсов;
- организация проведения мониторинга формирования и функционирования сетевых структур.

Инновационное образование — это формирование в вузе оптимальной и устойчивой учебно-организационной, научно-методической и нормативно-административной среды, которая обеспечивает поддержку всех инновационных подходов к образовательному процессу, ориентированных на интеграцию научно образовательного потенциала вуза и отраслевой академической науки и установления партнерских отношений с работодателями. Действующие совместные инновационные центры коммерциализации научно-технических разработок и технологий позволят на системной и профессиональной основе оказывать помощь ученым, сотрудникам, студентам и аспирантам во взаимоотношениях по различным вопросам связанным с трансфером их знаний и инновационных идей с бизнес-средой и обществом на региональной, национальной и международной основе.

На официальном сайте Министерства экономического развития и торговли РФ представлена классификация элементов инновационной системы с описанием их основных функций, даны рекомендации по содержанию информационных форм, применяемых для определения показателей инновационной деятельности в региональном разрезе.

В качестве критических замечаний по проблеме финансирования инновационной деятельности можно отметить, что существующие государственные расходы на научные исследования и разработки направлены на оказание большей поддержки престижным фундаментальным исследованиям в ущерб коммерчески-перспективным прикладным исследованиям, на субсидирование существующих научно-исследовательских институтов, независимо от того, соответствует ли тематика их исследований приоритетным направлениям национальной политики, и на поддержание существующего положения в вещей в институциональной сфере. Таким образом, государственное финансирование НИОКР больше направлено на поддержание существующей инфраструктуры научно-исследовательских организации, а не на получение соответствующих результатов.

На сайте Министерства образования и науки РФ размещен Проект Концепции развития исследовательской и инновационной деятельности в российских вузах. Концепция развития научно-исследовательской и инновационной деятельности в учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации на период до 2015 г. (далее — Концепция) разработана Министерством образования и науки Российской Федерации в соответствии с пунктом 1 Положения о Министерстве образования и науки Российской Федерации, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 мая 2010 г. № 337, и определяет основные направления формирования единой государственной политики в области развития научно-исследовательской и инновационной деятельности в учреждениях высшего

профессионального образования (далее — вузы) Российской Федерации. В Концепции сформулированы цели, задачи, направления и основные механизмы повышения вклада вузов в технологическую модернизацию реального сектора экономики Российской Федерации через развитие их научно-исследовательской и инновационной деятельности.

В соответствии с общемировыми тенденциями развития научно-исследовательской и инновационной деятельности в высшем профессиональном образовании, роль учреждений высшего профессионального образования (в первую очередь университетов) в генерации, использовании и распространении знаний за последние десятилетия усилилась. Широкое тиражирование получила так называемая модель глобального научно-исследовательского университета (*global research university*), в рамках которой университеты становятся активными игроками не только в производстве новых знаний, но и в их распространении и использовании через инновационную деятельность. Основные положения рассматриваемой Концепции позволяют сделать вывод, что инновационная деятельность в вузах является самостоятельной задачей высшей школы, решение которой позволяет привлечь дополнительные финансовые ресурсы, а эффективность этой деятельности характеризует качество образовательного процесса. Предусматривается формирование системы показателей в рамках аккредитации деятельности вузов, предусматривающих наличие определенного уровня исследовательских компетенций и организации научно-исследовательских работ. Краткое рассмотрение основных положений Концепции позволяет подтвердить важность научно-исследовательской компоненты деятельности вузов. В отношении инновационной образовательной деятельности представляет интерес совместный проект Национального фонда подготовки кадров (НФПК) и Института международных организаций и международного сотрудничества Национального исследовательского университета — «Высшая школа экономики», реализуемый по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации. Это проект «Разработка и апробация методологии рейтингования образовательных учреждений профессионального образования». В апробации методологии принимают участие около 100 российских ВУЗов. Результаты апробации планируется опубликовать на сайте НФПК; 24.09.2012 в Москве проводилась научно-практическая конференция «Перспективы применения модельной методологии ранжирования российских вузов». В рамках конференции, 21.09.2012 во время круглого стола, проводимого в формате вебинара «Национальная система ранжирования вузов и рынок труда» центры развития карьеры вузов-участников апробации и представители российских HR агентств обсуждали вопросы использования ранжирования как инструмента взаимодействия вузов с рынком труда. Предлагаемый подход, безусловно, потребует дифференциации объектов оценивания, например, по отраслевой принадлежности и образовательному профилю ВУЗа. Одним из достоинств методологии является четкая адресность результатов ранжирования, удовлетворение информационных потребностей различных целевых групп. Публичность результатов — это также немаловажный фактор при организации партнерского взаимодействия и экспорте конкурентоспособных образовательных услуг. Новый подход в системе государственного регулирования инновационных процессов характеризуется возросшей ролью местных организаций в формировании стратегий территориального развития, их ориентацией на качество локальных конкурентных преимуществ. В качестве одного

из действенных средств повышения конкурентоспособности экономики российских регионов выступают инновационные кластеры. Опыт стран с развитой рыночной экономикой свидетельствует о том, что кластерный подход широко применяется при разработке и реализации стратегий.

Для понимания инновационного процесса и формулирования инновационной политики чрезвычайно важно выявить факторы, движущие инновации и сдерживающие их. Интерес к измерению инноваций продиктован их отношением к эффективности предприятий, отраслей промышленности и экономики в целом. Эмпирические показатели воздействия инноваций на эффективность предприятий принадлежат, таким образом, к числу наиболее важных, но и вместе с тем, наиболее трудно определяемых характеристик инновационной деятельности. Воздействие инноваций на результат деятельности предприятий простирается от влияния на оборот и положение на рынке до изменений в производительности и эффективности. Среди значимых эффектов на отраслевом и национальном уровнях можно назвать изменения международной конкурентоспособности и общей производительности факторов производства, распространение новых знаний от инновационных предприятий, увеличение объема знаний, циркулирующих в сетях. Российский и международный бизнес, действующий в России, содействуют обеспечению качества образовательных услуг в соответствии с учетом требований рынков труда.

Актуальность рассматриваемого вопроса подтверждается Концепцией экспорта образовательных услуг Российской Федерации на период 2011–2020 гг., в которой отмечается, что приоритетным направлением развития экспорта образования является содействие двустороннему и многостороннему сотрудничеству с государствами — участниками СНГ. Россия активно участвует в региональных интеграционных процессах, на пространстве СНГ — это поддержка Сетевого открытого университета СНГ.

Особое внимание уделяется созданию условий для эффективного строительства Союзного государства; укреплению ЕврАзЭС, как ядра экономической региональной интеграции. Формирование образовательного пространства ЕврАзЭС и СНГ — взаимно полезный процесс для каждой из сторон, независимо от уровня развития национальных образовательных систем. При этом инновации в образовательном пространстве должны, как было отмечено выше, отражать требования рынка труда в рамках мировой интеграции.

Литература

1. Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г.
2. Концепция экспорта образовательных услуг Российской Федерации на период 2011–2020 гг.
3. Национальная инновационная система и государственная инновационная Российской Федерации. Базовый доклад к обзору ОЭСР национальной инновационной системы Российской Федерации. — М., 2009.
4. Указ Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки».
5. Лазар М.Г. Этика науки конца XX — начала XXI вв. и ее проблемы. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 25, с. 177–190.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В.В. Фомин, Е.В. Петров

ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ WEB-СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

V.V. Fomin, E.V. Petrov

ORGANIZATION OF PARALLEL PROCESSING FOR IMPLEMENTATION OF WEB DATA MINING SYSTEM

Рассматривается проблематика обработки больших объемов данных при организации систем интеллектуального анализа, предлагаются решения повышения общей эффективности вычислительного процесса. Акцент делается на особенностях Grid-технологий, распределенных систем и параллельных вычислений в условиях Internet-сетей и гибкости подключаемых аппаратных ресурсов.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, Internet-сети, облачные вычисления, параллельные вычисления.

Focuses on the problems of processing large amounts of data in the organization of systems of mining, offers solutions to improve the overall efficiency of the computational process. The focus is on the features of Grid-technologies, distributed systems, and parallel computing in Internet-connected networks and flexibility of hardware resources.

Key words: data mining, Internet-networking, cloud computing, parallel computing.

Современные геоинформационные системы (ГИС) включают в себя возможности аналитических средств и кроме классических задач управления, контроля, статистического анализа и графической визуализации данных решают различные задачи поддержки принятия решений, прогнозирования, мониторинга. Области применения ГИС многочисленны и разнообразны, в том числе:

- картографии — учет и планирование географических, транспортных, экологических, экономических факторов;
- геология — поиск полезных ископаемых, сейсмо-прогнозирование и т.д.;
- сельское хозяйство — прогнозирование урожая, борьбы с вредителями и т.д.;
- метеорологии — исследование климата и факторов на него влияющих, выявление аномалий и предупреждение чрезвычайных ситуаций;
- административное управление — составление расписаний, оптимизация информационных потоков, мониторинг и контроль показателей деятельности;
- обороне и многих других областях.

По своему предназначению, ГИСы относятся к классу информационных систем обрабатывающих огромные объемы данных [1]. Развитие и применение методов интеллектуального анализа данных (распознавания, прогнозирования, машинного обучения и т.д.) выводят проблему обработки данных на приоритетный уровень научных и прикладных исследований.

За последние десятилетия произошло интенсивное развитие информационных систем [2], в том числе в таких областях как сетевые технологии Internet, способы хранения и представления знаний, языки и инструментарий программирования, методы искусственного интеллекта, алгоритмы распределенных и облачных вычислений и т.д.

Научно-технические достижения в области искусственного интеллекта повлияли на формирование новых и трансформацию старых классов информационных систем — интеллектуальные информационные системы, систем интеллектуального анализа данных, экспертные системы, системы поддержки принятия решений и пр.

С ростом качества и количества информации хранимой и обрабатываемой в современных информационных системах возрастает потребность в различного вида ресурсах (вычислительных, коммуникационных, информационных). Решение проблемы ресурсов осуществляется в рамках различных составляющих, в том числе:

1. Неуклонно увеличивающийся объем информации постоянно требует совершенствования и увеличения аппаратно-технических ресурсов-накопителей, процессоров, средств коммуникации и передачи информации и т.д. С позиции проектирования и эксплуатации информационных систем такой подход соответствует интенсивному развитию, а все инновации и экстенсивный потенциал отдаются на откуп развития вычислительной техники.
2. Появление новых требований к информационной парадигме компьютерных систем от хранения и поиска данных к представлению знаний породило новые технологии обработки данных, основанные на различных методах интеллектуального анализа. К таким направлениям научных исследований в области искусственного интеллекта относятся data mining (раскоп данных), knowledge discovery in databases (обнаружение знаний в базах данных), machine learning (машинного обучения). Их возникновение связано с новым витком в развитии средств и методов обработки различной информации, и такими фундаментальными проблемами искусственного интеллекта как распознавание и прогнозирование. Этот виток обязан пришедшему пониманию, что в накопленной информации содержатся скрытые знания, которые можно извлечь и воспользоваться в практических целях. Алгоритмы искусственного интеллекта сильно усугубляют проблему вычислительных ресурсов, так как являются «жадными» алгоритмами и многократно превосходят ресурсоемкость классических алгоритмов поиска, сортировки и т.д.
3. Борьба за эффективное использование вычислительных ресурсов привела к появлению технологий распределенных систем и параллельных вычислений. Использование суперкомпьютеров в рамках подхода распараллеливания вычислительной задачи позволяет получить необходимую производительность, но из-за дороговизны оборудования этот способ может оказаться экономически неэффективным. Получить практически те же вычислительные мощности, что и на суперкомпьютерах, но с гораздо меньшей стоимостью, можно более полно

используя вычислительные ресурсы, имеющегося в распоряжении парка компьютеров, создав grid-систему. Применение grid систем обусловлено относительно низкой стоимостью оборудования, простотой развёртывания и возможностью масштабирования. Grid-система строится по принципу «клиент-сервер» и состоит из одного или нескольких компьютеров-серверов и множества компьютеров-клиентов свободной конфигурации. Компьютеры-клиенты занимаются вычислениями. Функции компьютера-сервера заключаются в выделении каждому из клиентов части вычислений, приеме и агрегировании результатов. Клиенты связываются с сервером с помощью высокоуровневого протокола HTTP.

В рамках проводимых работ по тематике «Разработка облачного ресурса интеллектуального анализа данных» была заложена концепция grid-систем. Поиски путей повышения производительности вычислительной техники [3], особенно при создании библиотеки WEB программ алгоритмов распознавания и прогнозирования (кластеризации и классификации), привели к простому, на первый взгляд, решению — создать распределенную вычислительную систему на базе Internet-технологий. Классические методы интеллектуального анализа данных, хорошо зарекомендовавшие себя в практике их использования и применения, обладают большим потенциалом к распараллеливанию вычислительных процессов и разработки параллельных алгоритмов их реализации. WEB-системы интеллектуального анализа данных разрабатывается как открытая, развивающаяся система, рассчитанная на привлечение по ее разработке студентов. Поэтому в качестве базового языка разработки был выбран наиболее «демократичный» язык PHP.

Облачные вычисления — тот инструментарий, в технологиях которого одним из приоритетов выступает организация распределенных систем и решение задач «распараллеливания» алгоритмов. Задачу организации параллельного вычисления можно решать со следующими типами конфигурации оборудования:

- выполнение на GPU (Open CL);
- выполнение на многопроцессорной системе;
- выполнение на многомашинной системе.

Grid-система предполагает распараллеливание и организацию распределенных вычислений на многомашинной основе с применением Internet-технологий.

Возможность реконфигурировать структуру Internet-соединений переводят задачу повышения эффективности вычислительных ресурсов в русло решения проблем настройки структуры вычислительной сети, подключаемых каналов связи и выделенных серверов в зависимости от исходных алгоритмов и данных и является ничем иным, как реализацией концепции адаптационных вычислительных систем.

Преимущества адаптивных вычислительных систем связаны в основном с тем, что используются следующие приемы.

- Эффективная работа системы определяется, прежде всего, дисциплиной обслуживания, адаптирующей систему к запросам пользователей. При этом задачи ранжируются по ресурсоемкости и под них выделяются соответствующие их рангу вычислительные мощности. Адаптация в данном случае заключается в том, что

дисциплина обслуживания реализует свои функции, не располагая информацией о том, какой длины и сложности задача поступила в вычислительную систему.

- Повышение живучести вычислительной системы путем дублирования ее элементов является типичной адаптацией к ее собственному состоянию, точнее — к состоянию ее элементов. Такая адаптация характерна для систем, которые обычно называются самонастраивающимися. Здесь самонастройка дает возможность вычислительной системе сохранять свою работоспособность независимо от того, что отдельные ее агрегаты в неизвестное заранее время выходят из строя.
- Распараллеливание и конвейер вычислений могут быть использованы не вообще, а лишь применительно к конкретной структуре алгоритма решения задачи. Процесс создания схемы многопроцессорной вычислительной системы — это, прежде всего процесс приспособления, адаптации к структуре выполняемой программы.

Идея распараллеливания применима там, где есть независимые друг от друга участки программы. Даже если программа не имеет таких участков или они очень малы, при массовых расчетах, когда один и тот же алгоритм выполняется многократно, можно сократить общее время вычислений.

Проиллюстрируем эту процедуру на простом примере. Пусть необходимо вычислить сумму для заданных значений аргумента $x_1, x_2, \dots, x_k$:

$$y = \sum_{i=1}^n f_i(x). \quad (1)$$

Хорошо видно, что сначала надо вычислить значения всех функций f_i , а уж потом их сложить. Вычисление функций f_i можно делать параллельно на n серверах, на что потратится время, необходимое для вычисления самой трудоемкой функции f_i , и потом сложить n чисел на центральном сервере. На рис. 1 показана структура такой параллельной вычислительной системы из n серверов $S_1, S_2, \dots, S_n$, на каждый из которых подается программа вычисления «своей» функции f_j (она обозначена $P(f_j)$) и значение аргумента x_i . На выходе j -ого сервера S_j образуется значение $f_j(x_i)$. Все выходы этих серверов суммируются на $n+1$ -ом сервере (центральном) S_{n+1} . Его программа $P(\Sigma)$ и образует искомую функцию.

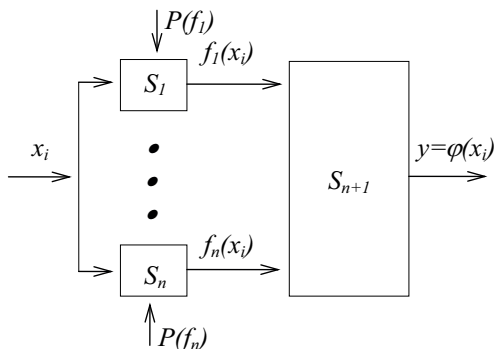


Рис. 1. Реализация параллельного вычисления с помощью нескольких процессоров.

Таким образом, $n+1$ процессор образовали вычислительную систему, которая вычисляет функцию $\varphi(x_i)$ за время

$$t_{\max} + (n-1)t_{\Sigma}, \quad (2)$$

где $t_{\max} = \max_{i=1}^n (t_i)$ — время вычисления самой трудоемкой функции из f_i , а t_{Σ} — время суммирования двух чисел процессором.

При последовательном вычислении этой функции на одном процессоре понадобилось бы время:

$$\sum_{j=1}^n t_j + (n-1)t_{\Sigma}, \quad (3)$$

где t_j — время вычисления j -й функции f_j , т.е. значительно больше. Выигрыш от параллельных вычислений, как видно, достаточно велик.

Важнейшей характеристикой системы является время коммутации и передачи данных, которое может оказать значительное влияние на длительность решения задачи. Фактически, интерес представляет время, через которое после начала процесса вычисления пользователь получит его результат. Время получения результата на i -ом компьютере-клиенте (t_i) складывается из времени подключения (*connecting*) (tc_i) и времени на обработку (*processing*) данных (tp_i).

$$t_i = tp_i + tc_i. \quad (4)$$

Если время решения задачи на центральном сервере меньше чем время $t_{\max}$ (коммутации плюс время решения на обработку) то распараллеливание не повысит общую производительность системы. Такая ситуация может возникнуть при значительном влиянии характеристик канала связи, в том числе времени коммутации и передачи данных ($tc_i \ll tp_i$).

Минимизировать tp_i можно за счет установки высокопроизводительного оборудования. Минимизация $t_{\max}$ достигается путём установки дополнительных компьютеров-клиентов, тем самым снижая среднее значение tp_i , а также стремлением к максимально низкому значению tc_i , размещая компьютер-сервер и компьютеры-клиенты в одной локальной сети. Следует помнить, что при tp_i близким к tc_i требуется решить задачу выбора оптимального количества компьютеров-клиентов, дабы избежать отрицательного эффекта от применения системы. Оптимизировать параметры tc_i и tp_i стоит исходя из соображений целесообразности и общей эффективности.

При поступлении задачи на решение многопроцессорной вычислительной системой, последняя сначала должна сделать анализ структуры на предмет ее распараллеливания и далее определить конфигурацию вычислительной системы для решения поступившей задачи, т.е. какие ее части на каких процессорах и когда будут решаться. Минимальность времени ее решения будет гарантироваться максимальной загрузкой всех процессов вычислительной системы, о чем и должен заботиться супервизор

grid-системы при составлении плана решения каждой задачи. Для обеспечения такой задачи, важным компонентом grid-системы выступает модуль, позволяющий анализировать ресурсы (компьютеры и серверы), подключенные (доступные) к системе на базе Internet-сети.

Ниже представлено описание реализации на языке РНР алгоритма такого анализа.

1. На вход программы поступают исходные данные — тестируемая конфигурация (адреса подключаемых удаленных серверов), исследуемая формула вычисления (в рамках синтаксиса РНР) и тестовый диапазон чисел.
2. Компьютер-сервер разбивает весь диапазон значений на количество поддиапазонов, соответствующее количеству подключенных к системе компьютеров-клиентов, участвующих в распараллеливании.
3. Каждый компьютер-клиент по протоколу HTTP получает диапазон значений для обработки.
4. Система ожидает завершения подсчета на каждом компьютере-клиенте и агрегирует результаты вычислений.
5. На выходе программы — время, затраченное на обработку задания в вычислительной системе, а также массив данных с табличной структурой с указанием каждого сервера, временем обработки на нем функции, временем коммутации и передачи данных.

Разработка grid-системы с возможностью наращивания вычислительных решений за счет Internet-подключений (серверов), снабженная инструментарием управления, распределения и конфигурирования ресурсов выводит на новый уровень применения таких сложных, ресурсоемких автоматизированных систем как системы интеллектуального анализа данных, экспертные системы, системы прогнозирования. Важнейшей составляющей такого инструментария выступает решение задач планирования и распределения, основанных на принципах распараллеливания и адаптивной настройки вычислительных ресурсов к вычислительной задаче, структуре процесса обработки и структуре данных.

Литература

1. Бескид П.П., Шишкин А.Д. Об опыте проведения мониторинга состояния морской поверхности радиолокационными средствами. // Безопасность жизнедеятельности, 2011, № 2, с. 20–24.
2. Сикунер Д.В., Фомин В.В. Концепция Internet-системы интеллектуальной обработки данных. Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования. Герценовские чтения — 2011. Материалы научной конференции, 11–16 апреля 2011 г. — СПб., 2011, с. 206–209.
3. Флегонтов А.В., Фомин В.В. Система интеллектуальной обработки данных. // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 2013, № 154, с. 41–48.

Е.А. Чернецова, А.Д. Шишкин

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ВЫБОРКИ ИЗМЕРЕНИЙ

E.A. Chernetsova, A.D. Shishkin

SPACE-DISTRIBUTED OBJECT CLASSIFICATION VIA SUCCESSIVE SAMPLE MEASUREMENT USING

Рассматривается проблема классификации аномалий на морской поверхности. Предлагается для решения данной проблемы использовать модифицированный последовательный алгоритм Вальда. Приводится решающее правило и результаты моделирования предложенного алгоритма.

Ключевые слова: морские аномалии, классификация объектов, решающее правило, охрана окружающей среды.

A problem of sea surface anomalies classification is considered. For its decision it is suggested to use the modified sequential Vald algorithm. A decision rule and the algorithm modeling results are given.

Key words: marine anomalies, classification of objects, the decision rule, environmental protection.

Введение

Актуальнейшим вопросом гидроэкологии является борьба с загрязнением Мирового океана методами дистанционного обнаружения и оконтуривания пятен нефти и нефтепродуктов на поверхности акваторий. Для обнаружения нефтяных и иных аномалий на морской поверхности разрабатываются радиофизические методы, основанные на принципе различия контрастности оптических, тепловых и радиоактивных свойств гидроповерхности «чистой» воды и загрязненной нефтью и нефтепродуктами.

Главной проблемой обнаружения аномалий является то, что пространственные распределения их на морской поверхности выражены неявно. Поэтому необходимо сначала осуществить сегментацию области с целью выявления местоположения аномалии [1], определить ее параметры, и использовать их в качестве массива входных данных на этапе решения задачи классификации. Пример такой сегментации приведен на рис. 1.

В выделенном сегменте с помощью сканирования узким лучом по двум координатам измеряются в элементах разрешения интенсивности парциальных сигналов, которые могут позволить либо выявить контуры неоднородностей, либо определить области с одинаковой интенсивностью.

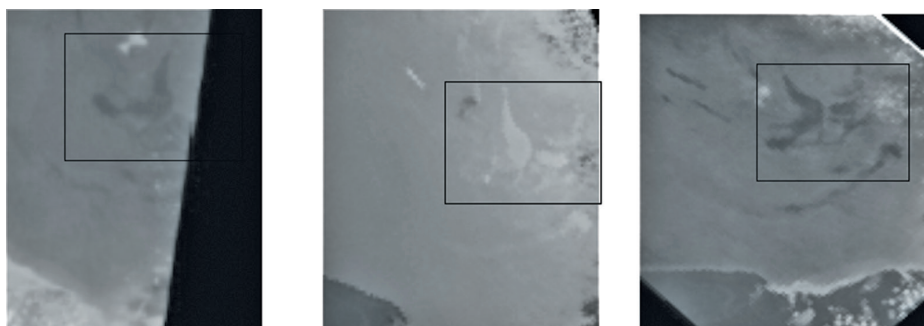


Рис. 1. Изображения нефтяного загрязнения, полученного спутниковым спектрорадиометром при разных углах визирования [1].

Так как априорная информация о распределении неоднородностей, как правило, недоступна, то для выявления контраста необходимо производить измерения, как от участка чистой воды, так и от аномалий. В случае радиолокационного обнаружения аномалия («темный объект») и фон имеют различные значения интенсивности отраженного сигнала. Выявления неоднородности может рассматриваться как задача классификации объектов, имеющих различную интенсивность, на основе определенных требований. В простейшем случае она понимается как разделение объектов на два класса. Считаем, что классификация заключается в вынесении решения: есть аномалия или нет ее. Простейший подход, по-видимому, заключается в сравнении измеряемых признаков с эталонами. Недостаток этого метода – отсутствие подходящего эталона.

Более совершенный подход классификации основывается на множестве отобранных замеров, производимых измерителем признаков. Такие замеры будем называть признаками. Они предполагаются инвариантными или малочувствительными к шумам, обладающими небольшой избыточностью. Считаем, что проблема измерения и отбора признаков решена на этапе обнаружения. На вход классификатора поступают две совокупности признаков: одна от эталона, другая от измерителя.

Классификацию по эталонам, можно рассматривать как частный случай, при чем набор признаков, измеренных от сегмента с чистой поверхностью, можно рассматривать как эталон. Допустим, что у каждого входного образа измеряется N признаков. Каждое множество из N признаков можно рассматривать как вектор X , называемый вектором признаков (замеров), или как точку в N -мерном пространстве признаков Ω_x . Задача классификации заключается в распределении всех возможных векторов или точек в пространстве признаков по соответствующим классам образов. Это можно трактовать как разбиение пространства признаков на взаимно непересекающиеся области, каждая из которых соответствует некоторому классу образов.

Теоретический анализ

Математически задача классификации может быть сформулирована с помощью разделяющей функции [2]. Пусть ω_1 , ω_2 обозначают два возможных класса образов,

подлежащих классификации, и пусть $X = |x_1, x_2, \dots, x_n|$ есть вектор замеров признаков, где x_i представляет собой i -й замер. Тогда разделяющая функция $D_j(X), j = 1, 2$, относящаяся к классу образов ω_j , такова, что если входной образ, представленный вектором признаков X , принадлежит классу ω_j , то величина $D_j(X)$ должна быть наибольшей. Пусть $X \subset \omega_j$ обозначает, что вектор признаков X входного образа принадлежит классу ω_j . Тогда можно записать, что для всех $X \subset \omega_j$.

$$D_j(X) > D_i(X), \quad i \neq j. \quad (1)$$

Таким образом, в пространстве признаков Ω_x граница разбиений, называемая решающей границей, между областями, относящимися соответственно к классу ω_1 и классу ω_2 выражается следующим уравнением:

$$D_1(X) - D_2(X) = 0. \quad (2)$$

В (1) и (2) предполагалось, что измерения признаков дают детерминированные величины $X = |x_1, x_2, \dots, x_n|$ и разделение на два класса может быть осуществлено с помощью одного порогового логического элемента. Если области признаков линейно разделимы гиперплоскостью, то можно получить вполне правильную классификацию. Однако в реальных случаях измеренные признаки образов одного класса могут претерпевать большие изменения, и, кроме того, нельзя пренебрегать помехами, возникающими при измерениях. При этих условиях можно рассматривать $|x_1, x_2, \dots, x_n|$ как случайные величины, где x_i — результат измерения i -го признака в условиях помех.

Если предположить, что для каждого класса образов ω_j , известны многомерная (N -мерная) функция плотности вероятности $p(X/\omega_j)$ вектора признаков X и плотность априорной вероятности $P(\omega_j)$ появления ω_j , то решение задачи классификации можно сформулировать на основе байесовского правила минимизации потерь или среднего риска. Средний риск по существу является также вероятностью ложной классификации. Байесовское решающее правило дает:

если

$$X \subset \omega_1, \quad P(\omega_1) p(X/\omega_1) \geq P(\omega_2) p(X/\omega_2). \quad (3)$$

Или, переходя к отношению правдоподобия между классами ω_1 и ω_2 :

$$\lambda = \frac{p(X/\omega_1)}{p(X/\omega_2)}, \quad (4)$$

где λ — пороговое значение, принимаемое как отношение:

$$\lambda \geq \frac{P(\omega_2)}{P(\omega_1)}. \quad (5)$$

Классификатор, осуществляющий байесово решающее правило, называют байесовым классификатором. Разделяющая граница классов для ω_1 и ω_2 байесового правила представляется следующим образом:

$$P(\omega_1)p(X/\omega_1) - P(\omega_2)p(X/\omega_2) = 0$$

или

$$\log \frac{P(\omega_1)p(X/\omega_1)}{P(\omega_2)p(X/\omega_2)} = 0. \quad (6)$$

Если $p(X/\omega_i)$ есть функция многомерного гауссова распределения со средним вектором M_i и ковариационной матрицей K_i и если $K_1 = K_2$, то (6) приводится к каноническому виду:

$$X^T K^{-1} (M_1 - M_2) - \frac{1}{2} (M_1 + M_2)^T K^{-1} (M_1 - M_2) + \log \frac{P(\omega_1)}{P(\omega_2)} = 0. \quad (7)$$

Следует отметить, что, байесово решающее правило при функции потерь $(0,1)$ является также решающим правилом безусловного максимума правдоподобия. Более того, решение по (условному) максимуму правдоподобия можно рассматривать как байесово решающее правило при равных априорных вероятностях, т.е. при $P(\omega_j) = 1/2$, и $j = 1, 2$.

В статистических системах классификации, описанных ранее, все N признаков «наблюдались» классификатором одновременно за один шаг. Это называют решающей процедурой с фиксированным объемом выборки. При этом фактически не учитывалась стоимость измерений признаков. Очевидно, что недостаточное число измерений признаков не позволит получить удовлетворительные результаты классификации. С другой стороны, практически нецелесообразно измерять чрезмерно большое число признаков. Если должна учитываться стоимость выполнения измерений признаков или если признаки входных образов в классификатор поступают последовательно, возможно применить последовательную решающую процедуру к этому классу задач классификации объектов [1, 2].

Такой подход особенно уместен при высокой стоимости выполнения измерений признаков. Существует связь между количеством информации, получаемым при измерении признаков и стоимостью выполнения этих измерений. Рациональное соотношение между принятием решения и числом измеряемых признаков можно получить, осуществляя измерение признаков последовательно и заканчивая этот последовательный процесс (принимая решение) когда достигнута достаточная или необходимая вероятность классификации.

Так как измерения признаков производятся последовательно, то здесь важен порядок, в котором измеряются признаки. Естественно, что признаки должны быть расположены в таком порядке, чтобы измерения дали окончательное решение возможно раньше. Задача упорядочения признаков является специальной задачей в системах последовательной классификации.

В случае двух классов объектов, можно применить последовательный критерий отношения вероятностей Вальда (*п. к. о. в.*) [2]. Этот критерий применяется для решения о выборе между двумя простыми гипотезами. Рассмотрим принцип *п. к. о. в.*

Предположим, что случайная величина z обладает функцией плотности $p(z/\theta)$, где θ — измеряемый параметр. Формулируем две гипотезы:

$$H_1: \theta = \theta_1,$$

$$H_2: \theta = \theta_2.$$

Построенный критерий решает дело в пользу θ_1 или θ_2 на основе наблюдений $Z = z_1, z_2, \dots$. Допустим, что если гипотеза H_1 истинна, мы хотим получить решение, в ее пользу с вероятностью не меньшей $(1 - e_{21})$, а если истинна H_2 , то решение в ее пользу должно иметь вероятность, не меньшую $(1 - e_{12})$.

Для постоянного объема выборки оптимальное решающее правило будет аналогично правилу (6) и (7).

$$\lambda_n = \prod_{i=1}^n \frac{p(z_i/H_1)}{p(z_i/H_2)} = \frac{p_n(Z/H_1)}{p_n(Z/H_2)}. \quad (8)$$

Этот критерий решает принять или отвергнуть гипотезу H_1 , когда λ_n соответственно меньше или больше некоторой постоянной. Значение этой постоянной может быть выбрано так, чтобы критерий давал нужную величину e_{21} , и в принципе можно выбрать n так, чтобы критерий имел мощность $(1 - e_{12})$. Заметим, что e_{21} и e_{12} являются так называемыми «ошибкой первого рода» и «ошибкой второго рода».

Последовательный критерий отношения вероятностей Вальда аналогичен этому и обладает аналогичными оптимальными свойствами. Процедура испытания следующая: наблюдения производится до тех пор, пока выполняется условие:

$$B < \lambda_n < A. \quad (9)$$

Прекращаем наблюдения и принимаем решение в пользу гипотезы H_1 , как только будет выполнено условие:

$$\lambda_n \geq A. \quad (10)$$

Прекращаем наблюдения и принимаем решение в пользу гипотезы H_2 , как только будет выполнено условие:

$$\lambda_n \leq B. \quad (11)$$

Постоянные A и B называются соответственно верхним и нижним порогами. Они могут быть выбраны так, чтобы приблизительно получить заданные вероятности ошибок e_{21} и e_{12} . Как доказано [2] постоянные A и B определяются по формулам:

$$A \leq \frac{1-e_{21}}{e_{12}}, \quad B \geq \frac{e_{21}}{1-e_{12}}. \quad (12)$$

При доказательстве (12) принималось, что признаки независимы.

Важным является также определить среднее количество измерений. Из [2] следует, что среднее число наблюдений, когда H_1 истинно, равно:

$$E_1(n) = \frac{(1-e_{21})\log A + e_{21}\log B}{E_1(z)}. \quad (13)$$

Аналогично для H_2 :

$$E_2(n) = \frac{e_{12}\log A + (1-e_{12})\log B}{E_2(z)}. \quad (14)$$

Выражения (13) и (14) при знаках равенства представляют собой решающие границы, которые разбивают пространство признаков на три области:

- область, относящуюся к ω_1 ;
- область, относящуюся к ω_2 ;
- область неопределенности (или нулевую область), заключенную между двумя границами.

Область неопределенности соответствует условиям, когда не может быть принято окончательное решение. Естественно, что при последовательном процессе классификации решающие границы изменяются с числом замеров признаков n .

В предположении, например, что $x_1, x_2, \dots$ — независимые замеры признаков с одномерной гауссовой функцией плотности $p(x_j/\omega_i) j = 1, 2, \dots, i = 1, 2$ со средним значением m_i и дисперсией σ^2 последовательная решающая процедура Вальда имеет вид [2]:

$$\text{Если} \quad \sum_{i=1}^n x_i \geq \frac{\sigma^2}{m_1 - m_2} \log A + \frac{1}{2}(m_1 - m_2), \quad \text{то} \quad x_1 \subset \omega_1, \quad (15)$$

$$\text{если} \quad \sum_{i=1}^n x_i \leq \frac{\sigma^2}{m_1 - m_2} \log B + \frac{1}{2}(m_1 - m_2), \quad \text{то} \quad x_1 \subset \omega_2, \quad (16)$$

$$\text{и если} \quad \frac{\sigma^2}{m_1 - m_2} \log B + \frac{1}{2}(m_1 - m_2) < \sum_{i=1}^n x_i < \frac{\sigma^2}{m_1 - m_2} \log A + \frac{1}{2}(m_1 - m_2), \quad (17)$$

то берется $n + 1$ измерение.

Недостатком описанной процедуры является то, что параметры m_i и σ считаются известными, постоянными и не меняются от шага к шагу. В случае, если они неизвестны, то применение (*н. к. о. в.*) правила становится проблематичным. Кроме того, неизвестными являются и априорные вероятности $P(\omega_1)$ и $P(\omega_2)$.

Представляет интерес снять ряд ограничений, а именно: 1) правило решения должно приниматься при последовательной выборке; 2) мощность правила должна

быть независимой от неизвестной дисперсии и монотонно зависимой от среднего значения выборок.

Модификация и моделирование алгоритма

Предлагается внести в (н. к. о. в.) правило следующую модификацию.

Пусть $x_1, x_2, \dots$ и $y_1, y_2, \dots$ две последовательные выборки из нормальных распределений $N(\xi, \sigma_1^2)$ и $N(\eta, \sigma_2^2)$ соответственно. Сначала по ограниченным выборкам размера m_0 вычислим оценки математического ожидания и дисперсии наблюдаемых процессов:

$$m_1 = \bar{x}_0 = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} x_i, \quad m_2 = \bar{y}_0 = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} y_i,$$

$$S_1^2 = \frac{1}{m_0} \left[\sum_{i=1}^{m_0} (x_i - \bar{x}_0)^2 \right], \quad S_2^2 = \frac{1}{m_0} \left[\sum_{i=1}^{m_0} (y_i - \bar{y}_0)^2 \right].$$

Формируем из $x_1, x_2, \dots$ и $y_1, y_2, \dots$ объединенную выборку $z = z_1, z_2, z_3, \dots$ объема $n = m_0$, где $z_i = x_i - y_i, i = 1, 2, \dots$. Полученные оценки подставляем в правило (17):

$$\frac{S_2^2}{m_1 - m_2} \log B + \frac{1}{2}(m_1 - m_2) < \sum_{i=1}^n z_i < \frac{S_1^2}{m_1 - m_2} \log A + \frac{1}{2}(m_1 - m_2).$$

при выполнении которого, следует брать очередное $n_0 + 1$ измерение. Измерения проводятся до тех пор, пока не будет принято решение в пользу гипотезы H_1 или H_2 .

Для проверки применимости и работоспособности рассмотренного алгоритма был проведено моделирование в пакете Matlab для двух сигналов, представленных своими гауссовскими плотностями распределения вероятностей. Результаты классификации этих сигналов по критерию Вальда приведены в таблице. Моделирование проводилось для сигналов, представленных своими нормальными ПРВ с параметрами $m_1 = 1; \sigma_1 = 2; m_2 = 1,1; \sigma_2 = 3$.

1	2	3	4	5	6	7
N	20	200	2000	20000	2000	2000
Σ_1	0,5986	0,5997	0,5997	0,5997	0,5997	0,5997
Σ_2	0,5685	0,5796	0,5796	0,5796	0,5796	0,5796
n	-0,0012	-0,0168	-0,168	-0,168	-1,1054	0,5815
v	0,002	0,0152	0,152	0,152	1,8549	0,5925
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	1,44
B	1,1	1,1	1,1	1,1	3,2	1,45
ПР	Сигналы принадлежат к одному классу	Сигналы принадлежат к одному классу	Сигналы принадлежат к одному классу	Сигналы принадлежат к одному классу	Неопределенность	Сигналы принадлежат к разным классам

В таблице введены следующие обозначения:

N — количество отсчетов ПРВ сигналов, взятых для моделирования;

Σ_1, Σ_2 — численное значение суммы элементов для первого и второго сигналов соответственно;

n, v — численные значения нижнего и верхнего порогов критерия соответственно;

A, B — параметры модели, соответствующие областям ошибок I и II рода;

ПР — принимаемое решение о классификации сигналов на основе моделирования.

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. Увеличение количества отсчетов, взятых для моделирования, расширяют границы принятия решения для отнесения сигналов к одному и тому же или к разным классам, поэтому в случае получения неопределенности по критерию Вальда необходимо увеличивать количество измерений.
2. Расширение границ принятия решений в критерии Вальда, зависящее от числа измерений имеет свой предел (см., например, данные в столбцах 4 и 5 табл. 1), по достижению которого критерий Вальда зависит от параметров A и B , численные значения которых зависят от априорных знаний о вероятностях ошибок I и II рода
3. В случае большой похожести ПРВ сравниваемых сигналов, принадлежащих к разным классам (как, например, в табл. 1), с помощью критерия Вальда можно принять правильное решение (см. столбец 7 табл. 1), если обладать априорными знаниями о вероятностях ошибок I и II рода, выражающихся в правильном подборе параметров A и B модели.

Выводы

Если между параметрами ПРВ классифицируемых сигналов наблюдаются большие различия (например, $m_1 = 1$; $\sigma_1 = 2$; $m_2 = 10$; $\sigma_2 = 5$), то моделирование критерия Вальда позволяет принять решение о принадлежности исследуемых сигналов к разным классам при небольшом размере выборки: $N \leq 5$. Увеличение размера выборки согласно закону больших чисел вызывает стирание различий между наблюдаемыми ПРВ сигналов и, соответственно, ошибочное решение о принадлежности наблюдаемых сигналов к одному и тому же классу.

Наиболее интересны результаты эксперимента по классификации сигналов, имеющих близкие по значению параметры ПРВ, хотя сами сигналы могут принадлежать как к одному и тому же, так и к разным классам.

Литература

1. Pelyushenko S.A. "The Use of Microwave Radiometer Scanning System for Detecting and Identification of Oil Spills", in Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1997, vol. I, pp. 381–385.
2. Фу К. Последовательные методы в распознавания образов и обучении машин. — М.: изд. «Наука», 1971. — 256 с.
3. Прокофьев В.Н., Шишкин А.Д. О последовательной классификации нормальных совокупностей с неизвестными дисперсиями. // Радиотехника и электроника, 1974, т. 19, № 7, с. 2035–2038.

Н.Н. Попов

**МЕТОДЫ СОПРЯЖЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЛКОГО МОРЯ**

N.N. Popov

**THE COUPLING OF EMPIRICAL MEASUREMENTS AND REMOTE
SENSING DATA FOR DESIGN OF GIS FORECASTING SYSTEM OF HYDRO-
PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SHALLOW WATER**

Обсуждаются результаты исследований, выполненных в Российском государственном гидрометеорологическом университете в области применения данных спутникового зондирования морской поверхности для корректировки прогнозируемых профилей вертикального распределения скорости звука. Дается описание метода сопряжения данных, и приводятся результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: ГИС, дистанционные методы зондирования, гидроакустика, ВРСЗ.

The results of research carried out at the Russian State Hydrometeorological University in the application of remote sensing data of sea surface to correct the projected profiles of the vertical distribution of the sound velocity. A description of the method of coupling the data and the results of simulation are provided.

Key words: GIS, remote sensing techniques, underwater acoustics, the vertical distribution of the velocity of sound.

В эпоху интенсивного освоения Арктического региона проблема увеличения количества потенциально опасных объектов и возникновения чрезвычайных ситуаций в водной среде и на её поверхности, а также на морском дне и в донных осадках особенно актуальна. Увеличившиеся объемы и разнообразие информации, поступающей сегодня в системы мониторинга, в значительной мере изменили требования к её комплексированию и представлению в геоинформационных системах различного масштаба. Практически очевидным является тот факт, что за счёт повышения эффективности информационного обеспечения систем управления в различных областях морской деятельности может быть достигнут эффект не меньший, чем в результате технического совершенствования систем и их элементов. Всё вышеизложенное является основанием для проведения исследований, направленных на разработку способов повышения качества информационного обеспечения шельфовой зоны. Целью исследования является разработка геоинформационных технологий поддержки управленческих решений и на их основе способов повышения качества информационного обеспечения различных служб Арктических регионов РФ в соответствии с критериями, принятыми в мировом сообществе.

Было выдвинуто предположение, что для оценки возможности прогнозирования вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) могут быть использованы архивные данные, скорректированные измеренными на поверхности значениями температуры и солёности. Обсуждаемый метод использует данные, поступающие из различных источников, следовательно, необходимо рассмотреть механизмы ввода данных, а также их взаимного дополнения и коррекции. Метод состоит из следующих этапов:

1. Все поступающие в базу данных профили температуры и солёности преобразовываются в вертикальные распределения скорости звука, с помощью формулы Лероя [6, с. 134]:

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0,006(T - 10)^2 - 0,04(T - 18)^2 + \\ + 1,2(S - 35) - 0,01(T - 18)(S - 35) + z / 61, \quad (1)$$

где c — скорость звука (м/с); T — температура ($^{\circ}\text{C}$); S — солёность (‰); z — глубина (м).

2. Для нахождения максимально вероятного профиля в заданной точке, акватория покрывается сеткой с заданным шагом, и выбирается ячейка, для которой необходимо построить вертикальное распределение скорости звука. Для расчетов используются все профили, найденные на первом шаге и попадающие в выбранный район. Обработка всего объема информации с использованием аппарата статистических решений, критериев согласия, подтвердила допущение о том, что данные о температуре, солёности и скорости звука распределены во времени по нормальному закону, что позволяет рассчитывать медиану на каждом горизонте для нахождения максимально вероятного профиля.
3. При отсутствии натурных измерений в интересующей точке производится расчет профилей скорости звука в соседних и их значения интерполируются в заданную с помощью метода обратных взвешенных расстояний.
4. Оперативные данные о температуре и солёности, измеренные со спутников, применяются для расчета скорости звука на поверхности с помощью формулы Вильсона, что позволяет скорректировать прогностическое распределение.
5. Для этого применяется формула Колесникова, учитывающая наиболее вероятное ВРСЗ, разность между рассчитанным и измеренным значением скорости звука на поверхности и глубину, на которой совмещаются все профили этой характеристики [3, с. 4]:

$$V(h) = V_1(h) \pm \Delta v \left(1 - \frac{h}{H} \right), \quad (2)$$

где $V_1(h)$ — наиболее вероятное вертикальное распределение скорости звука для искомой точки; Δv — разность между измеренным со спутника и предполагаемым значением скорости звука на поверхности, принадлежащим вертикальному распределению $V_1(h)$; h — глубина в точке; H — фиксированная глубина, ниже которой совмещаются все вероятные распределения скорости звука.

Применение данной формулы для корректировки ВРСЗ в Баренцевом море усложняется невозможностью выделения слоя, в котором скорость звука оставалась бы неизменной, что не позволяет определить фиксированную глубину (H). Это обусловлено гидрологическим режимом и глубинами, которые большей частью не превышают 100–350 м. Для поиска глубины, до которой необходимо проводить корректировку, было принято решение учитывать влияние ветра на поверхности — заменить фиксированную глубину (H) глубиной трения (D) — горизонтом, на котором течение направлено противоположно поверхностному, а его скорость практически затухает [1]:

$$D = \frac{\pi}{a} = \pi \sqrt{\frac{\mu}{\rho \omega \sin \varphi}}, \quad (3)$$

где $\mu = 0,43 \cdot W^2$ кг/(м·с) — динамический коэффициент турбулентной вязкости; $\rho = 1025$ кг/м³ — плотность воды; $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ — угловая скорость вращения Земли; φ — географическая широта места.

Следующим шагом можно считать оценку влияния погрешности значения вертикального распределения скорости звука на прогнозирование одной из основных тактических характеристик гидроакустических средств — дальности действия в различных режимах работы. На основании таких оценок можно обосновать критерий приемлемости предлагаемого метода сопряжения статистических данных и данных оперативного дистанционного мониторинга.

На основе описанного метода сопряжения данных была построена геоинформационная система, которая должна включать в себя следующие блоки: модуль первичной обработки поступающей из различных источников информации (устранение значений, выходящих за пределы 3σ , и проверка на попадание в допустимые диапазоны изменения характеристик); базу данных, на основе которой происходит расчет характеристик, а также взаимная проверка и дополнение блоков данных; модуль управления потоками данных, отвечающий за добавление и устранение источников; блок формирования слоев ГИС и блок информационной поддержки оператора. Полученная ГИС имеет соединяющие слои:

1. Тип грунта — для учета влияния дна на акустический сигнал необходимо учитывать физико-механические свойства грунта [4]. Сведения о типе грунта хранятся в базе данных, содержащей информацию о широте и долготе точки, типе грунта, диаметре частиц, плотности, скорости звука в нем, пористости и коэффициенте поглощения.
2. Шумы — слой формируется для учета всего многообразия факторов: шум летательных аппаратов, атмосферные явления, волнующаяся водная поверхность, динамические явления ледового покрова, динамические явления, происходящие в приповерхностном слое водной среды, динамические процессы, происходящие на дне океана, шум судов и промышленных объектов [2]. Данные о ветре, ледовом покрове, волнах и сейсмической активности можно получить со спутников. Данные о размещении стационарных промышленных объектов хранятся в базе данных и представлены в следующем виде: широта и долгота точки, тип объекта, уровень шума. Так же необходимо учитывать воздушные и морские суда, присутствующие в районе. Для этой цели

используются Интернет — сервисы слежения за ними, содержащие информацию о местонахождении объекта, его скорости, траектории движения и типе.

3. Вертикальное распределение скорости звука — наиболее важный параметр в гидроакустике. Для его прогнозирования используются архивные данные наблюдения за температурой и соленость, скорректированные информацией со спутников с помощью описанного выше метода.
4. Волны/ледовый покров — для учета взаимодействия акустического сигнала с неровностями морской поверхности, необходимо сформировать слой, содержащий информацию о волнах и наличии ледового покрова. Эти данные поступают из различных спутниковых систем.

Для проверки изложенной выше методики были проанализированы данные, собранные в рамках научных и рыболовецких экспедиций в Баренцевом море в период с 2000 по 2013 г. Результат имитационной проверки для одной из станций Кольского меридиана (центральная часть Баренцева моря) приведен на рис. 1. Максимальная разность измеренной и рассчитанной скоростей звука для большинства станций составляет не более 2,5 м/с, что позволяет достаточно точно спрогнозировать распространение звуковых лучей в водной толще и оценить дальность действия ГАС.

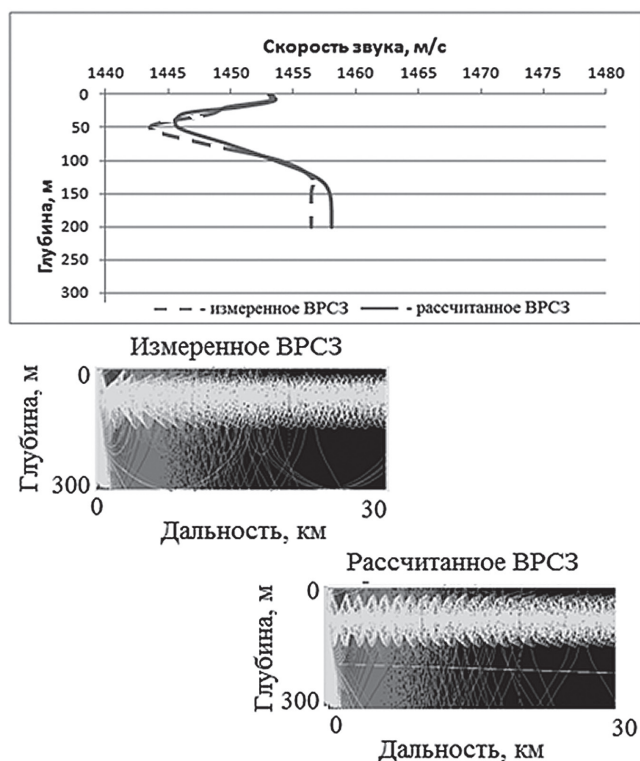


Рис. 1. Сравнение рассчитанного и измеренного ВРСЗ и построение их лучевых картин.

Для оценки качества метода производилось сравнение погрешностей при прогнозировании ожидаемой дальности действия гидроакустических станций, как основного параметра, и глубины залегания оси подводного звукового канала. Данный метод позволяет улучшить результаты на 2 и 1 % соответственно в сравнении с расчетом, базирующемся на использовании типовых распределений, приведенных в различных атласах.

Таким образом, с помощью геоинформационной модели можно структурировать, систематизировать и проанализировать разнородные данные, объединив их на единой картографической основе [5]. Методом наложения известных источников шума на карту гидроакустических характеристик возможно выработать стратегию по анализу и выявлению техногенных и природных катастроф, а также использовать полученные знания в практики судоходства.

Литература

1. *Боуден К.* Физическая океанография прибрежных вод. Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 324 с.
2. *Евтютов А.П.* Справочник по гидроакустике. — Л.: Судостроение, 1988. — 548 с.
3. *Колесников А.Г.* Патент № 2120114: «Способ определения вертикального распределения температуры воды». — 1998.
4. *Куперман У., Енсен Ф.* Акустика дна океана. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 454 с.
5. *Митько В.Б., Попов Н.Н.* Сопряжение архивных данных и данных дистанционного зондирования при создании геоинформационной системы Баренцева моря. // Известия ЮФУ, технические науки. — Ростов, 2013, с 86–90 с.
6. *Урик Р.Дж.* Основы гидроакустики. Пер. с англ. — Л.: Судостроение, 1978. — 448 с.

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

М.Г. Лазар

СОЦИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ, ЕЕ ФОРМЫ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

M.G. Lazar

SOCIAL MOBILITY OF SCIENTISTS AND STUDENTS, ITS FORMS AND ACTUAL PROBLEMS

В статье раскрываются формы социальной мобильности ученых в России и за рубежом: профессиональная, междисциплинарная, патологическая, миграция и эмиграция ученых. Особое внимание уделяется маятниковой или возвратной миграции, последствий эмиграции для стран-доноров и стран-реципиентов. Раскрыта специфика мобильности ученых в России и направления студенческой мобильности в Россию и в зарубежные страны.

Ключевые слова: социальная мобильность, профессиональная мобильность ученых, возвратная миграция, эмиграция ученых, мобильность студентов, последствия мобильности ученых.

The article studies form of social mobility of scientists in Russia and abroad: professional, interdisciplinary, pathological mobility, migration and emigration of scientists. The special attention is given to pendular or return migration, the impact of migration of donor and recipient countries. Is disclosed the specifics of the mobility of scientists in Russia and the direction of student mobility in Russia and foreign countries.

Key words: social mobility, professional mobility of scientists, return migration, the emigration of scientists, student mobility, the consequences of the mobility of researchers.

Среди множества проблем российской и зарубежной науки и образования, отмеченных социологами и науковедами за последние два десятилетия, на видное место выдвигается мобильность научно-педагогических кадров и студентов, происходящая на фоне реформы науки и высшего образования в рамках Болонского процесса. Понятие социальной мобильности в социологии было впервые разработано в 30-е гг. XX в. русско-американским социологом П.А. Сорокиным, под которым он понимал перемещение индивида в социальном пространстве из одной социальной группы в другую в течение жизни с изменением или без изменения своего статуса. Он выделял внутрив поколенную и межпоколенную, вертикальную (восходящую и нисходящую)

и горизонтальную, а также географическую (территориальную) формы мобильности. В центре этих форм социальной мобильности находится социально-должностной статус личности. Сегодня социальная мобильность касается не только индивидов, но и социальных групп, она часто трактуется расширительно, в том смысле, что касается не только людей, а «людей, объектов, образов, информацию и отходы» [9, с. 99]. Несомненно одно: социальная мобильность — признак открытого общества, стала тем кодовым понятием, которое способствует пониманию происходящих в современном мире сложнейших социальных процессов. Действительно, в наши дни перемещения людей в социальном пространстве затрагивают все сферы их жизнедеятельности, они имеют горизонтальную структуру и сложную пространственно-временную конфигурацию, но при этом, на наш взгляд, она должна касаться людей, а не предметов, информации или отходов. Европейская Хартия Исследователя включает в понятие «мобильность» всевозможные горизонтальные перемещения и выделяет следующие виды мобильности: «географическая, виртуальная, межатраслевая, междисциплинарная, а также мобильность между государственным и частным сектором». [1, с. 142–143].

Применительно к профессии ученого, социальная мобильность в науке (т.е. профессиональная мобильность ученых) имеет многообразные формы, которые в СССР–России были исследованы больше других ученых известным ленинградским социологом науки С.А. Кугелем (см. 5), его сотрудниками, аспирантами и участниками Санкт-Петербургской Международной школы социологии науки и техники. Результаты их работы опубликованы не только в виде кандидатских диссертаций, но и в Международном альманахе «Проблемы деятельности ученого и научных коллективов» за 2001–2013 гг., изданном под редакцией проф. С.А. Кугеля. Формы мобильности в науке во многом сходны с перечисленными выше формами социальной мобильности. Внутринаучная мобильность может проявляться как продвижение по карьерной лестнице вверх или вниз (вертикальная мобильность), как продвижение в рамках одного поколения (внутрипоколенная мобильность), как переход из одного научного направления в другое, или же как смена специальности. Эти формы активно изучались науковедом в советское время, в 70–80-е гг. прошлого века (А.А. Зворыкиным, И.И. Лейманом, П.Б. Шелищем и др.). Наряду с этими нормальными формами профессиональной мобильности в науке, в начале 90-х гг. прошлого века в России стала проявляться и, соответственно, изучаться социологами, наиболее болезненная для науки форма — «патологическая» мобильность. Она предполагает уход ученого из науки и переход в другую сферу деятельности. Наиболее интенсивно эта форма проявилась именно в начале 90-х гг. прошлого века, после распада СССР, когда значительная часть научной молодежи переходила в бизнес, администрирование, торговлю или в банковский сектор деятельности.

Что касается территориальной (географической) *мобильности* ученых, то она наиболее актуальна в современной социологии науки и активно изучается последнюю четверть века как российскими, так и зарубежными науковедом. Она имеет также свои виды и проявляется как маятниковая миграция ученых или как эмиграция из России, из стран — бывших республик СССР или из других стран в Европу, США, Канаду и другие страны (так называемая «утечка умов» — «brain drain»). Маятниковая миграция — это отъезд на временную работу по контракту, с сохранением рабочего места на родине,

который часто превращался в эмиграцию. Эмиграция как форма мобильности — это перемена постоянного местожительства и работы, отъезд из страны в новую страну обитания, что сопровождается часто изменением прежнего статуса ученого. Эмиграция ученых проходила на фоне интенсивной эмиграции из России и других республик бывшего СССР разных слоев населения и представителей разных профессий. После распада СССР, как отмечает вышеупомянутый автор, одной из самых многочисленных диаспор в мире становится российская диаспора (примерно 60 млн человек), которая в странах далекого зарубежья составляла к 2000 г. порядка 22 млн человек (Германия, США, Израиль, Канада) [6, 2002, с.46]. Среди них, по разным оценкам, количество научных и технических специалистов, эмигрировавших из СССР за последние 25 лет, составляет порядка 400 000 человек. «За 1994–2010 гг. количество исследовательского персонала в науке уменьшилось на 149,8 тыс. человек, и в их числе 114,1 тыс. (76 %) составили технические специалисты. Уход высококвалифицированных технических кадров сократил не только физические объемы прикладных исследований и разработок, но и возможность накопления технологического задела — результатов прикладных работ для разработок перспективных и конкурентоспособных технологий и технических средств» [11, с. 55]. Это происходило на фоне сокращения финансирования всей науки за последние два десятилетия. Как констатирует тот же автор, «если в 1990 г. пропорция затрат на науку в цикле «фундаментальные исследования — прикладные работы — разработки имела вид 1 : 3 : 5, то ... в 2009 — 1 : 0,9 : 3» [там же], при том, что в реальном объеме общее финансирование всей российской науки (да и образования) сократилось за эти годы в разы.

Конечно, миграция не синоним мобильности ученых. Мобильность ученых включает, безусловно, и их интеллектуальную подвижность, она выражает способность к быстрому движению, к перемещению, ее семантика связана с динамичностью, подвижностью. Ведь не всякое перемещение несет в себе интеллектуальную динамичность. Кроме того, мобильность ученых предполагает изменение их социального статуса (позиции) в социальной иерархии и социальной структуре общества. В России, как мы отмечали недавно, социальный статус ученых и науки в целом ощутимо падал в 90-е гг. и первое десятилетие XXI в. — явление, которое, наш взгляд, будет иметь катастрофические последствия для российской фундаментальной науки, для судьбы инновационной модернизации России [7, с. 241–248].

Основными причинами миграции и эмиграции в сфере науки и техники выступают, по мнению российских исследователей, такие как: неудовлетворенность условиями труда и устаревшим исследовательским оборудованием, низкий уровень оплаты труда в науке и образовании, невостребованность результатов науки, отсутствие социальной защищенности, и как следствие, низкий престиж профессии ученого и науки в своей стране, поиск лучших условий в разных странах мира.

Новым аспектом маятниковой миграции в последние годы стала возвратная (или обратная) миграция, которая, хотя пока и незначительна, требует специального изучения, ибо она может дать более точное представление о причинах эмиграции, дать ответ на вопрос о том, при каких условиях уехавшие работать и жить ученые могли бы вернуться на родину. Более адекватно судить о причинах эмиграции ученых из России уже можно по результатам опроса уехавших относительно условий, при которых они

возвращались бы на родину. Многие из уехавших работать за рубежом ученых были бы готовы вернуться и работать в России, но при создании следующих, более привлекательных условий для научной деятельности:

- 1) комфортное жилье;
- 2) высочайшая по российским меркам, но вполне сопоставимая с зарубежным уровнем зарплата;
- 3) лаборатории с первоклассным оборудованием, на котором они могут и привыкли работать;
- 4) достойное медицинское обеспечение;
- 5) свободный доступ к литературе;
- 6) возможность ездить на международные научные форумы, общаться с коллегами зарубежом;
- 7) свобода в выборе приоритетных направлений работы;
- 8) налаженная научная инфраструктура и т.д. [2, с. 14–15].

Этот вид мобильности активно изучается за рубежом. Так, мексиканские социологи, обеспокоенные не меньше российских социологов этим вопросом, описывают современные стратегии в отношении мобильности в мире. Такие страны как США, ЕС, Корея, Канада, Китай, Япония поощряют репатриацию ученых, субсидируют профессиональные ассоциации и сети отечественных и эмигрировавших ученых. «Китайское правительство, предпринимая активные действия по возвращению ученых экспатриантов, не изменяет своей политики «открытых дверей» для студентов. Невозможно остановить («закрыть двери») потоки студенческой миграции из развивающихся стран в страны, развитые в научном и технологическом отношении. Тем более что многие развитые страны активно используют разного рода программы для привлечения иностранных студентов, субсидируют обучение. Все большее число государств (США, Канада, Швейцария, Франция, Япония, Австралия, Новая Зеландия, Ирландия, Германия и др.) обеспечивают выпускникам-иностранцам работу на своей территории по завершении учебы, выдавая им после окончания студенческой визы рабочую» [12, с. 89–108]. Какие же существуют на сегодняшний день в мире практики извлечения выгод страной-донором от эмиграции высококвалифицированных кадров? Исследователи отмечают, по крайней мере, две: 1) научные сети диаспор (Scientific Diaspora Networks), которые стали возможны с применением новых коммуникаций и информационных технологий, формируют научную элиту в собственной стране, имеющей статус развивающейся; 2) участие диаспоры в проектах, проводимых в отечестве, является важным инструментом интеграции ученых-экспатриантов из развивающихся стран в мировое научное сообщество. При этом следует иметь в виду, что результативность диаспорных сетей, в первую очередь, зависит от научно-технологической политики государства — донора [там же].

При исследовании векторов миграции обычно прибегают к двум проверенным теоретическим конструкциям: «отталкивание—притяжение» и «ядро—полупериферия—периферия», которые не исключают, а скорее дополняют друг друга. Потоки движутся к «центру», высококвалифицированные специалисты из «периферии» перемещаются к «ядру» — странам, где сконцентрировано капиталоемкое производство, требующее

интеллектуальных навыков и образования, где высокое качество жизни. В зарубежных исследованиях интеллектуальная мобильность анализируется в терминах не только «утечки мозгов» (brain drain), но и циркуляции мозгов (brain circulation), мозговой обмен и возвратной миграции или трансмобильности [1, с. 144]. Специалисты, изучающие эти аспекты миграции высококвалифицированных специалистов, настаивают на строгом разграничении понятий brain-drain (утечка мозгов) и brain-exchange (обмен мозгами). Если первое — выражает особенности миграционных процессов стран периферии, то второе — представляет специфику научной мобильности стран — центров развития [там же, с. 146].

Количество публикаций на эти темы впечатляет, за последнее десятилетие оно достигло более сотни работ. В них содержатся ряд интересных выводов относительно трансмобильности в разных странах мира, за исключением России, официальная информация которой не вызывает доверие у исследователей. Среди важнейших, можно отметить следующие:

1) Миграция происходит не столько в среде научных элит, сколько в среде ученых, имеющих низкую «видимость». Это означает: то, что обычно рассматривается как «потеря научной элиты», на самом деле является «потерей потенциальной элиты». Эмигрируют, как правило, молодые, желающие получить степень, хорошую практику, сделать карьеру. При этом политическая напряженность между отдельными странами не препятствует мобильности и сотрудничеству ученых из этих стран (например, между Ираном и США, Пакистаном и Индией).

2) Ученые из развитых стран практикуют краткосрочные визиты (до 2-х лет или период работы над докторской диссертацией (PhD), в то время как исследователи из стран с развивающимися экономиками покидают свои страны на постоянной основе.

3) Современная миграция ученых селективна: страны-реципиенты отдают предпочтение ученым с высоким уровнем научной квалификации, а рынки высококвалифицированных специалистов становятся интернациональными, что повышает интерес к изучению структуры научной миграции, ее причин и последствий. Самый мощный поток научных кадров идет на Запад из Китая, но усилилось и перемещение специалистов из Индии, из стран Восточной Европы [1, с. 153–155; 11, с. 90–107].

4) Исследователями миграции замечено так же то обстоятельство, что чем богаче страна, тем больше исследователей стремится переехать, попасть туда, однако их привлекают не только уровень и качество жизни этой страны, но и карьерные возможности, наличие лучших исследовательских институтов с первоклассным оборудованием. «Эти обстоятельства проясняют, почему основным мотивом для работы за рубежом является возможность развития карьеры (73 %), работа над интересной темой исследования (63 %) и участие в совместных исследовательских проектах (57 %). Высокая репутация принимаемого учреждения — также существенная причина международной мобильности (53 %)» [1, с. 163].

5) Еще один вывод, который может быть отнесен и к России, касается мобильности студентов. Студенты, выезжающие за рубеж с целью получения магистерской или докторской степени (PhD) и приобретения навыков работы в передовых учреждениях, при возвращении домой получают больше шансов для продвижения в профессиональной карьере, чем их сверстники, не имеющие опыта мобильности. «Системная

предрасположенность к оттоку специалистов, проявляющаяся в инфраструктурной необеспеченности науки, низком качестве жизни, невостребованности высококвалифицированных специалистов на отечественных рынках, выталкивает их в страны, которые предоставляют шанс для реализации их потенциала. Объективные предпосылки для «закачивания» студенческих потоков в экономически развитые государства создает также демографическая асимметрия между европейскими и азиатскими странами (старение населения в Европе... и рост численности молодежи в азиатском регионе)» [1, с. 157].

Признавая значимость этих предпосылок, следует отметить и роль других факторов, влияющих на направления студенческой миграции. Так, в интересной статье М.А. Сафоновой, описывающей две модели миграции студентов на учебу (первая — основана на теории «pull-push», вторая — на мирсистемной теории), на базе данных ЮНЕСКО за 2007 г. делается вывод о том, что обе модели описывают лишь общее направление движения студентов, обе используют для предсказания объема студенческого потока только демографические и макроэкономические переменные. «Студенты из разных стран не распределены по центральным странам, экономика которых обладает потенциалом «притяжения» («pull» factors) в точности пропорционально размерам исходящего потока и принимающей академической системы, как это было бы, если бы мы наблюдали стохастический процесс. Анализ данных ЮНЕСКО позволяет обнаружить отклоняющиеся от случайного распределения: например, в 2007 г. 65 % всех мобильных студентов из Казахстана, 57 % из Белоруссии и 55 % из Армении учатся в России, 89 % студентов из Алжира, 79 % из Сенегала и 67 % из Марокко учатся во Франции и т.д.» [8, с. 99]. На наш взгляд, из этого примера, очевидно, что общность языка (русский язык для первой группы и французский — для второй) — решающий фактор выбора этими студентами страны обучения. Кроме него нельзя пренебречь и такого фактора не меньшего значения как невысокая стоимость образования в России и Франции. Оба эти фактора — культурологический и экономический, почему-то мало берутся в расчет зарубежными социологами. Что касается России, привлекательность ее вузов для студентов из стран — республик бывшего СССР представляется естественным, если учесть не только престижность многих российских вузов в этих странах, но и фактор владения русским языком. Ведь в странах ближнего зарубежья живут многие русскоязычные семьи, а так же этнически смешанные русскоязычные семьи, в которых присутствуют многие элементы русской культуры. Кроме того, как показывает опыт последних двух десятилетий, Россия и ее вузы привлекательны так же для многих стран юго-восточной Азии, Африки и Латинской Америки, аспекты, которым пока уделяется мало внимания, как в российской, так и в зарубежной социологии науки.

б) Последний, но не менее интересный вывод изучения профессиональной мобильности ученых касается последствий миграции ученых для стран-доноров и для стран-реципиентов. Цитированные выше авторы, на базе результатов полученных исследователями этой проблемы в разных странах, приводят две таблицы негативных и позитивных эффектов: для стран-реципиентов и для стран-доноров [1, с. 166–168].

Для стран-доноров, негативными эффектами являются:

- Потеря высококвалифицированных специалистов.
- Отток талантливых молодых исследователей и студентов.

- Снижение конкурентоспособности отдельных направлений и отраслей.
- Финансовые потери государства.
- Размывание среднего класса.

К позитивным эффектам для этих стран относят:

- Циркуляцию знаний и развитие международного сотрудничества.
- Включенность в международные исследовательские сети.
- Импорт технологий благодаря посредничеству «утекших».
- Возвращение человеческого капитала с более высокими свойствами (приобретенными навыками, профессиональной компетенцией).

Негативные последствия миграции для стран-реципиентов таковы:

- Обострение конкуренции между местными и иммигрировавшими учеными.
- Культурная гетерогенность как потенциальная конфликтность.

К позитивным эффектам перечислены:

- Финансовые выгоды от привлечения высококвалифицированных кадров.
- Усиление конкурентоспособности страны.
- Рост научной продуктивности.
- Обмен идеями, знаниями, трансферт технологий.

При этом авторы оговаривают то обстоятельство, что все перечисленные выгоды от мигрирующих ученых страна-реципиент получает в том случае, если ученые не прерывают связей с отечественной, названной ими «материнской» наукой. В противном случае говорить о выигрыше не приходится. Это не наблюдалось в первом десятилетии постсоветского периода, когда эмигрировавшие бывшие советские ученые не поддерживали научных связей с оставшими соотечественниками. Сейчас ситуация несколько изменилась, некоторые из уехавших ученых восстановили свои связи с оставшими дома коллегами. Но не изменилась политика российских властей в плане создания условий для привлечения и возврата на родину ценных квалифицированных ученых и специалистов, как это делает, к примеру, Китай [7, с. 245–246].

Другой, мало изученный пока в России вид мобильности российских ученых, это такой специфический вид внутренней миграции как отъезд (**переселение**) **ученых из провинции в Москву и Санкт-Петербург**. В советское время этот процесс имел полуофициальный, но организованный характер: концентрация лучших представителей науки (и культуры в целом) в столицу являлось одной из форм их признания, стимулирования, поощрения. Ни в Европе, ни в США такого явления не было, и нет. Там университеты создавались более или менее равномерно в разных городах страны, там возник и действует реальный рынок научно-педагогических кадров (интеллектуального труда), который в свою очередь создал реальные, а не искусственные рейтинги этих университетов, признание уровня науки и подготовки кадров в них. Ни Гарвардский, ни Принстонский, Стэндфордский и другие известные на весь мир университеты не находятся в столице США. В современной России ситуация, пожалуй, противоположна. Лучшие и основные научные центры, научно-педагогические кадры сосредоточены

именно в двух столицах — Москве и Санкт-Петербурге, что не означает, однако, что в регионах нет хороших университетов и качественного высшего образования. Но реальность такова, что как в советском периоде истории, так и сегодня именно в Москве концентрированы большинство квалифицированных ученых (докторов и кандидатов наук), именно туда перетекает большинство денег при финансировании науки — как из бюджета, так и из существующих фондов. Статистика полученных грантов доказывает это неумолимо на протяжении всего постсоветского периода. Причины такой концентрации научно-педагогических кадров кроются в более низком уровне финансирования региональных университетов, в их более низком уровне технического оснащения, и как следствие, в более низком качестве образования. Как пишет один из исследователей этой проблемы «положение усложняется еще и тем, что уровень знания английского языка в регионах, как студентами, так и преподавателями, часто невысок, что делает чтение курсов ведущими европейскими специалистами в региональных университетах практически невозможным» [4, с. 264]. Социологические опросы установили тот печальный факт, что только 58 % ученых и преподавателей вузов России в 2009 г. владели иностранными языками, что реально затрудняет мобильность ученых в России, возможность их преподавания в зарубежных университетах.

На фоне этих данных перспективы реформы высшего образования и Российской Академии Наук представляются достаточно туманными. Реально и в России и в Западной Европе «столетиями присваивая собственные ученые степени и звания, вуз вкладывает в них свое уникальное содержание: качество образования и исследований обеспечивается адекватной традициям и вызовам времени внутривузовской институциональной средой, позволяющей контролировать и совершенствовать университетский менеджмент, и прежде всего, управлением академической деятельностью» [10, с. 195].

В целом, в России мобильность научных кадров и студентов значительно ниже чем в Европе и США, имеет разные векторы движения, хотя происходящий в Европе Болонский процесс свидетельствует о том, что и в странах Европейского Союза существует вопрос о повышении мобильности ученых, о росте конкурентоспособности европейских университетов с университетами США.

Литература

1. *Ащеулова Н.А., Душина С.А.* Глобальное перемещение ученых: издержки и преимущества. // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. Международный ежегодник, вып. XXIX. — СПб.: изд. Политехн. ун-в., 2013.
2. *Володарская Е.А.* Наука и общество: отношения и взаимодействие. // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. Международный ежегодник, вып. XXVI. — СПб.: изд. Политехн. ун-в., 2010, с. 14–15.
3. *Душина С.А., Ломовицкая В.М.* Особенности интеллектуальной мобильности в современной России. // Социология науки и технологий, 2013, № 1.
4. *Ерошина К.С.* Социальная мобильность ученых в России и с тиранах Западной Европы и США: попытка сравнительного анализа. // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. Международный ежегодник, вып. XXIII, под ред. проф. С.А. Кугеля. — СПб, 2007.
5. *Кугель С.А.* Профессиональная мобильность в науке». — М., Мысль, 1983.
6. *Кугель С.А.* Влияние Санкт-Петербургской науки на мировую науку: кадровый аспект. // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. Международный ежегодник, вып. XVII, под ред. С.А. Кугеля. — СПб, 2002.

7. Лазар М.Г. Социология и этика науки в России: прошлое и настоящее. — СПб.: РГГМУ, 2012. — 262 с.
8. Сафонова М.А. Институционально-исторические основания системы международной студенческой мобильности. // Социология науки и технологий, 2013, т. 3., № 1.
9. Урри Д. Социология за пределами обществ. Мобильности для XXI столетия. — М., 2012.
10. Шендерова С.В. Предпосылки формирования институционального механизма многоуровневого высшего образования в Западной Европе. // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 23, с. 190—197.
11. Шульгина И.В. Российская наука в технологиях и инновациях (по материалам анализа статистики науки). // Социология науки и технологий, 2013, т. 4, № 2.
12. Jaime Jiménez, Juan C. Escalante, Carlos Rodríguez, Jesús M. Ramírez, Miguel A. Morales-Arroyo. Mobility or brain drain? The case of Mexican scientists. // Социология науки и технологий, 2010, т. 1, № 1, с. 89—108.

Список авторов

- Бармасов Александр Викторович*, к.ф.-м.н., доц. каф. физики РГГМУ
Бармасова Анна Михайловна, ст. препод. каф. физики РГГМУ
Барышников Николай Борисович, д.т.н., проф., зав. каф. гидрометрии РГГМУ
Васильев Виктор Александрович, к.ф.-м.н., доц. каф. прикладной экологии РГГМУ
Воинов Никита Евгеньевич, аспирант каф. ЭФА РГГМУ
Восканян Карина Левановна, аспирант каф. ЭФА РГГМУ
Гайдукова Екатерина Владимировна, к.т.н., зав. лаб. математического моделирования гидрологических процессов, каф. гидрофизики РГГМУ
Германов Иван Владимирович, м.н.с., аспирант каф. гидрологии суши РГГМУ
Голованова Евгения Юрьевна, аспирантка каф. гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ
Григорьев Николай Олегович, к.ф.-м.н., доц. каф. ЭФА РГГМУ
Дергачева Татьяна Сергеевна, магистрант РГГМУ
Дмитриев Василий Васильевич, д.г.н, проф. СПбГУ, заслуженный работник Высшей школы РФ, академик РАЕН, РАЕ, МАНЭБ
Драбенко Вадим Анатольевич, к.э.н., доцент нач. военной каф. РГГМУ
Звездова Александра Борисовна, к.э.н., проф. каф. управления и маркетинга АНОО ВПО «Межрегиональный институт экономики и права при МПА ЕврАзЭС»
Иванов Владимир Алексеевич, зав. учебной лабораторией гидрометрии РГГМУ
Караваева Мария Сергеевна, студентка 5 курса РГГМУ
Карпечко Юрий Васильевич, д.г.н., с.н.с. Института водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (ИВПС КарНЦ РАН)
Коваленко Виктор Васильевич, д.т.н., проф., зав. каф. гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ
Кузнецов Анатолий Дмитриевич, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. ЭФА РГГМУ
Лазар Михай Гаврилович, д.фил.н., проф. каф. соц.-гум. наук РГГМУ
Лебин Александр Николаевич, юрист в юридической службе
Мясникова Надежда Александровна, аспирантка института водных проблем Севера
Новиков Андрей Владимирович, к.э.н., доц. каф. ЭП и УС РГГМУ
Овсяйко Павел Павлович, аспирант каф. гидрометрии РГГМУ
Петров Евгений Валерьевич, аспирант РГПУ им. Герцена
Петрова Екатерина Евгеньевна, доц., к.э.н., зав. каф. ЭПиУС РГГМУ
Попов Николай Николаевич, аспирант каф. МИС РГГМУ
Сероухова Ольга Станиславовна, к.ф.-м.н., доц. каф. ЭФА РГГМУ
Симакина Татьяна Евгеньевна, к.ф.-м.н., доц. каф. ЭФА РГГМУ
Сисина Надежда Николаевна, к.э.н., доц. каф. экономического анализа эффективности хозяйственной деятельности СПбГЭУ
Субботина Елена Сергеевна, к.г.н., доц. каф. гидрометрии РГГМУ
Тимошенко Лариса Николаевна, студентка ВоГТУ
Туровская Мария Сергеевна, зав. каф. управления и маркетинга АНОО ВПО «Межрегиональный институт экономики и права при МПА ЕврАзЭС»
Фомин Владимир Владимирович, д.т.н., проф. каф. информационных систем и программного обеспечения РГПУ им. Герцена
Церенова Марина Петровна, аспирантка РГГМУ, ст. преп. ГБОУ СПО Туапсинского Гидрометеорологического техникума
Цховребов Эдуард Станиславович, к.э.н., доц., начальник научного отдела Академии безопасности и специальных программ (АФиСП)
Чернецова Елена Анатольевна, к.т.н., доц. каф. информационных технологий и систем безопасности РГГМУ

Шишкин Анатолий Дмитриевич, к.т.н., доц. каф. информационных технологий и систем безопасности РГГМУ

Яйли Ервант Аресович, д.г.н., проф. РГГМУ, заслуженный учитель РФ, почетный работник гидрометслужбы России, почетный работник среднего профессионального образования РФ, директор ГБОУ СПО Туапсинского Гидрометеорологического техникума

Яковлева Татьяна Юрьевна, к.ф.-м.н., доц. каф. физики РГГМУ

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен являться оригинальным, неопубликованным ранее в других печатных изданиях. 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.
2. На отдельной странице приводятся сведения об авторе (авторах) на русском и английских языках: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и место работы, контактные телефоны, адрес электронной почты. Плата за опубликование рукописей с аспирантов не взимается.
3. Аннотация статьи объемом до 7 строк на русском и английском языках не должна содержать ссылок на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.
4. 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.
5. Пронумерованный список литературы (в алфавитном порядке, сначала на русском, затем на иностранных языках) приводится в конце статьи на отдельной странице 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.
6. Оформление ссылок в тексте: в квадратных скобках [] указать порядковый номер литературы. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [13, с. 23].
7. Сноски помещаются на соответствующей странице текста.
8. Таблицы и другие цифровые данные должны быть тщательно проверены и снабжены ссылками на источники. Таблицы приводятся в тексте статьи, номер и название указываются над таблицей.
9. 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.

**Рекомендации по форматированию
для подачи рукописи в редакционно-издательский отдел**

Формат А5 (148×210) книжный.

Поля: верхнее – 1,8 см; нижнее – 2,3 см; левое – 1,8 см; правое – 1,8 см.

От края до верхнего колонтитула – 0 см, до нижнего колонтитула – 1,8 см.

Колонцифры внизу в зеркальном положении – 10, обычным шрифтом, начинать с титульного листа.

Набрать текст шрифтом Times New Roman, обычный.

Межстрочный интервал – одинарный.

Абзацный отступ – 0,75 см.

Интервал до заголовка – 24 пункта, после – 6.

Размер шрифта: основной текст – 11, таблицы – 9.

Лежачие таблицы поместить в отдельный файл на формат А5 альбомный, поля: верхнее, нижнее и правое – 1,8 см, левое – 2,3 см, шрифт – 9.

Рисунки располагать по тексту в соответствии со ссылкой.

Подрисуючную подпись набрать шрифтом – 9.

В формулах русские буквы прямые, латинские – курсивные, греческие – прямые, тригонометрические функции (sin, cos и др.) набирать прямым шрифтом.

Литература – шрифт 9.

Оглавление поместить в конце рукописи – шрифт 9.

Требования к оформлению статьи для публикации в Ученых записках

Инициалы и фамилии авторов на русском языке.

Название на русском языке.

Аннотация на русском языке.

Ключевые слова на русском языке.

Инициалы и фамилии авторов на английском языке.

Название на английском языке.

Аннотация на английском языке.

Ключевые слова на английском языке.

Формат 17×24 книжный.

Поля зеркальные: верхнее и нижнее – 2,3 см; левое и правое – 1,8 см.

От края до верхнего колонтитула и нижнего колонтитулов – 1,8 см.

Внимание!

Авторская правка в верстке – компенсационная, до пяти буквенных исправлений на странице.

Научное издание

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
№ 33

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редактор: И.Г. Максимова
Компьютерная верстка: Ю.И. Климов

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 28.04.14. Формат 70×100 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,8. Тираж 500 экз. Заказ № 295.
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
