

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

*РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

№ 26

Научно-теоретический журнал

*Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год*

ISSN 2074-2762



*Санкт-Петербург
2012*

УДК 3 + 502.52 + 55

ББК 6/8 + 26.221 + 26.222 + 26.23

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 26. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 296 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.

Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Issue 26. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2012. – 296 pp.

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.

Редакционная коллегия:

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

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

Члены редколлегии: А.М. Владимиров, д-р геогр. 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 7.02.2007 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), 2012

© Авторы публикаций, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Гидрология

<i>В.В. Коваленко, Е.В. Шевнина, Е.В. Гайдукова.</i> Методика оценки экономической эффективности результатов долгосрочного прогнозирования статистических характеристик максимального стока при строительстве и реконструкции мостовых переходов на территории Российской Арктики	7
<i>Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, Е.А. Поташко, К.С. Бурцев.</i> Влияние прирусловых валов на процесс взаимодействия русловых и пойменных потоков . . .	19
<i>А.Н. Постников.</i> Оценка норм испарения за безледоставный период с озер и водохранилищ России и отдельных стран СНГ методом теплового баланса	25
<i>В.С. Девятков.</i> Пространственная детализация фрактальной размерности речного стока на территории Северо-Западного региона России	34
<i>С.Д. Винников, Ю.В. Шарина.</i> Расчет неустановившегося движения потока воды в реке	44
<i>Е. В. Шевнина.</i> Достоверность методики долгосрочной оценки статистических характеристик максимального стока на территории Российской Арктики	52
<i>А.В. Бабкин, К.Ш. Кадиоров, Х.А. Эслим.</i> Скрытые гармоника в колебаниях местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа	62
<i>М.В. Шмакова.</i> Расчет заносимости русловых карьеров	71
<i>М.Ф. Мохнач, А.Н. Павлов.</i> Родственные водопады	76

Метеорология

<i>А.С. Зарубин, А.И. Погорельцев.</i> Планетарные волны в зимней стратосфере Северного полушария на основе данных наблюдений эксперимента COSMIC	91
<i>Т.В. Суходолов, С.П. Смышляев.</i> Модельное исследование влияния пространственного распределения молниевой активности на газовый состав и температуру атмосферы	101
<i>А.Д. Егоров, И.А. Потапова, Ю.Б. Ржонсницкая, Н.А. Саноцкая, В.А. Драбенко.</i> Эффективное определение фоновой засветки	110
<i>И.Н. Русин, Р.В. Бекряев, А.В. Уразильдеева.</i> Оценка интегрального содержания водяного пара в атмосфере по данным приземных наблюдений	115
<i>М.Е. Баранова, А.С. Гаврилов, К.Б. Чихачев.</i> Использование численной модели тепловой струи от лесного пожара для прогноза загрязнения атмосферы	121
<i>А.С. Гаврилов.</i> Численная модель подъема тепловой струи от лесного пожара с учетом ее взаимодействия с внешним потоком	130
<i>К.Б. Чихачев.</i> Метод кластеризации очагов пожаров по данным космического зондирования	142

Океанология

<i>В.А. Царев, М.В. Шаратунова.</i> Особенности формирования придонных вод в области заприпайной полыньи	147
<i>В.Ю. Чанцев, А.В. Данышина.</i> Суб-мезомасштабная структура динамики прибрежных вод в районе Туапсе	153
<i>В.А. Белязо, А.А. Дмитриев.</i> Циклические колебания ледовитости Южного океана и факторы, их определяющие	164

Экология

В.В. Дроздов, Г.Т. Фрумин, А.В. Косенко, А.С. Боев. Разработка и анализ показателей трансграничного биологического загрязнения балластными водами судов экосистемы Балтийского моря 172

А.Л. Дмитриев, Е.О. Милютин. Влияние автотранспорта на экологическое состояние городской среды Санкт-Петербурга 190

Экономика

В.Н. Рудченко. Технологическая платформа «Технологии экологического развития» как необходимое условие инновационной экономики России 197

Е.П. Истомин, Л.С. Слесарева, А.Г. Соколов, Е.М. Зоринова. Управление рекреационным потенциалом приморской территории с учетом природных рисков 206

Д.Х. Сабанчиева. Экономическая безопасность хозяйствующих субъектов-природопользователей 218

А.И. Бородин, Е.В. Бильчак. Особенности использования экономико-экологических инструментов в России 226

Н.Л. Гагулина. Классификация природоохранных мер и мероприятий в контексте экономической науки 238

Общественные и гуманитарные науки

В.Л. Товбина. Новая экологическая парадигма – важный фактор обеспечения устойчивого развития 248

Е.Г. Дурягина. Копинг-поведение студентов 266

Т.В. Есикова. Психологические особенности возникновения и развития права 273

Хроника 279

Список авторов 292

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала 293

CONTENTS

Hydrology

<i>V.V. Kovalenko, E.V. Shevnina, E.V. Gaidukova.</i> Method of economic evaluation results for the long-term forecasting of the statistical characteristics of maximum runoff during construction and reconstruction of bridges in the Russian Arctic	7
<i>N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, E.A. Potashko, K.S. Burtsev.</i> Influence of channel levees on the floodplain and riverbed streams interaction process	19
<i>A.N. Postnikov.</i> Estimate of evaporation rates for period without ice from lakes and reservoirs in Russia and some cis countries with heat balance method	25
<i>V.S. Devyatov.</i> Spatial detailed elaboration of fractal dimension of a river flow in territory of North-West region in Russia	34
<i>S.D. Vinnikov, Y.V. Sharina.</i> Calculation of the unsteady flow of water in the river . . .	44
<i>E. V. Shevnina.</i> Assessment of the long-term forecasting methodology for probabilistic characteristics of the spring flood flows for Russian Arctic	52
<i>A.V. Babkin, K.Sh. Kadirov, H.A. Esleem.</i> Hidden harmonics in variations of runoff of local formation of political and administrative subdivisions of Volga federal district of Russian Federation	62
<i>M.V. Shmakova.</i> Calculation of the recorded channel pits	71
<i>M.F. Mokhnach, A.N. Pavlov.</i> Allied waterfalls	76

Meteorology

<i>A.S. Zarubin, A.I. Pogoreltsev.</i> Planetary waves in the winter stratosphere of Northern hemisphere on the basis of COSMIC experiment observations	91
<i>T.V. Sukhodolov, S.P. Smyshlyaev.</i> A model study of the lightning spacial distribution impact on the atmospheric composition and temperature	101
<i>A.D. Yegorov, I.A. Potapova, Y.B. Rzhonsnitskaya, N.A. Sanotskaya, V.A. Drabenko.</i> Effective determination of background light	110
<i>I.N. Rusin, R.V. Bekryaev, A.B. Urazgildeeva.</i> Estimation of precipitable water on the base of the air surface observation	115
<i>M.E. Baranova, A.S. Gavrilov, K.B. Tchikhatchev.</i> Use of numerical models of thermal jets from forest fire for prediction of pollution of the atmosphere	121
<i>A.S. Gavrilov.</i> Numerical model for lifting jet heat from forest fires in view of interaction with external stream	130
<i>K.B. Tchikhatchev.</i> Seats of fire clusterization method with respect to cosmic exploration data	142

Oceanology

<i>V.A. Tsarev, M.V. Sharatunova.</i> Features of bottom water formation in a flaw polynya . . .	147
<i>V.Yu. Chantsev, A.V. Danshina.</i> Sub-mesoscale structure of coastle waters dynamics in Tuapse regoin	153
<i>V.A. Belyazo A.A. Dmitriev.</i> The cyclical fluctuations of the Southern Ocean sea ice extent and factors, which determine them	164

Ecology

<i>V.V. Drozdov, G.T. Frumin, A.V. Kosenko, A.C. Boev.</i> Development and analysis of indicators of cross-border of biological pollution of the ballast waters of ships of the Baltic sea ecosystem	172
--	-----

<i>A.L. Dmitriev, E.O. Milutina. The influence of motor transport on the ecological condition of St. Petersburg</i>	190
---	-----

Economics

<i>V.N. Rudchenko. The technological platform «Technologies of ecological development» as a necessary condition of innovation economy of Russia</i>	197
<i>E.P. Istomin, L.S. Slesareva, A.G. Cokolov, E.M. Zorinova. Management of maritime territory recreation potential with regards to natural risks</i>	206
<i>D.H. Sabanchieva. The economic security of business entities that use natural resources</i>	218
<i>A.I. Borodin, E.V. Bilchak. Features of use of economical and ecological tools in Russia</i>	226
<i>N.L. Gagulina. Classification of nature protection measures and actions in a context of an economic science</i>	238

Social science and humanities

<i>V.L. Tovbina. A new environmental (ecological) paradigm an important factor in ensuring of sustainable development</i>	248
<i>E.G. Duryagina. Koping-behaviour of students</i>	266
<i>T.V. Esikova. Psychological characteristics of the emergence and the development of the law</i>	273

Chronicle	279
----------------------------	-----

ГИДРОЛОГИЯ

В.В. Коваленко, Е.В. Шевнина, Е.В. Гайдук

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

V.V. Kovalenko, E.V. Shevnina, E.V. Gaidukova

**METHOD OF ECONOMIC EVALUATION RESULTS
FOR THE LONG-TERM FORECASTING OF THE STATISTICAL
CHARACTERISTICS OF MAXIMUM RUNOFF DURING
CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF BRIDGES
IN THE RUSSIAN ARCTIC**

Предложена методика оценки экономической эффективности использования долгосрочных прогнозов статистических характеристик максимального стока в зонах значимых их изменений (аномалий), при подготовке технико-экономического обоснования проектов строительства и реконструкции мостовых переходов. Показано, что при рассмотрении проектных решений при строительстве/реконструкции мостовых переходов величина суммарных затрат может быть завышена из-за занижения проектных максимальных расходов/уровней в зонах аномалий. Использование методики показано на примере оценки стоимости мостовых переходов участка магистрали «Северный широтный путь», расположенного в арктической зоне РФ.

Ключевые слова: экономическая эффективность, долгосрочные прогнозы, статистические характеристики, максимальный сток, мостовые переходы, Российская Арктика.

The method for assessment of economic efficiency for long-term statistical characteristics of maximum runoff forecasting in the areas of significant changes (anomalies) are presented by example of the preparation of economical financial projects for construction/reconstruction of bridges. It is shown that, considering the design decisions during the construction/reconstruction of bridges magnitude of the total costs may be overstated due to understatement of the maximum cost of project in the areas of abnormality. The example of the valuation section of highway bridges "North latitude Road" has been shown using the presented techniques.

Key words: economic efficiency, long-term forecasts, statistical characteristics, the maximum flow, bridge crossings, Russian Arctic.

Введение

Методика долгосрочной оценки статических характеристик основных видов стока (в том числе максимального) позволяет получить их вероятностные прогнозы с учетом изменений климата [1]. Прогнозные карты нормы, коэффициента вариации и его соотношения с коэффициентом асимметрии (полученные на основе климатических сценариев), совмещенные с картами приложения к [2], выявляют зоны, где следует ожидать значительных изменений режима формирования максимального стока (аномалии) [3]. В таких географических регионах необходимо оценить возможные последствия для социально-экономической инфраструктуры, в частности транспортной.

Выбор значений обеспеченности максимального расхода при строительстве мостовых переходов регламентируется [4]. При подготовке технико-экономического обоснования расчеты одного из основных показателей (эксплуатационные расходы) проводятся на период времени, сравнимый с оценками климатических сценариев (несколько десятилетий). Следовательно, недоучет возможных изменений статистических характеристик максимального стока вследствие изменений климата может привести к непредвиденным авариям или необоснованным денежным затратам при строительстве.

Целью настоящей работы является разработка методики оценки экономической эффективности долгосрочных вероятностных прогнозов в зонах аномалий. Она основана на действующем нормативном документе, регламентирующем подготовку технико-экономического обоснования строительства мостовых переходов [5]. Методика оценки применима как для единичного проекта, так и интегрально (для региона, участка дороги и проч.) при использовании возможностей геоинформационных систем (ГИС).

Исходные данные и методика исследования

Использование карт прогнозных статистических характеристик максимального стока, полученных на основе методики долгосрочной оценки, аналогично принятой еще в Советском Союзе практике расчета обеспеченных величин максимального стока. В работе [6, 7] представлен порядок расчетов максимального расхода заданной обеспеченности (P , [%]), на основе формулы:

$$Q_{P\%} = k_0 \mu h_{P\%} \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 F / (F + b)^n, \quad (1)$$

где k_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, определяется по данным рек-аналогов обратным путем по формуле (1); $h_{P\%}$ – расчетный слой стока весеннего половодья заданной обеспеченности (мм), определяется в зависимости от среднееголетнего слоя стока (h) и параметров кривой обеспеченности максимального стока; μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока весеннего половодья и максимальных расходов; $\delta, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ – коэффициенты, учитывающие особенности

водосбора (озерность, залесенность, заболоченность и проч.); F – площадь водосбора, км²; b – эмпирический параметр, учитывающий снижение степени редукиции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора (км²) и n – показатель степени редукиции.

Большинство параметров, входящих в эту формулу учитывают зональные особенности объекта исследования и определяются на основе классификаций и/или эмпирических формул, представленных в работах [6, 7]. Однако в формулу также входит и слой стока весеннего половодья определенной обеспеченности, который может быть получен с карт (при отсутствии данных наблюдений) или оценен на основании ретроспективных наблюдений.

Рассмотрим ситуацию с точки зрения учета возможных изменений статистических характеристик максимального стока, полученных на основе климатических сценариев, для расчета максимальных расходов заданной обеспеченности. Для этого, обозначим $R = k_0 \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 F / (F + b)^n$ – коэффициент пропорциональности максимального расхода к слою стока заданной обеспеченности. Он содержит параметры размерности и учитывает локальные особенности объекта (для удобства приравняем его 1).

При подготовке обоснования строительства/реконструкции мостового перехода проектный максимальный расход заданной обеспеченности в первом приближении равен:

$$Q_{P\%} = Rhk_{P\%}, \quad (2)$$

где h – норма слоя стока половодья (может быть получена на основе данных ретроспективных наблюдений, согласно рекомендациям [6, 8] или определяться по методике позволяющей учесть возможные изменения климата [9]), $k_{P\%}$ – определяется параметрами кривой обеспеченности (коэффициенты вариации и асимметрии).

Возможные комбинации изменений этих статистических характеристик (в будущем по отношению к настоящему) приводят к увеличению и занижению расчетного максимального расхода заданной обеспеченности (рис. 1 – 8 случаев).

Как видно из рисунков, все случаи делятся на два класса [занижение или завышение расчетного расхода воды заданной обеспеченности (табл. 1)], что при гидрологическом обосновании строительства/реконструкции мостовых переходов приводит к увеличению риска их затоплений/разрушений или необоснованному удорожанию проекта.

Располагая прогнозными картами нормы, коэффициента вариации и его соотношения с коэффициентом асимметрии, можно выделить зоны аномалий (значительных их изменений по отношению к водности, характеризуемой современными рядами наблюдений за стоком). Покажем эффективность применения методики оценки обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате [10] (или ее модификации с учетом региональных особенностей) при обосновании проектных решений

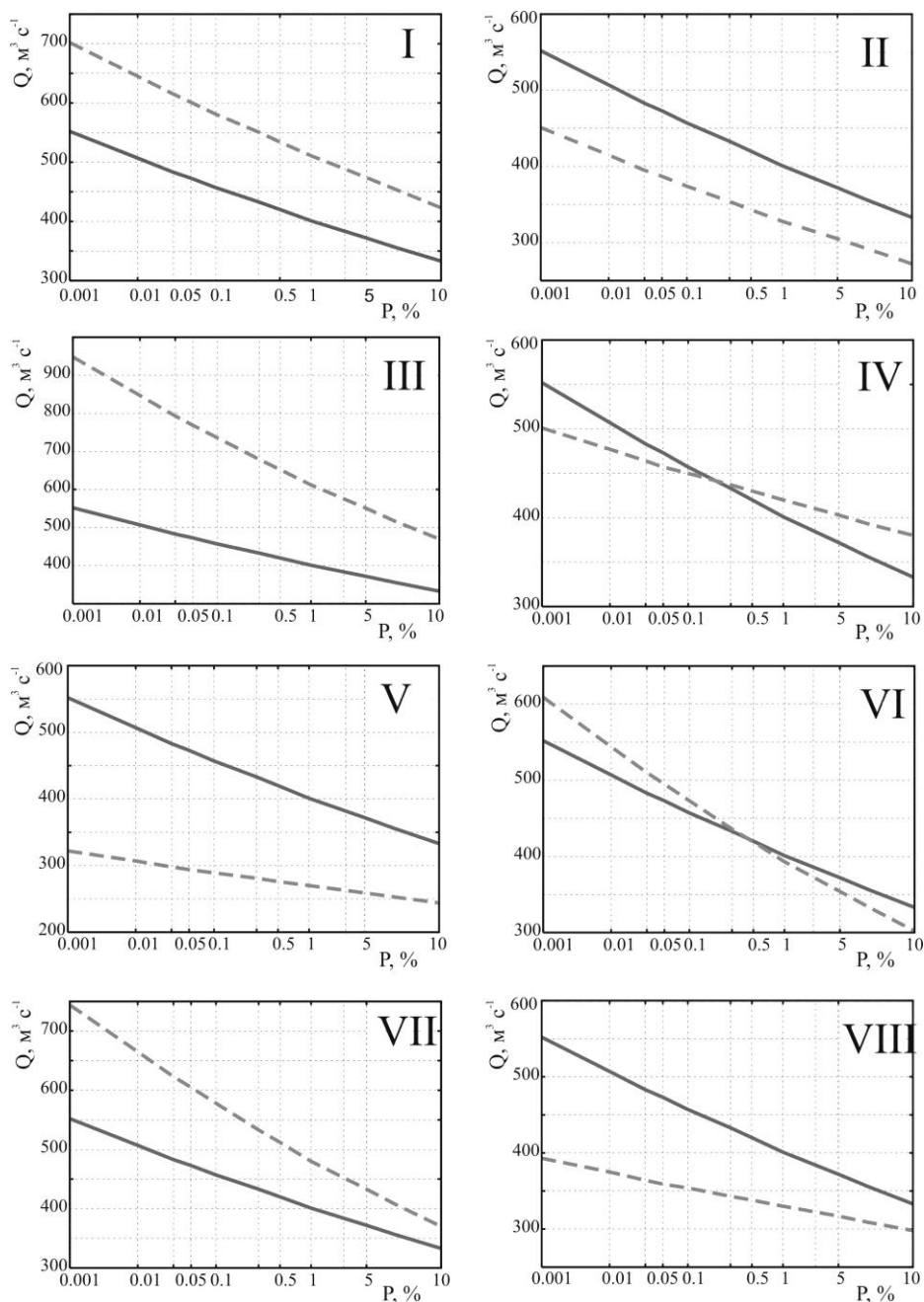


Рис. 1. Область малых обеспеченностей максимальных проектных расходов (сплошная линия – получены по ретроспективным данным; прерывистая линия – при учете климатических изменений) в различных комбинациях изменений нормы и коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья (цифры в правом верхнем углу соответствуют нумерации табл. 1)

при строительстве/реконструкции мостовых переходов в зонах аномалий водности. «Аномальными» считаются зоны, где возможны изменения нормы стока более чем на 15 %, а коэффициента вариации – более чем на 25 %.

Таблица 1

Комбинации случаев изменений нормы и коэффициента вариации максимального стока

Вариант*	Описание	Результат	Вывод
I	Увеличение нормы при неизменном C_v	$Q_{1\%} \rightarrow^{**} Q_{13\%}$	Увеличение риска аварий
II	Снижение нормы стока при неизменном C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{0,02\%}$	Удорожание проекта
III	Увеличение нормы стока и C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{20\%}$	Увеличение риска аварий
IV	Увеличение нормы стока и снижение C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{5\%}$	Увеличение риска аварий
V	Снижение нормы стока и C_v	$Q_{1\%} \rightarrow$ меньше $Q_{0,001\%}$	Удорожание проекта
VI	Снижение нормы стока и увеличение C_v	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{0,8\%}$	Нет последствий
VII	Увеличение C_v при неизменной норме стока	$Q_{1\%} \rightarrow Q_{7\%}$	Увеличение риска аварий
VIII	Снижение C_v при неизменной норме стока	$Q_{1\%} \rightarrow$ меньше $Q_{0,001\%}$	Удорожание проекта

Примечания: * – соответствует нумерации на рис. 1; ** – обеспеченные значения максимального расхода, рассчитываемые за ретроспективный период (слева) соответствующую обеспеченным значениям, полученным с учетом изменений климата (справа).

Для оценки экономической эффективности методики долгосрочной оценки предлагается следующий подход для случаев I, III, IV, VII (занижение проектного расхода расчетной обеспеченности). Согласно работе [5], сравнение вариантов проектных решений основано на функции от основных технико-экономических показателей, к которым относятся единовременные затраты (капиталовложения) и текущие затраты (эксплуатационные расходы). Экономически наиболее эффективное проектное решение определяют из условия минимума суммарных, приведенных к году окончания строительства, затрат, определяемых для каждого из сравниваемых вариантов по формуле:

$$P_{np} = \frac{E_n}{E} K_{np} + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{np}}{(1-E)^t}, \quad (3)$$

где E_n – нормативный коэффициент сравнительной эффективности для транспорта, равный 0,12; E – нормативный коэффициент для приведения к одному моменту времени разновременных дат, (0,08); K_{np} – приведенная величина единовременных затрат; $\mathcal{E}_t$ – текущие затраты в t -м году; t – срок сравнения вариантов, принимаемый равным 35 годам (т. е. интервал, сравнимый с климатическими прогнозами, представленными, например в [11]).

Первое слагаемое характеризует капиталовложения и зависит, в частности, от высоты мостового перехода, которая определяется на основании расхода определенной обеспеченности. Текущие расходы связаны с плановым ремонтом

и предполагается их постоянное увеличение (по закону арифметической или геометрической прогрессии) [5].

В случае возникновения аварии в этой части формулы (3) должна появиться еще одна составляющая, характеризующая затраты на внеплановые ремонтные работы (рис. 2). Обозначим такие затраты α , а число аварий, последствия от которых потребовали капиталовложений, – n . Тогда суммарные затрат на строительство/реконструкцию одного мостового сооружения будут определяться формулой:

$$P_{\text{пр}} = \frac{E_n}{E} K_{\text{пр}} + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{\text{пр}} + n\alpha}{(1-E)^t}. \quad (4)$$

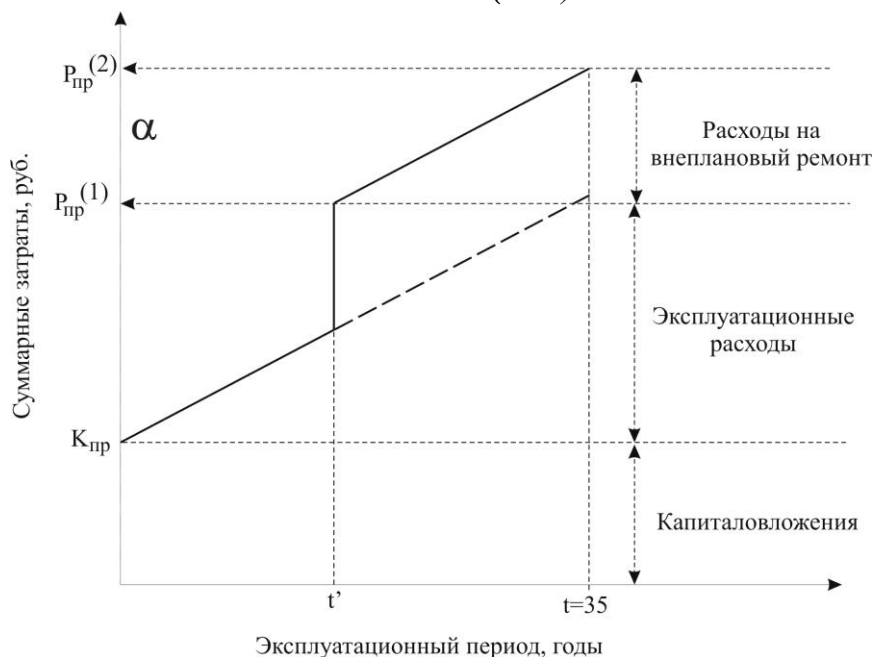


Рис. 2. Суммарные расходы на строительство/реконструкцию мостового перехода при подготовке технико-экономического обоснования проекта в случае отсутствия аварии (1) и при ее возникновении (2)

Вероятность возникновения аварии на ГТС связана с обеспеченностью проектного максимального расхода/уровня, на который рассчитывается высота мостового сооружения. В случае, если происходит занижение расчетного расхода риск возникновения аварий и необходимость дополнительных затрат на внеплановый ремонт мостов увеличивается (причем значительно, поскольку n – входит в формулу мультипликативно, а α – может быть сравнимо с капиталовложениями). Из этого следует, что в зонах аномалий (для вариантов I, III, IV, VII из табл. 1) затраты на внеплановый ремонт могут сильно зависеть от числа аварий («выбросов») и числа объектов, попадающих в эти зоны.

При использовании прогнозных карт статистических характеристик *максимального* стока, полученные по методике долгосрочной оценки, суммарные затраты на строительство/реконструкцию мостового перехода на величину, связанную с «завышением» расчетного расхода при учете климатических изменений, может быть больше [см. формулу (5)]. Такая величина входит в капиталовложения [первое слагаемое формулы (3)] аддитивно. Однако, она невелика, поскольку на этапе проектирования может быть принято наиболее эффективное проектное решение.

Для оценки укрупненного экономического эффекта использования прогнозных карт статистических характеристик максимального стока в зонах аномалий используем возможности геоинформационного подхода [12]. На основе тематических карт, характеризующих гидрографическую сеть, протяженность/расположение автомобильных/железнодорожных магистралей и распространение зон аномалий, получим общее число мостовых переходов (N). При этом существенную роль играет желаемый административный уровень рассмотрения, поскольку «подробность» (детальность) представления тематической информации на карте зависит от ее масштаба.

Пусть из множества (N) за период эксплуатации аварии возникнут на части мостовых переходов (число аварий по отношению к общему числу мостовых переходов обозначим через x). Тогда в зонах аномалий суммарные затраты на содержание и развитие транспортной инфраструктуры будут равны:

$$P_{np} = \frac{E_n}{E} (K_{np} + N\beta) + \sum_1^t \frac{\mathcal{E}_{np} + nN\alpha}{(1-E)^t}, \quad (5)$$

где β – «удорожание проекта» за счет использования прогнозных статистических характеристик максимального стока; α – стоимость внепланового ремонта/реконструкции мостового перехода; n – число лет за период эксплуатации, когда наблюдались превышения расчетного максимального расхода/уровня («выбросы»). В формуле (5) появились два аддитивных члена, связанные с изменением стоимости строительных/реконструкционных работ (причем α значительно больше β). Параметр, характеризующий «выбросы» и входящий в формулу (5) может быть определен с использованием методики, представленной в работах [1, 13].

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим случай, когда меняется параметр x (т. е. изменение числа аварий), связанный с занижением проектного расхода для определения высоты мостового перехода, и два варианта оценки суммарных затрат в зоне аномалий, расположенной в Арктической зоне РФ. Первый вариант предусматривает проведение гидрологического обоснования согласно [6], второй – предполагает учет возможных изменений климата (при наличии данных наблюдений используя методику [3], а при их отсутствии – прогнозные карты статистических ха-

рактеристика максимального стока, полученные методами интерполяции с учетом требований [8]). Рассматривается технико-экономическое обоснование проекта строительства/реконструкции мостового перехода, расположенного в бассейне средней реки [14]. Наблюдения за стоком реки отсутствуют. Такая ситуация сложилась при проектировании мостовых переходов на магистрали на территории Ямало-Ненецкого АО, где согласно обобщенному сценарию изменения климата SRB1 ожидаются значимые изменения нормы слоя стока весеннего половодья, коэффициента его вариации (рис. 3, а, б) и формирование зон аномалий. Согласно долгосрочной оценке изменений статистических характеристик максимального стока [15], на территории Ямало-Ненецкого АО существует две зоны аномалии (вариант I и III в табл. 1).

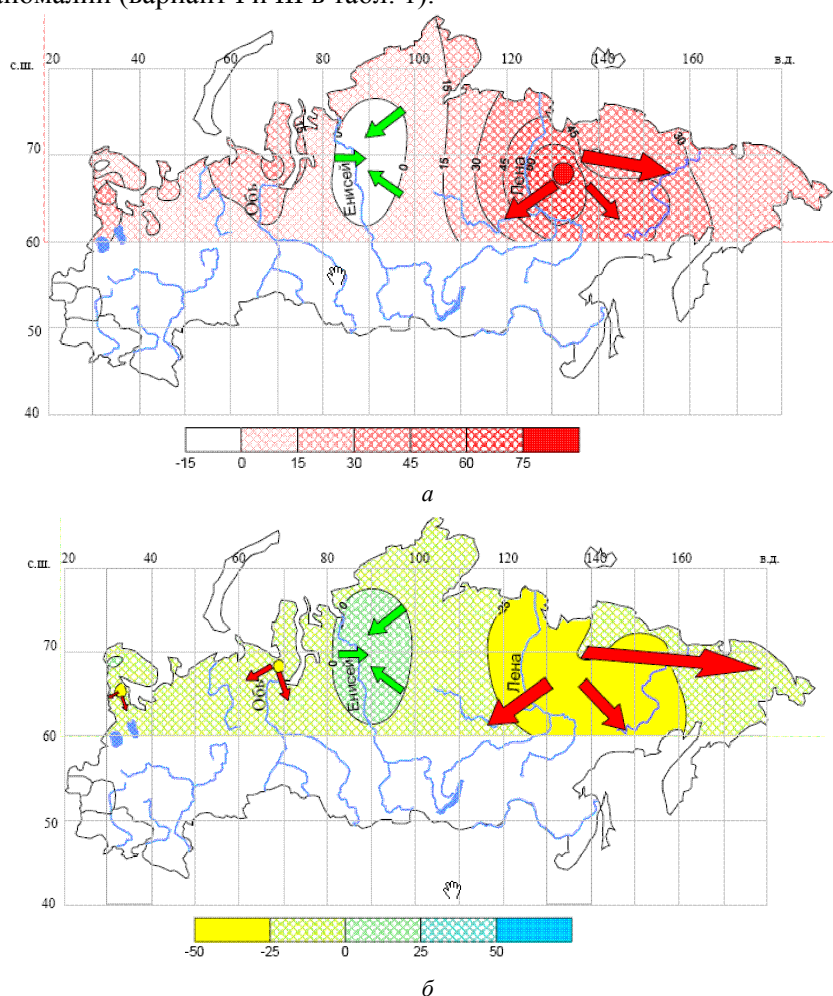


Рис. 3. Карты смещений зон аномалий для нормы (а) и коэффициента вариации (б) максимального стока, полученные по климатическому сценарию SRB1 к 2100 г. [16]

В качестве картографической основы возьмем тематические слои гидрографии карты 1:1 000 000. Рассмотрим вариант прокладки железнодорожного полотна по старой дороге «Трансполярной магистрали», которая функционировала в период 1947–1953 гг. [17]. Такое весьма правдоподобно, поскольку планируется достройка ряда ранее начатых объектов (например, станция «Обская-2»). Гидрография представлена реками и каналами (постоянными). Рассчитаем количество мостовых переходов (N), проектируемых на средних реках (рис. 4).

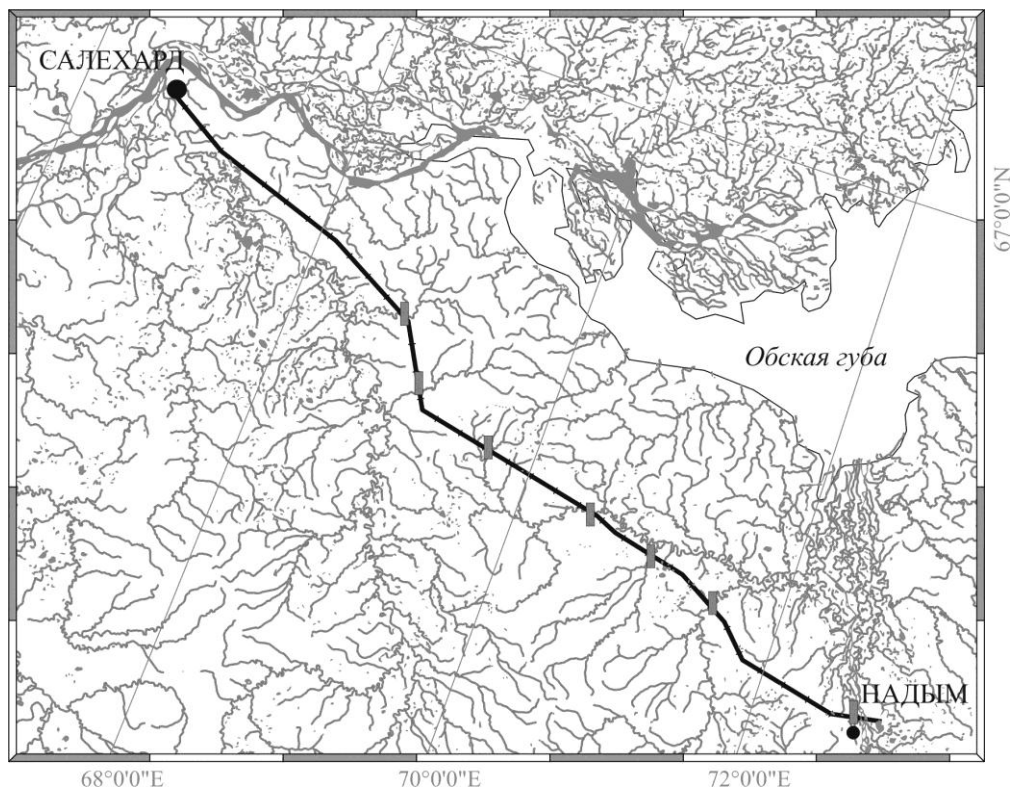


Рис. 4. К определению количества мостовых переходов (N) при прокладке магистрали «Северный Широтный ход» по цифровой карте масштаба 1:1 000 000

Предположим, что число аварий по отношению к общему числу мостовых переходов [x – в формуле (5)] за 35 лет (т. е. период для которого в ТЭО рассчитываются суммарные затраты [5]) составляет 0.01 для проекта мостового перехода, составленного с учетом аномальности зоны максимального стока, и – 0.03 для проекта, основанного на рекомендациях [6]. Такое предположение оправдано тем, что вероятность возникновения аварии увеличивается при занижении проектного расхода, например, при недоучете прогнозируемого, согласно климатическим сценариям, увеличения нормы максимального стока (вариант I в табл. 1). Проектируемая магистраль Салехард-Надым находится в такой зоне (рис. 3).

Число «выбросов» [т. е. превышения расчетного максимального расхода/уровня, n – в формуле (5)] равно 1 (1 раз в 35 лет). «Выброс» означает аварию, когда требуется внеплановый ремонт мостового перехода. Пусть затраты на такие работы оцениваются 10 у.е. (α), затраты на изменение высоты мостового перехода при использовании прогнозных статистических характеристик максимального стока составят 2 у.е. (β). Капиталовложения и текущие эксплуатационные расходы одинаковы для обоих вариантов проектов мостов и равны 20 и 10 у.е. [см. формулу (5) с точностью до коэффициентов].

Тогда, согласно формуле (5), суммарные затраты для проектов строительства мостовых переходов без учета увеличения нормы максимального стока равны 60 у.е., а с учетом климатических изменений – 40 у.е. (т. е. меньше на 30 %). Что существенно при рассмотрении проектов инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры части арктического региона, расположенной в зоне, где ожидается увеличение нормы слоя стока весеннего половодья.

Рассмотрим упрощенную ситуацию на примере единичного мостового перехода. В качестве примера возьмем проект мостового перехода через р. Надым. Общая протяженность перехода составляет 3.1 км, в том числе мост 1.33 км и участки подходов 1.77 км (более подробно см. [18]). Заявленная стоимость такого проекта равна 11.846 млрд руб. [19]. Предположим, что капиталовложения составляет 60 % стоимости. Мост расположен в зоне, где климатические изменения (по обобщенному сценарию) приводят к увеличению нормы максимального стока (табл. 1), т. е. возможны занижение расчетной высоты мостового перехода, а следовательно, к увеличению риска затопления/подтопления. Предположим, что за будущие 35 лет произойдет один «выброс», т. е. одна авария (это возможно, исходя из представленных выше соображений). Расходы на ликвидацию последствий аварии (включая ущерб) составят 20 % от стоимости строительства, а внесение изменений в проект мостового перехода с поправкой на увеличение нормы максимального стока составит 2 %. Тогда, суммарные затраты [согласно формуле (5)] будут равны 14.215 млрд руб. для проекта, основанного на гидрологическом обосновании по ретроспективным данным и 11.962 млрд руб. – для проекта, где было учтено наличие аномальной зоны, полученной по методике долгосрочной оценки статистических характеристик максимального стока на территории Российской Арктики.

Выводы

Показано влияние долгосрочных изменений статистических характеристик стока на расходы малой обеспеченности. Выделены соотношения изменений нормы стока и коэффициента его вариации, которые приводят к занижению или завышению расхода малой обеспеченности.

Рассмотрена возможность использования карт распространения зон, где согласно модельным расчетам ожидаются значимые изменения нормы и коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья (аномалий), для укрупненной

экономической оценки в проектных решениях для мостовых переходов. В качестве такой оценки используется суммарные, приведенные к году окончания строительства, затраты.

Рассмотрены варианты обобщения модели суммарных затрат на строительство/реконструкции моста на случай, позволяющий учесть влияние занижения/завышения расчетного максимального расхода/уровня при проектировании мостовых переходов. Показано, что при увеличении риска аварий, величина текущих затрат повышается с числом мостовых переходов, где могут возникнуть аварии, и количеством аварий. Учитывая, что затраты на внеплановый ремонт мостовых переходов больше, чем затраты на внесение изменений в проект строительства/реконструкции, показана эффективность использования методики долгосрочной оценки статистических характеристик максимального стока в зонах ожидаемых аномалий.

На примере мостовых переходов в районе строительства магистрали «Северный Широтный Ход», расположенного на территории Ямало-Ненецкого АО и попадающего в зону аномалий, где возможно занижение проектного максимального расхода/уровня, показаны пути получения укрупненной экономической оценки при проектировании мостовых переходов. Примеры даны для участка дороги Салехард-Надым и моста через р. Надым. Варианты рассчитаны в упрощенном варианте, без учета прогнозного числа «выбросов» (превышений расчетных расходов/уровней).

Исследования выполнялись в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. проект № П740.

Литература

1. Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В. Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 559 с.
2. СНиП 2.01.14-82. Определение расчетных гидрологических характеристик. Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
3. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Хаустов В. А., Громова М. Н., Девятков В. С., Шевнина Е. В. Методология оценки гидрологических последствий изменения климата для рек арктической зоны России // Тез. Междунар. науч. конф. «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08», Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2010 г., с. 124.
4. СНиП 3.06.04-91. Мосты и трубы. // [Электронный ресурс]: СНиП, 2012. Режим доступа: http://www.snip-info.ru/Snip_3_06_04-91.htm. Свободный. На рус. яз.
5. ВСН 2-73 Указания по технико-экономическому обоснованию строительства и реконструкции мостовых переходов. // [Электронный ресурс]: Стандарт, 2012. Режим доступа: http://standartov.ru/norma_info/48/48033.htm. Свободный. На рус. яз.
6. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеониздат, 1984. – 447 с.
8. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: Нестор-История, 2009. – 193 с.

9. Коваленко В.В. Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 100 с.
10. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В., Громова М.Н., Хаустов В.А., Шевнина Е.В. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате / Под ред. В. В. Коваленко. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 51 с.
11. The IPCC Assessment Reports // [Электронный ресурс]: IPCC, 2009. Режим доступа: <http://www.ipcc.ch>. Свободный. На англ. яз.
12. Шитулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем: Учебное пособие / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – Харьков: ХНАГХ, 2010. – 337 с.
13. Громова М. Н., Викторова Н. В. Прогноз характеристик минимального стока для целей управления водными ресурсами // Научно-техн. ведомости СПбГПУ, 2007, № 2 (50), с. 284–287.
14. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. – М., 1988. – 37 с.
15. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Хаустов В.А., Громова М.Н., Девятков В.С., Шевнина Е.В. Влияние изменения климата на многолетний слой стока весеннего половодья рек Арктической зоны России // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 14–19.
16. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Хаустов В. А., Дехтярев А. А., Голованова Е. Ю., Лесничий Л. И., Шевнина Е. В. Сценарная оценка долгосрочных изменений максимального стока весеннего половодья в Арктическом регионе России на основе стохастической модели формирования многолетнего стока // Труды Всеросс. научн. конф. «Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока». – М., 2012, с. 100–105.
17. «Трансполярная магистраль» // [Электронный ресурс]: Викимания, 2012. Режим доступа: <http://wikimapia.org/#lat=66.1208094&lon=69.149065&z=7&l=1&m=m&tag=1107&ifr=1> Свободный. На рус. яз.
18. Мостострой-12. // [Электронный ресурс]: Описание моста через р. Надым 2012. Режим доступа: <http://www.ms12.ru/rus/objects/projects/index.wbp?projects.root-node-id=8074609a-77eb-43afb96b-95d222d0e7a>. Свободный. На рус. яз.
19. Корпорация «Урал Промышленный – Урал Полярный». // [Электронный ресурс]: Проектная стоимость строительства мостового перехода, 2012. Режим доступа: http://www.cupp.ru/db/images/281010_6_lg.jpg. Свободный. На рус. яз.

Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, Е.А. Поташко, К.С. Бурцев

ВЛИЯНИЕ ПРИУСЛОВЫХ ВАЛОВ НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ ПОТОКОВ

N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, E.A. Potashko, K.S. Burtsev

INFLUENCE OF CHANNEL LEVEES ON THE FLOODPLAIN AND RIVERBED STREAMS INTERACTION PROCESS

Выявлена роль прирусловых валов в формировании скоростных полей русловых и пойменных потоков. Оценено их влияние на формирование эффекта взаимодействия потоков.

Ключевые слова: прирусловой вал, бровка, русловой и пойменный потоки, эффект взаимодействия, скоростное поле.

A role of channel levees in forming fields of velocity for riverbed and floodplain streams is revealed. Their influence on forming streams interaction effect is estimated.

Key words: channel levee, channel edge бровка, floodplain and riverbed streams, interaction effect, field of velocity.

Последнее время проблеме взаимодействия русловых и пойменных потоков уделяется большое внимание. Это в первую очередь обусловлено происходящим потеплением климата и, как следствие, резким увеличением количества и, что более важно, величин катастрофических паводков практически на всех континентах. Действительно, наиболее чётко это проявляется на реках Восточной Европы. В качестве примера можно привести реку Вислу, на которой в 1977 г. прошёл катастрофический паводок с максимальным расходом воды в $6000 \text{ м}^3/\text{с}$, превышающим расчётный 1% обеспеченности примерно в 1,5 раза. Более того, в 2010 г. прошли ещё два катастрофических паводка с максимальным расходом в $8400 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. с превышением расчётного 1 % расхода в два с лишним раза. Последние паводки даже частично подтопили такие большие города Польши, как Краков и Варшаву.

Такое положение с существенным изменением климата, вызвавшим повышение количества и мощности катастрофических паводков в совокупности со значительным снижением количества натурной информации в России, привело к необходимости совершенствования методов расчётов максимальных расходов воды. Последние выполняются по двум направлениям. Первое – совершенствование методов статистических расчётов, особенно в условиях нестационарности природных процессов. Второе – разработка новых методов расчётов пропускной способности русел с поймами на основе данных о максимальных уровнях и морфометрических характеристиках русел и пойм на участке гидроствора. Именно по второму направлению осуществлялись исследования в РГГМУ в последние годы [2, 3 и др.]. Действительно, в этом направлении были разработаны методы расчётов пропускной способности русел и пойм при взаимодействии потоков в них [4, 6, 7 и др.]. Важным моментом в этих разработках стало выяв-

ление влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на процессы формирования средних и местных скоростей этих потоков и, что особенно важно, на пропускную способность русел и пойм. Значительным достижением так же явилось введение в расчёты в качестве основной характеристики угла α между динамическими осями взаимодействующих потоков [1, 5 и др.]. Впоследствии этот угол был приравнен углу между геометрическими осями русел и пойм, что значительно упростило методику его определения при незначительном снижении его точности [2, 5.]. Важной характеристикой при расчётах пропускной способности, в частности русел и соответственно русловой составляющей потока половодья, явился уровень затопления бровок прирусловых валов. Действительно, рекомендуемая методика основана на графической зависимости вида (рис. 1) $V_p/V_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$. При этом уровне реперные значения параметров потоков рекомендуется определять на основе формулы Шези, т.е. исходя из условий равномерного движения.

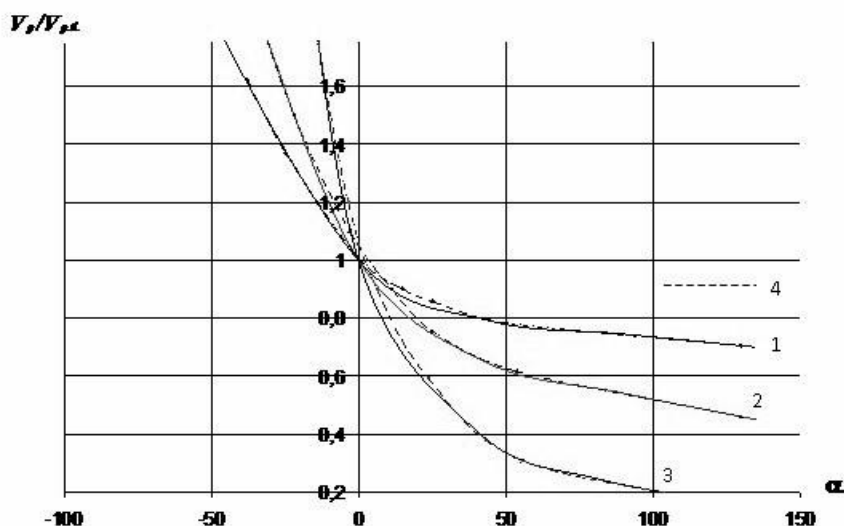


Рис. 1. Кривые $V_p/V_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$.

1 – $h_p/h_{p,6} = 1,10$; 2 – $h_p/h_{p,6} = 1,25$; 3 – $h_p/h_{p,6} = 1,50$; 4 – уточнённое положение кривых.

Угол α имеет положительное значение при третьем типе взаимодействия потоков и отрицательное – при втором

Как показали исследования, проведённые в РГГМУ, расчёт средних скоростей русловых беспойменных потоков в этом случае приводит к средним погрешностям расчётов в 30–35%. Незначительные изменения этих величин обусловлены применением различных таблиц для определения коэффициентов шероховатости, составленных различными авторами (И.Ф. Карасёвым, В.Т. Чоу, Дж. Бредли и др.). В то же время наибольшие погрешности расчётов достигали нескольких сотен процентов.

При определении отметок уровней заполнения бровок прирусловых валов часто возникали трудности, обусловленные как существенными изменениями отметок этих валов по длине реки, так и сложным строением поперечных профилей по гидростворам. В качестве примеров можно привести поперечные профили по гидростворам на реках Виге–Шартаново и Усвяча–Козлово (рис. 2). Как видно на рисунке, на р. Виге чётко выражены два прирусловых вала. Однако первый вполне можно принять за небольшое препятствие. Поэтому для расчётов был принят второй прирусловой вал, затопляемый при более высоких уровнях. Более сложным является определение отметки прируслового вала на р. Усвяче, где затопление первого прируслового вала приводит к присоединению к русловому потоку части пойменного потока, шириною около 30 м. При дальнейшем затоплении поймы при увеличении уровня воды к руслопойменному потоку присоединяется дополнительный отсек пойменного потока шириною более 70 м.

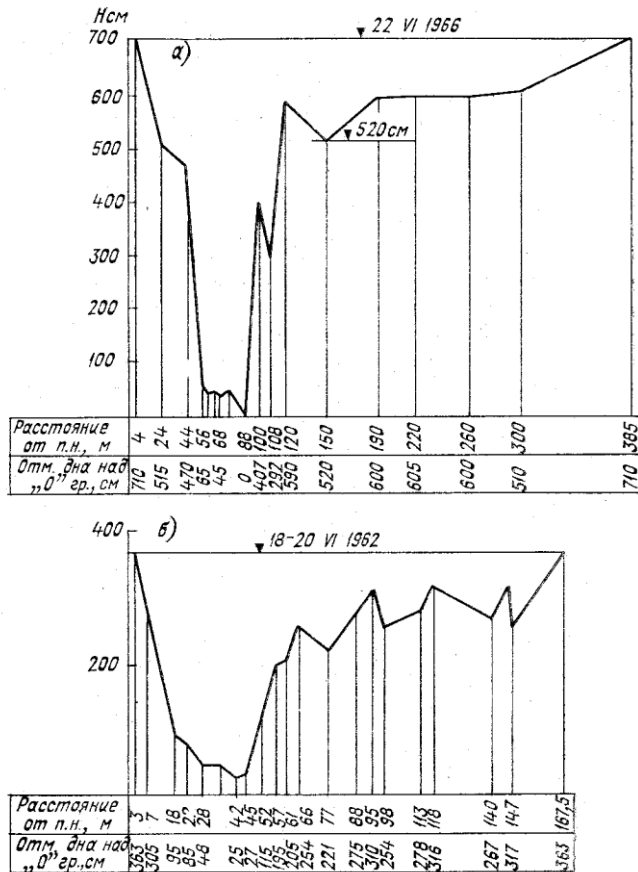


Рис. 2. Профили поперечного сечения по гидроствору.
а – р. Вига – пост Шартаново, б – р. Усвяча – пост Козлово

Следует учитывать, что принятая для расчётов отметка уровней затопления прирусловых валов влечёт за собой существенное изменение как ширины русел и пойм, так и средних глубин русловых и пойменных потоков.

Затопление пойм, как правило, происходит при уровнях значительно, иногда на несколько метров, меньших уровней затопления бровок прирусловых валов. Это, в свою очередь, приводит к образованию двух или даже трёх потоков, частично изолированных прирусловыми валами. При этом взаимодействие этих пойменных потоков с русловыми происходит дискретно, в частности, на участках прорыв и других понижений прирусловых валов.

В таком направлении процесс взаимодействия потоков практически никем не изучался, хотя эта проблема имеет существенное значение как для расчётов средних скоростей взаимодействующих потоков, так и при расчётах пропускной способности русел и пойм. Это тем более важно, что в ряде случаев даже при пропуске максимальных расходов воды 1 % или 0,33 % обеспеченности вершины таких валов иногда не затапливаются.

Расчёт же средних скоростей таких потоков, основанный на формуле Шези, т.е. на теории равномерного движения, приводит к значительным погрешностям расчётов.

Естественно встаёт вопрос о путях решения данной проблемы. По нашему мнению, для её решения необходимо проведение детальных экспериментальных исследований как лабораторных, так и натурных и анализ их результатов.

Естественно встаёт вопрос о значении прирусловых валов не только в методах расчётов пропускной способности русел с поймами, но и во вскрытии сущности процесса взаимодействия потоков.

Рассмотрим эту проблему более детально. Значительную роль прирусловые валы играют:

- при делении потоков на русловую и пойменную составляющие;
- являются реперной точкой при получении зависимостей для расчётов средних скоростей русловых потоков при их взаимодействии с пойменными;
- в значительной степени определяют величину зоны влияния руслового потока на часть пойменного потока;
- оказывают существенное воздействие на величину коэффициентов шероховатости в прирусловой части поймы и припойменной части русла при определении их значений на основе формул Шези-Маннинга или Шези-Павловского, т.е. на основе допущения о равномерности движения русловых и пойменных потоков.

Действительно, принятие отметки бровки прируслового вала в качестве реперной точки с одновременным представлением значений скоростей, уклонов водной поверхности, средних глубин и других характеристик русловых составляющих потоков в безразмерном виде позволило объединить натурную информацию по различным рекам и получить расчётные зависимости вида $v_p/v_{p,0} = f(h_p/h_{p,0}, \alpha)$ (рис. 1), $I_p/I_{p,0} = f(h_p/h_{p,0}, \alpha)$ (рис. 3) и другие.

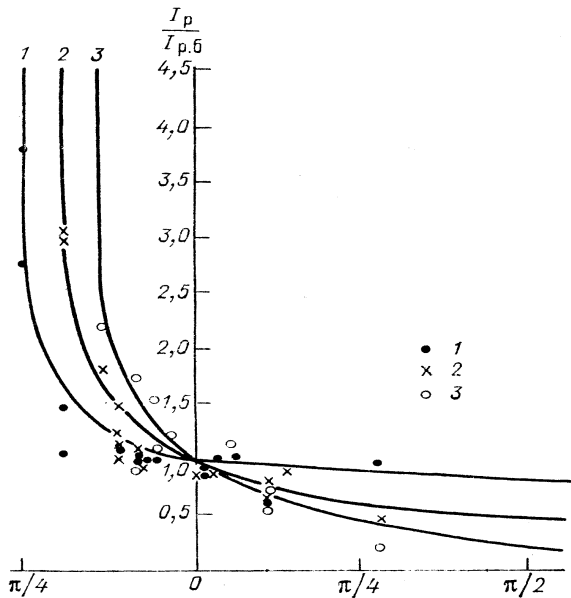


Рис. 3. Кривые $I/I_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$. 1 — $h_p/h_{p,6} = 1,10$; 2 — $h_p/h_{p,6} = 1,25$; 3 — $h_p/h_{p,6} = 1,50$

Анализ лабораторных и натурных данных на основе информации о паводочных, в том числе катастрофических расходах воды, позволил установить, что зона воздействия руслового потока на пойменный ограничена 5-6 ширинами руслового потока [4, 5 и др.]. Следует отметить, что эта величина установлена по данным лабораторных измерений на модели русла с гладкой, выполненной из железобетонного бетона, поймой.

Дальнейший анализ был выполнен на основе натурной информации по ряду рек, на которых шероховатость поймы изменялась в широких пределах ($n_p = 0,014-0,160$). Ширина зоны воздействия руслового потока на пойменный была значительно меньше, изменяясь от 1,5 до 4-5 ширин руслового потока. К сожалению, установить надёжную зависимость ширины этой зоны от коэффициентов шероховатости поймы не представилось возможным. По-видимому, помимо коэффициентов шероховатости поймы существенное воздействие оказывают и другие факторы.

Анализ натурных данных и расчёты коэффициентов шероховатости русел и пойм позволил установить, что значения последних в прирусловых отсеках пойм, особенно при втором типе взаимодействия потоков, когда воды из русел поступают на поймы значительно, иногда в два и более раз меньше, чем приведённые в таблицах Карасёва, Чоу и других. Действительно, на ряде рек Белоруссии (Сож, Друть и др.) расчётные значения коэффициентов шероховатости составляют 0,012–0,016, а табличные 0,050–0,07. Это можно объяснить только тем, что на пойму, особенно при подъёме уровней, поступают поверхностные

слои руслового потока. Их скорости не формируются шероховатостью поймы, а соответствуют поверхностным скоростям руслового потока, массы которого поступают на пойму, особенно при её затоплении паводочными водами. В этом случае нельзя применять для расчётов формулы, основанные на концепции равномерного движения.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 280 с.
2. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 314 с.
3. *Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С.* Учёт кинематического эффекта в методах расчёта пропускной способности пойменных русел // Метеорология и гидрология, 2008, № 10, с. 80-85.
4. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 374с.
5. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.
6. *Пагин А.О., Селина Т.С., Тимофеева О.Д.* Экспериментальные исследования влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт наносов // Уч. зап. РГГМУ, 2007, № 5, с. 111-118.
7. *Чалов Р.С.* Русловедение. – М.: Красанд, 2011. – 955 с.

А.Н. Постников

ОЦЕНКА НОРМ ИСПАРЕНИЯ ЗА БЕЗЛЕДОСТАВНЫЙ ПЕРИОД С ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ РОССИИ И ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН СНГ МЕТОДОМ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

A.N. Postnikov

ESTIMATE OF EVAPORATION RATES FOR PERIOD WITHOUT ICE FROM LAKES AND RESERVOIRS IN RUSSIA AND SOME CIS COUNTRIES WITH HEAT BALANCE METHOD

Производится оценка норм радиационного баланса поверхности озер и водохранилищ за отдельные месяцы и в целом за безледоставный период. Определяются нормы испарения с поверхности озер и водохранилищ за безледоставный период методом теплового баланса. Предлагается эмпирическая формула для оценки радиационного баланса поверхности водоемов за безледоставный период.

Ключевые слова: радиационный баланс, озера и водохранилища, безледоставный период, испарение, тепловой баланс.

Estimate of radiation balance rates of lakes and reservoirs surface for separate months and for the whole period without ice is made. Evaporation rates from lakes and reservoirs surface for period without ice are determined with heat balance method. Empirical formula for estimate of radiation balance of basin surface for period without ice is offered.

Key words: radiation balance, lakes and reservoirs, period without ice, evaporation, heat balance.

Уравнение теплового баланса водоема за некоторый промежуток времени Δt может быть записано в виде:

$$R = LE + P + \Delta W, \quad (1)$$

где R – радиационный баланс водной поверхности; LE – затраты тепла на испарение; P – турбулентный поток тепла между водной поверхностью и атмосферным воздухом; ΔW – изменение запаса тепловой энергии в водоеме. Все составляющие в данной работе приводятся в кДж/м^2 . Если уравнение записано для всего безледоставного периода (БП) водоема, то с хорошим приближением можно считать [1], что $\Delta W = 0$, т. е. тепловые запасы водных масс водоема примерно одинаковы на начало и конец БП. Поэтому для всего БП уравнение теплового баланса упрощается:

$$R = LE + P. \quad (2)$$

Составим отношение P/LE , называемое отношением Боуэна. При этом для выражения P и LE используют уравнения турбулентного переноса тепла и влаги в атмосфере

$$P = -c_p \rho K_p \frac{dt}{dz}, \quad (3)$$

$$E = -\rho K_E \frac{dq}{dz}, \quad (4)$$

где c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/кг град; ρ – плотность воздуха, кг/м³; t – температура воздуха, °C; q – удельная влажность воздуха, кг/кг; z – высота над подстилающей поверхностью, м; K_p и K_E – коэффициенты турбулентности для переноса тепла и влаги, м²/с. Если производные выразить через конечные разности, от удельной влажности перейти к парциальному давлению (e) по соотношению $q = 0,62 \cdot 10^{-3} e$ и принять, что $K_p = K_E$, то получим:

$$\frac{P}{LE} = 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}, \quad (5)$$

где Δt – разность между температурами поверхности воды и воздуха на высоте 2 м; Δe – разность между парциальными давлениями насыщенного водяного пара при температуре водной поверхности и в воздухе на высоте 2 м, гПа. Исключив P из уравнения (2) с помощью (5), получим:

$$E = \frac{4R}{\left(1 + 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)}, \text{ мм.} \quad (6)$$

По уравнению (6) можно попытаться оценить испарение с водоема в целом за БП конкретного года, а также средние многолетние значения (нормы) испарения с водоемов за безледоставные периоды, так как для средних многолетних условий уравнение (2) также будет справедливым.

Однако для использования уравнения (6) необходимо располагать данными о радиационном балансе водной поверхности, наблюдения за которым на сетевых метеостанциях Гидрометслужбы до настоящего времени не проводятся. Вместе с тем, на актинометрических станциях проводятся измерения, позволяющие определить радиационный баланс суши (R_c). Получив данные о R_c , можно рассчитать значения R для расположенных поблизости водоемов. Изложим методику этого расчета согласно работе [2].

Запишем уравнение радиационного баланса для поверхности суши:

$$R_c = (Q_1 + Q_2)_c (1 - \alpha_c) - I_c + I_a^c \quad (7)$$

и для поверхности воды

$$R = (Q_1 + Q_2)_в (1 - \alpha_в) - I_в + I_a^в, \quad (8)$$

где Q_1 и Q_2 – соответственно, прямая и рассеянная солнечная радиация; α_c и $\alpha_в$ – соответственно, альбедо поверхности суши и альбедо водной поверхности; I_c и

I_B – соответственно, длинноволновое излучение поверхности суши и водной поверхности; I_a^c и I_a^B – встречное длинноволновое излучение атмосферы над сушей и водной поверхностью. Приняв, что суммарная радиация над участком суши $(Q_1 + Q_2)_c$ и над близ расположенным водоемом $(Q_1 + Q_2)_B$ одинаковы по величине, а также одинаковы I_a^c и I_a^B , вычтем уравнение (7) из (8):

$$R = R_c + (Q_1 + Q_2)(\alpha_c - \alpha_B) + (I_c - I_B). \quad (9)$$

В соответствии с законом Стефана-Больцмана

$$I_c = \beta_c \sigma T_c^4, \quad (10)$$

и

$$I_B = \beta_B \sigma T_B^4, \quad (11)$$

где T_c и T_B – температура поверхности почвы на актинометрической станции и температура поверхности воды; $\sigma = 1,47 \cdot 10^{-4}$ кДж/м²·мес·град⁴ – постоянная Стефана-Больцмана; β_c и β_B – излучательные способности суши и воды, которые в рассматриваемой методике полагаются равными единице ($\beta_c = \beta_B = 1$). Таким образом, можно записать:

$$P = P_c + (Q_1 + Q_2)(\alpha_c - \alpha_B) + \sigma(T_c^4 - T_B^4). \quad (12)$$

В настоящей работе по уравнению (12) рассчитывались среднемноголетние значения радиационного баланса водной поверхности за каждый месяц БП данного водоема. Полученные месячные значения R затем суммировались и определялось среднее многолетнее значения (норма) радиационного баланса за БП. Месячные нормы R_c , $(Q_1 + Q_2)$, α_c , T_c брались из [8], норма T_B – из [3], значения α_B заимствованы из таблицы, приведенной в работе [2]. Как известно, температура поверхности почвы измеряется на метеостанциях ртутным термометром, выложенным на поверхность площадки, лишенной травяного покрова. Поэтому естественно ожидать, что в теплый период года эта температура, как правило, будет завышенной по сравнению с температурой поверхностей участков почвы, находящихся в естественном состоянии в непосредственной близости от этой площадки. По этой причине в настоящей работе за температуру поверхности почвы принималась величина

$$T_c = (T_1 + T_2)/2, \quad (13)$$

где T_1 – температура поверхности почвы, измеренная на метеостанции; T_2 – температура воздуха.

Для проведения расчетов выбирались такие озера и водохранилища, поблизости от которых имелись актинометрические станции, проводящие наблюдения за составляющими радиационного баланса поверхности суши. В табл. 1 приводятся результаты расчета радиационного баланса водной поверхности по изложенной выше методике.

Таблица 1

**Средние многолетние значения радиационного баланса водной поверхности
за отдельные месяцы и в целом за безледоставный период ($R \cdot 10^{-4}$ кДж/м²)**

Водоем, станция	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Озера											
Ладожское, Сортавала		13,8	44,4	53,2	46,5	24,7	10,9	-3,4	-9,2	-13,8	167,2
Ладожское, Новая Ладога		20,5	46,1	51,5	44,0	26,8	11,7	1,7	-8,4	-13,4	176,8
Онежское, Петрозаводск			38,1	47,3	44,0	26,0	9,2	-2,9	-6,7		155,4
Кавголовское, Санкт-Петербург		22,2	30,6	36,4	35,6	21,0	9,2	-1,3	-5,0		148,7
Ильмень, Николаевское		28,5	36,0	39,8	39,0	27,2	11,7	1,7	-2,9		180,1
Чудско-Псковское, Николаевское		28,5	39,0	41,1	39,4	25,6	9,6	-0,4	-4,2		149,6
Белое, Каргополь		18,4	35,6	35,2	37,3	20,5	5,4	-0,8	-8,4		143,3
Лача, Каргополь			33,5	35,6	37,3	20,5	7,1	0,0	-6,3		128,2
Валдайское, Валдай		29,7	39,2	42,7	39,4	26,8	10,1	0,8	-5,9		183,9
Селигер, Валдай		28,9	41,5	40,6	38,1	25,1	8,0	-3,8	-3,8		174,7
Галичское, Кострома		28,5	36,9	39,4	39,4	28,9	11,3	0,0	-8,0		176,4
Чаны, Омск		30,6	40,6	43,2	40,2	30,6	15,9	5,0	-9,6		196,9
Байкал, Байкальское				52,8	53,6	36,0	17,2	-0,4	-16,3	-22,2	121,1
Байкал, Хужир			50,3	57,0	57,4	40,6	20,1	0,8	-16,8	-24,7	185,2
Байкал, Иркутск			46,1	59,5	55,7	37,3	18,9	-0,8	-15,9	-23,9	176,8
Ханка, Сантахеза		37,3	39,0	46,5	46,1	36,9	26,8	13,4	-0,8		245,5
Балхаш, Буран		37,7	52,0	54,5	51,5	42,7	25,1	6,7	-6,7		262,7
Балхаш, Алма-Ата		36,9	49,9	52,8	56,1	46,9	33,1	13,0	0,4		289,1
Алаколь, Буран		39,0	49,4	53,6	53,2	46,1	30,2	12,2	-2,1	-13,0	269,0
Алаколь, Алма-Ата		42,3	54,1	56,1	59,1	48,6	33,1	12,6	1,3	-5,0	300,0
Иссык-Куль, Алма-Ата	18,0	32,7	50,7	57,4	62,0	50,3	31,4	8,8	-5,9	-11,3	288,3
Севан, Тбилиси	29,7	35,2	48,6	57,8	58,2	46,5	32,7	13,0	2,5	-2,9	332,3
Водохранилища											
Иваньковское, Торжок		23,0	33,9	37,3	36,9	23,9	10,1	0,4	-5,0		160,0
Рыбинское, Мыс Рожновский		23,0	41,1	41,5	42,3	27,2	11,7	-0,4	-6,7		179,8
Горьковское, Кострома		25,1	40,2	42,9	38,5	26,4	6,7	-2,1	-8,0		170,0
Горьковское, Нижний Новгород		25,6	44,4	45,3	40,2	26,0	10,5	-1,7	-8,0		182,7
Куйбышевское, Самара		30,2	48,2	50,7	46,9	35,6	16,8	3,8	-8,4		224,6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Саратовское, Саратов		35,2	52,0	52,4	46,5	35,6	15,9	1,7	-6,7		232,5
Волгоградское, Волгоград		37,7	56,1	56,1	54,1	43,6	22,6	5,4	-2,5	-6,3	267,3
Цимлянское, Цимлянск	12,6	28,9	45,2	49,0	45,3	39,8	21,8	6,7	-2,5		247,2
Киевское, Киев		26,0	36,5	42,3	42,3	31,0	18,0	6,3	0,0	-5,0	202,0
Кременчугское, Знаменка		26,8	36,5	42,3	44,4	34,4	17,6	5,9	-2,9	-5,0	203,2
Днепродзержин- ское, Знаменка		27,7	37,7	43,6	45,7	34,8	20,1	6,3	-2,9	-5,9	207,4
Каховское, Знаменка	12,6	28,1	39,4	42,3	43,6	33,5	18,0	3,8	-5,9	-7,5	208,2
Каховское, Ботево	15,9	33,1	45,7	49,0	51,1	41,1	24,7	8,0	-2,9	-4,2	261,9
Братское, Тулун			44,0	50,2	42,7	28,1	10,9	-4,6	-15,9		155,4
Братское, Киренск			40,2	47,8	42,3	24,7	7,1	-5,0	-18,0		139,1
Красноярское, Хакасская			49,9	52,4	48,6	32,7	13,8	-5,0	-15,5		168,4
Павловское, Кушнаренково			44,8	52,4	45,7	30,6	13,0	-1,3	-7,5		177,7

Далее определялись величины $K_B = \frac{1}{\left(1 + 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)}$, при вычислении значе-

ний которых сначала, по данным наблюдений ближайшей к водоему метеостанции [8], определялись средние за каждый месяц величины Δt и Δe , по которым находились их средние значения за весь БП и затем определялась величина K_B . Значения K_B приводятся в табл. 2.

Для определения среднемноголетней продолжительности БП для конкретного водоема из кадастровых изданий [3] выписывались средние даты очищения ото льда и даты установления ледостава, которые округлялись соответственно до первого, десятого и двадцатого дня месяца.

С учетом такого округления дат начинался и заканчивался подсчет нормы радиационного баланса за БП на конкретном водоеме. Поясним сказанное на примере. Пусть по кадастровому изданию на водоеме дата очищения ото льда 23 апреля, а дата установления ледостава 17 ноября. С округлением эти даты соответственно превратятся в 20 апреля и 20 ноября. Поэтому при подсчете радиационного баланса за БП из табл. 1 учитывались 1/3 радиационного баланса за апрель и 2/3 радиационного баланса за ноябрь. Для больших водных объектов, в тех случаях, когда это было возможно, радиационный баланс водной поверхности определялся по данным нескольких актинометрических станций как среднее арифметическое. Эти станции указаны в табл. 2 после названия водного объекта.

Оценки норм испарения за безледоставный период
по различным источникам и по уравнению (6)

Водоем, станция	БП	K_B	$R \cdot 10^{-4}$	E	E_1	E_2	E_3	E_n	ОП, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озера									
Ладожское, Сортавала, Новая Ладога	1,05-31,12	0,75	154,8	464	344	378	429	429	+8
Онежское, Петрозаводск	1,05-30,11	0,75	146,2	439	335	392	-	392	+12
Кавголовское, С.-Петербург	15,04-15,11	0,76	140,1	426	-	-	-	447	-5
Ильмень, Николаевское	15,04-20,11	0,81	167,7	541	420	590	-	590	-9
Чудско-Псковское, Николаевское	13,04-20,11	0,80	161,0	496	560	520	-	520	0
Валдайское, Валдай	1,05-30,11	0,75	154,2	463	-	-	-	493	-6
Белое, Каргополь	1,05-15,11	0,83	129,1	429	420	-	-	420	+2
Лача, Каргополь	1,05-15,11	0,83	131,4	436	401	-	-	401	+9
Селигер, Валдай	1,05-20,11	0,77	147,1	453	-	-	-	505	-10
Галичское, Галич	1,05-1,11	0,76	155,9	474	-	-	-	509	-7
Чаны, Омск	1,05-1,11	0,80	162,4	520	491	-	-	491	-4
Байкал, Байкальское, Хужир, Иркутск	15,05-31,12	0,68	145,0	394	372	422	406	406	-3
Ханка, Сантахеза	15,04-30,11	0,80	226,8	726	584	624	620	624	+17
Балхаш, Буран, Алма-Ата	1,04-30,11	0,91	275,9	1004	1020	-	1020	1020	-2
Алаколь, Буран, Алма-Ата	1,04-15,12	0,95	289,0	1098	1194	1152	-	1152	-5
Иссык-Куль, Алма-Ата	1,01-31,12	0,78	288,3	899	-	850	850	850	+6
Севан, Тбилиси	1,01-31,12	0,71	332,3	944	870	846	-	870	+8
Водохранилища									
Иваньковское, Торжок	10,04-20,11	0,80	152,4	488	522	-	513	513	-5
Рыбинское, Мыс Рожновский	15,04-15,11	0,79	171,1	540	519	418	418	519	+4
Горьковское, Кострома, Нижний Новгород	15,04-20,11	0,80	170	544	611	597	591	591	-8
Куйбышевское, Нижний Новгород, Самара	15,04-20,11	0,81	198,0	641	646	580	618	646	-1
Саратовское, Самара, Саратов	15,04-30,11	0,83	212,2	705	668	650	656	668	+6
Волгоградское, Саратов, Волгоград	15,04-15,12	0,88	230,0	809	732	743	753	753	+7
Цимлянское, Цимлянск	20,03-30,11	0,90	243,0	875	1020	-	860	860	+2
Киевское, Киев	1,04-15,12	0,80	204,5	654	696	-	644	644	+2

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кременчугское, Знаменка	1,04-20,12	0,81	206,5	669	787	670	671	670	0
Днепродзержинское, Знаменка	1,04-20,12	0,81	211,3	685	730	-	656	656	+4
Каховское, Знамен- ка, Ботево	20,03-31,12	0,89	230,3	820	824	810	796	824	0
Братское, Тулун, Киренск	20,05-30,11	0,79	119,2	377	384	391	411	384	-2
Красноярское, Хакасская	10,05-1,12	0,79	151,8	480	515	730	765	515	-7
Павловское, Кушнаренково	20,04-31,12	0,83	151,6	503	504	-	-	504	0
Мингечаурское, Тбилиси	1,01-31,12	0,93	246,0	915	1060	-	1100	1060	-14

Примечания: R – радиационный баланс водной поверхности за БП, кДж/м^2 ; E – испарение, рассчитанное по уравнению (6); E_1, E_2, E_3 – испарение за БП, значения которого заимствованы соответственно из источников [1, 3, 6]; E_n – принятое испарение; ОП – относительная погрешность оценки испарения по уравнению (6), равная $100 \cdot (E - E_n)/E_n$. Значения испарения приведены в мм.

В табл. 2 приведены результаты расчета радиационного баланса поверхности водоемов и значения испарения, определенные по формуле (6). Здесь же приводятся средние многолетние значения испарения с данных водоемов, заимствованные из источников, указанных в примечании к таблице. Рассчитанные значения испарения (E) сравнивались с так называемым «принятым испарением» (E_n), за которое принималось то значение из E_1, E_2, E_3 , которое было наиболее близким к значению E . Такое решение было принято, исходя из тех соображений, что если значения испарения, полученные независимыми друг от друга способами, оказываются близкими, то у этих двух значений больше шансов оказаться ближе к истинному значению, чем у остальных. Читатель, не согласный с таким подходом, имеет возможность по-своему оценить результаты расчета E , исходя из значений E_1, E_2, E_3 . Для озер Кавголовское, Валдайское, Селигер и Галичское в качестве принятых значений испарения были использованы значения испарения, определенные по формуле [4]

$$E = 83t_n, \quad (14)$$

где E – норма испарения с водной поверхности за БП, мм; $t_n = \Sigma t_i/12$, здесь t_i – норма испарения за i -й месяц теплого периода года. Месяц относился к теплому периоду, если t_i была положительной величиной. В табл. 2 приведены погрешности расчета E относительно величин E_n в процентах с указанием знака. Знак «+» указывает на то, что значение E больше значения E_n , а знак «-», что значение E меньше значения E_n . В общей сложности сравнение результатов было проведено по 32 водным объектам, при этом оказалось, что в четырех случаях результаты практически совпадали, в тринадцати были завышены и в пятнадцати – занижены. Анализ результатов расчета показал также, что в 53 % случаев относительная погрешность по абсолютной величине не превосходит 5 %, а в 91 %

случаев не превосходит 10 %, средняя по абсолютной величине относительная погрешность составляет 6 %, коэффициент корреляции между E и E_n равен 0,97. Таким образом, результаты следует признать весьма удовлетворительными, а метод теплового баланса в изложенном выше виде пригодным для оценки норм испарения с водоемов в целом за безледоставный период.

Здесь хотелось бы высказать свое мнение относительно опубликованных величин E_1 , E_2 и E_3 , которые принимались в данной работе за эталонные. Как правило, эти величины рассчитывались по формуле ГГИ, в которую входит U_2 – скорость ветра над водоемом на высоте 2 м. На метеостанциях скорость ветра измеряется по флюгеру (U_ϕ). Пересчет этой скорости в скорость ветра над водоемом на высоте 2 м производится по формуле [9]

$$U_2 = K_1 K_2 K_3 U_\phi, \quad (15)$$

где K_1 , K_2 , K_3 – коэффициенты, соответственно учитывающие степень защищенности метеостанции, характер рельефа в месте ее расположения, среднюю длину разгона воздушной массы над водоемом. Для определения этих коэффициентов в [9] приводится таблица, после ознакомления с которой, во-первых, становится понятно, что при производстве расчетов необходимо иметь подробное описание местности, в которой расположена метеостанция (но всегда ли оно имеется?), и, во-вторых, закрадывается подозрение, что при выборе значения K_1 легко допустить ошибку, например, вместо $K_1 = 1,1$ выбрать $K_1 = 1,3$. Посмотрим, к чему может привести такая, на первый взгляд, безобидная погрешность. В табл. 3 представлены результаты расчета с Волгоградского водохранилища в районе г. Волгограда за 7 БП при разных значениях K_1 , значения всех остальных переменных, входящих в формулу ГГИ, в обоих случаях были одинаковы.

Таблица 3

Испарение за БП (мм) с Волгоградского водохранилища в районе г. Волгограда

Годы	1961	1962	1963	1967	1968	1969	1970	Среднее
$K_1 = 1,1$	876	810	826	864	871	850	922	860
$K_2 = 1,3$	1000	924	946	986	995	969	1058	983

Мы видим, что незначительная погрешность в выборе K_1 (перепутали соседние значения коэффициента!) может привести к погрешности во многие десятки миллиметров в определении испарения не только за отдельные безледоставные периоды, но и в определении его среднего многолетнего значения. Отсюда напрашивается вывод, что средние многолетние значения испарения с водоемов за БП, определенные по формуле ГГИ, следует воспринимать с осторожностью, как величины до некоторой степени условные.

Метод теплового баланса в том виде, в каком он реализован в настоящей работе, может служить для определения (уточнения) норм испарения с водоемов за безледоставный период в целом. Однако его применение требует данных наблюдений на актинометрических станциях, число которых на территории России сравнительно невелико, в связи с чем метод может быть применен далеко не для всех водоемов. Поэтому желательна разработка методики расчета радиационного баланса водной поверхности по данным о метеовеличинах, за ко-

торыми ведутся наблюдения на сетевых метеостанциях. В работе автора [4] было установлено, что годовые средние многолетние значения радиационного баланса увлажненной поверхности суши равнинных территорий достаточно тесно связаны с температурной характеристикой теплого периода t_n , о которой говорилось выше. В данной работе сделана попытка рассчитанные нормы радиационного баланса водной поверхности за БП, исключая горные водоемы и водоемы Казахстана, также связать с соответствующими значениями t_n . Оказалось, что эта связь довольно тесная (коэффициент корреляции равен 0,93) и может быть описана уравнением:

$$R' \cdot 10^{-4} = 21,3t_n + 27 \text{ кДж/м}^2\text{БП.} \quad (16)$$

Средняя относительная погрешность расчета R' по зависимым исходным данным, т.е. по тем, по которым было построено уравнение, составляет 6 %. Имея значение R' для данного водоема, нужно определить K_b , пользуясь данными наблюдений ближайшей метеостанции, и затем оценить норму испарения с водоема за БП по уравнению (6).

Используя формулу (16) и значения K_b из табл. 3, мы провели расчет норм испарения за БП для равнинных водоемов (исключая водоемы засушливых зон, т.е. водоемы Казахстана), указанных в табл. 1 и 2, и сравнили их с величинами E_n для данных водоемов. Оказалось, что коэффициент корреляции между ними составляет 0,96, а средняя относительная погрешность равна 6 %.

Подводя итоги, по-видимому, можно сказать, что метод теплового баланса при наличии необходимых данных на сетевых актинометрических станциях может быть использован для оценок норм испарения за БП с водоемов как на равнинной, так и в горной местности. Формула (14) может быть использована для оценок норм испарения за БП с водоемов, расположенных на равнинах (исключая водоемы засушливых зон). Формула (16) может быть использована при отсутствии необходимых актинометрических данных для приближенных оценок радиационного баланса водной поверхности за БП равнинных водоемов (исключая водоемы засушливых зон) и последующей оценки норм испарения за БП с этих водоемов. Автору представляется, что перечисленные предложения могут увеличить набор способов определения норм испарения с водоемов за БП и будут способствовать повышению точности их определения.

Литература

1. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
2. Кириллова Т.В. Радиационный режим озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
3. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Постников А.Н. Формулы для расчета среднего годового испарения с поверхности суши и радиационный баланс водной поверхности // Проблемы современной гидрологии / Сб. науч. трудов гидрологич. фак-та, 2004, с. 143-153.
5. Постников А.Н. Приближенный метод оценки испарения с озер и водохранилищ // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 21-29.
6. Рекомендации по расчетам водного баланса крупных озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
7. Справочник по климату. – Л.: Гидрометеиздат, 1963-1969.
8. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.

В.С. Девятков

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДЕТАЛИЗАЦИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ
РАЗМЕРНОСТИ РЕЧНОГО СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ**

V.S. Devyatov

**SPATIAL DETAILED ELABORATION OF FRACTAL DIMENSION
OF A RIVER FLOW IN TERRITORY OF NORTH-WEST REGION
IN RUSSIA**

Построены графики зависимостей фрактальной размерности рядов наблюдений за суточными и осредненными за многолетний период расходами воды от площадей водосборов для Северо-Западного региона. Проведен сравнительный анализ полученных графиков с редукционными кривыми.

Ключевые слова: фрактальная размерность, редукционные кривые, фрактальная диагностика, прогнозирование.

Graphs of dependences fractal dimension of daily and averaged over many years rows observations of water flow from the catchment area for the North-West region are constructed. Comparative analysis of the charts with a reduction curves carried out.

Key words: fractal dimension, reduction curves, fractal diagnostics, forecasting.

Введение (мотивация и постановка задачи исследований)

Водные объекты подвержены закономерным изменениям режима поверхностных и подземных вод, происходящим по отдельным географическим (природным) зонам, поскольку речной сток в первую очередь зависит от климатических факторов. Это явление в гидрологии получило название зональность гидрологического режима водных объектов.

Реки, водный режим которых отражает типичные черты многолетних колебаний стока, свойственные данной географической зоне, называются реками с зональным режимом формирования стока. К таким рекам обычно относятся средние и частично малые реки.

Реки, водный режим которых заметно отличается от зонального вследствие влияния местных факторов или особенностей (наличие озер, болот, карста и пр.), и его характер оказывается нетипичным для рек данной географической зоны, называются реками с азональным режимом формирования стока. Этот режим свойствен малым рекам, но может проявляться и на части средних.

Если водный режим рек формируется под влиянием особенностей двух и более географических зон и имеет сложный характер, то такие реки называются реками с полизональным режимом стока. Он обычно наблюдается на больших реках.

В зависимости от рассматриваемой гидрологической характеристики стока в категорию рек с зональным режимом попадают реки, имеющие различные размеры водосбора. Этот факт устанавливается по графикам связи модуля стока с площадью водосбора. Кривые, отраженные на этих графиках, получили название редукционных.

Целью данной статьи является оценка зависимости фрактальной размерности рядов наблюдений за суточными и осредненными за многолетний период расходами воды от площадей водосборов для Северо-Западного региона. Установление подобных зависимостей актуально с точки зрения краткосрочного прогнозирования водного режима и частично инфинитной гидрологии [1], в которой разработана методология моделирования и прогнозирования статистически неустойчивых процессов с использованием фрактального диагностирования [2, 3].

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- проведена фрактальная диагностика рядов суточного и многолетнего речного стока и получены их фрактальные размерности;
- построены графики зависимостей полученных фрактальных размерностей от площадей водосборов;
- проведен сравнительный анализ полученных данных.

Методика исследования

В современной гидрологии широко используются редукционные кривые зависимостей модуля стока от площадей водосбора (рис. 1).

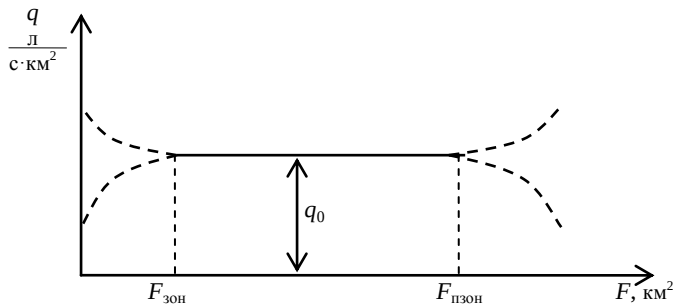


Рис. 1. Зависимость модуля стока q от площади водосбора F
($F < 1000 \text{ км}^2$ – азональный, $F > 50\,000 \text{ км}^2$ – полизональный режим формирования стока)

На рис. 1 показаны возможные виды изменения модуля стока с увеличением площади водосбора. В зоне от 0 до $F_{\text{зон}}$ модуль стока может увеличиваться или уменьшаться с ростом площади водосбора реки, что выражается на графике разбросом точек. Характер этого разброса определяется местными условиями формирования стока. Значение $F_{\text{зон}}$ будет зависеть в основном от глубины залегания подземных вод: чем они ближе к поверхности, тем оно будет меньше, поскольку тем скорее река сможет дренировать все питающие ее водоносные горизонты. Значение $F_{\text{пзон}}$ более стабильны по территории и находятся обычно в пределах 50–75 тыс. км², хотя для отдельных рек могут быть и более. Площадь, заключенная между $F_{\text{зон}}$ и $F_{\text{пзон}}$, присуща рекам с зональным режимом формирования стока и является репрезентативной для построения карт изолиний стока. Реки с площадью больше $F_{\text{пзон}}$ относятся к категории полизональных, или больших рек.

Зависимость, представленная на рис. 1, легко подтверждается теоретически (до точки $F_{\text{пзон}}$). Приводится только необходимое для дальнейшего изложения уравнение, его вывод опускается (см. [4]).

$$\bar{q}(F) = \bar{q}_0 e^{-(\bar{c}-0,5G_{\tilde{c}})F} + \frac{\bar{N} - 0,5G_{\tilde{c}\tilde{N}}}{\bar{c} - 0,5G_{\tilde{c}}} (1 - e^{-(\bar{c}-0,5G_{\tilde{c}})F}), \quad (1)$$

где $\bar{q}$ – норма модуля стока; F – площадь водосбора; $\bar{q}_0$ – начальное значение нормы модуля стока; $\bar{N}$, $\bar{c}$ – нормы величин, связанных с интенсивностью осадков и коэффициентом стока соответственно; $\tilde{c}$, $\tilde{N}$ – «пространственные» белые шумы; $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$, $G_{\tilde{c}}$ – интенсивность «пространственных» шумов бассейна.

Решения, аналогичные соотношению (1), можно получить и для старших моментов. Редукционные кривые есть, по существу, графические изображения подобных решений. Такие кривые построены по материалам работы [5] на основе наблюдений на 5595 гидростворах СССР. Они могут, в частности, служить для определения репрезентативной площади $F_{\text{репр}}$ [4].

При площадях $F_{\text{ин}} = F_{\text{репр}}$ ($F_{\text{ин}}$ – «инерционный» параметр «пространственной релаксации», т. е. площадь водосбора, на которой бассейн начинает адекватно реагировать на внешние воздействия, где перестают проявляться азональные факторы формирования стока) «переходные» процессы практически затухают и норма модуля стока определяется не азональными факторами (которые формируют «начальное» условие $\bar{q}_0$), а зональными (в основном нормой осадков и коэффициентами стока):

$$\bar{q} = (\bar{N} - 0,5G_{\tilde{c}\tilde{N}}) / (\bar{c} - 0,5G_{\tilde{c}}). \quad (2)$$

При нормальном распределении ($G_{\tilde{c}} = 0$, $G_{\tilde{c}\tilde{N}} = 0$) приходим к обычно используемой в гидрологии формуле вычисления коэффициента стока: $k = \bar{q} / \bar{X}$ (здесь $\bar{X}$ – норма модуля осадков) [4].

В рамках частично инфинитной гидрологии [4] существуют возможности моделировать и прогнозировать статистически неустойчивые процессы путем расширения фазовых пространств изучаемых систем. Размерность фазового пространства соответствует числу фазовых переменных x_n [а значит, числу дифференциальных уравнений первого порядка и, следовательно, размерности n распределений $p(x_1, \dots, x_n)$], которые надо применять для устойчивого прогнозирования.

Судя по зависимостям (1, 2), в осредненном смысле зональное поле более или менее устойчиво, хотя полной «равновесности» по коэффициентам вариации C_v и асимметрии C_s нет: $\partial C_v / \partial F \neq 0$, $\partial C_s / \partial F \neq 0$. Поле в современном понимании – это (по определению) распределение по площади трех начальных моментов, из которых следуют расчетные характеристики. Наиболее устойчивая из них – норма стока.

Фрактальная диагностика позволяет установить, сколько фазовых переменных участвуют в формировании стока. Ее суть сводится к тому, что по наблюдениям за одной (доступной измерению) фазовой переменной (расходу, в нашем случае) можно судить о числе реальных «участников» процесса формирования стока в речном бассейне. Если изучаемая система находится в процессе развития, то упомянутая выше размерность – дробная, а ближайшее, превосходящее ее целое число (так называемая размерность пространства вложения) указывает на размерность линейной системы дифференциальных уравнений, позволяющей устойчиво описывать процессы на речном бассейне (а значит, и делать устойчивые прогнозы). Методика фрактального диагностирования применительно к гидрологии описана в работах [4, 6]. Результаты ее применения для суточных расходов в летне-осенний период для рассматриваемой территории закартированы на рис. 2.

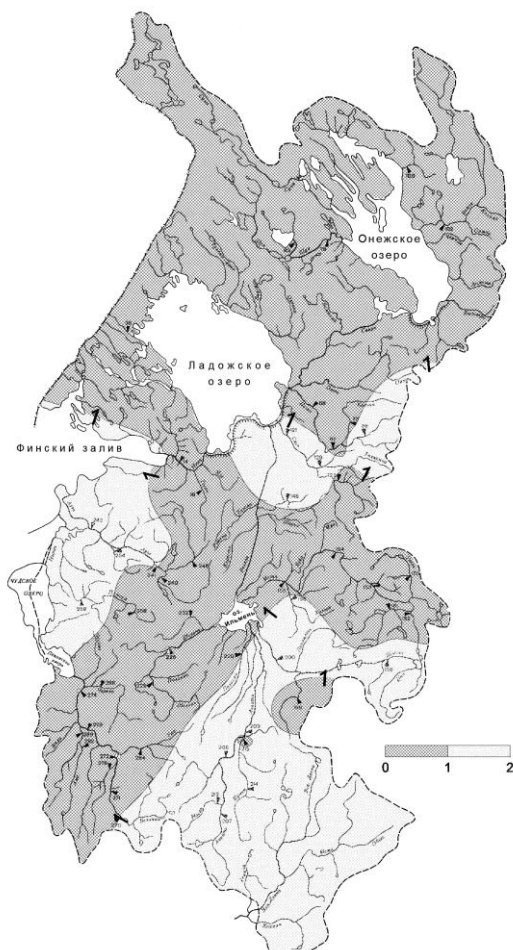


Рис. 2. Распределение размерности пространства вложения
(карта построена по рядам суточных расходов за летне-осенний период 1980 г.) [3]

Метод практического нахождения фрактальной размерности

С практической точки зрения проще всего определяется корреляционная размерность:

$$D = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln \left(\sum_{i=0}^{M(\varepsilon)} P_i^2 \right)}{\ln \varepsilon}. \quad (3)$$

Величина P_i – это вероятность попадания точки в i -ю ячейку размером ε ; P_i^2 – вероятность попадания в эту ячейку двух точек; $\sum_{i=0}^{M(\varepsilon)} P_i^2$ – вероятность того, что две произвольные точки лежат внутри ячейки размером ε . Эта сумма есть следующий парный корреляционный интеграл:

$$C(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i>j} \Theta(\varepsilon - |\vec{r}_i - \vec{r}_j|) \approx \frac{N^2(\varepsilon)}{N^2}, \quad (4)$$

где $(\vec{r}_i - \vec{r}_j)$ – расстояние между парами точек ij на траектории $\vec{r}$ рассматриваемой динамической системы (здесь $\Theta = 1$, если $\varepsilon - |\vec{r}_i - \vec{r}_j| \geq 0$; $\Theta = 0$, если $\varepsilon - |\vec{r}_i - \vec{r}_j| < 0$). Таким образом, из (3) следует, что $C(\varepsilon) = \varepsilon^{D_2}$ или (обозначим $D = d$)

$$d = \ln C(\varepsilon) / \ln(\varepsilon). \quad (5)$$

При использовании этого метода применяется так называемое псевдофазовое пространство. Дело в том, что при изучении той или иной системы обычно неизвестно, сколько фазовых переменных ее описывают. В случае речного бассейна, например, обычно известен только ряд наблюдений за расходом $Q(t)$. Оказывается, что можно построить ряды $Q(t + \tau)$, $Q(t + 2\tau)$, ..., позволяющие, в определенном смысле, получить аналог фазового пространства (рис. 3).

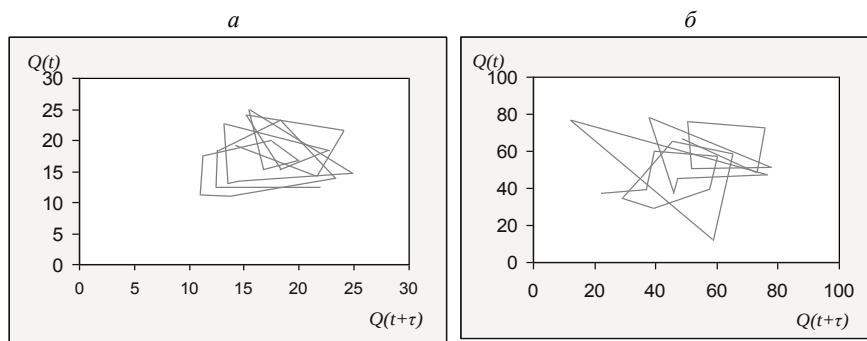


Рис. 3. Пример фазовых портретов, представляющих в двумерном пространстве эволюцию гидрологического режима за несколько десятилетий: а – р. Капша – д. Ерёмина Гора (1955–1980 гг., $F_{\text{басс}} = 1560 \text{ км}^2$); б – р. Сясь – д. Яхново (1955–1980 гг., $F_{\text{басс}} = 6230 \text{ км}^2$)

Из изложенного вытекает следующий алгоритм [6]:

1. Опираясь на заданный ряд расходов, строится функция для возрастающих значений размерностей фазового пространства n (рис. 4, а).
2. Определяется «наклон» d и строится зависимость $d = f(n)$ (рис. 4, б).
3. По полученной характеристике аттрактора (чаще всего это дробное число) делается вывод о фазовом пространстве вложения, т. е. о количестве необходимых дифференциальных уравнений первого порядка для описания формирования стока.

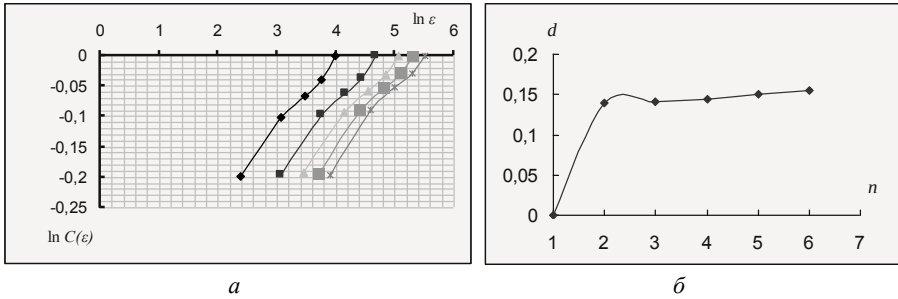


Рис. 4. Примеры зависимостей $\ln C(\varepsilon) = f(\ln \varepsilon)$ (а) и $d = f(n)$ (б) на гидрологическом аттракторе р. Плюсса – д. Плюсса

С помощью фрактальной диагностики были получены фрактальные размерности по осредненным в многолетнем разрезе суточным значениям расхода речного стока. На их основе были впервые построены зависимости фрактальной размерности рядов речного стока (d) от площадей водосборов (F) по данным 50 станций (табл. 2), расположенных на территории Северо-Западного региона, для летне-осенней межени (периода май–октябрь) и для периода ледовых явлений.

Таблица 2

Рассчитанные фрактальные размерности для различных периодов

Река – пункт	Ср. мн. d	Размер пр. вложения	Суточн. d (период май–октябрь)	Суточн. d (период ледовых явлений)	F , км ²
1	2	3	4	5	6
Нева – д. Новосаратовка	0,99	1	0,78	—*	—
Тосно – ст. Тосно	1,99	2	0,10	0,59	1300
Паша – д. Поречье	0,77	1	0,13	—	1110
Паша – ниже д. Дуброво	1,51	2	0,15	—	3910
Паша – с. Часовенское	0,70	1	0,15	0,44	5710
Капша – д. Еремина Гора	0,75	1	0,13	—	1560
Шуя – д. Бесовец	1,37	2	0,27	—	9560
Сяньга – Чурахалта	1,38	2	0,72	1,09	1610
Пяльма – д. Пяльма	0,92	1	0,14	—	908
Водла – д. Харловская	1,22	2	0,25	0,70	12000
Сясь – д. Яхново	1,40	2	0,14	0,64	6230
Воложба – д. Воложба	1,15	2	0,16	—	1330
Тихвинка – д. Горелуха	2,19	3	0,14	0,63	2070
Пчевжа – д. Белая	0,56	1	0,14	—	1690

1	2	3	4	5	6
Мста – с. Березовский Рядок	0,59	1	0,23	–	5180
Мста – пос. Потерпелицы	0,60	1	0,20	0,48	13200
Мста – с. Бор	1,14	2	0,19	–	16900
Мста – д. Девкино	0,58	1	0,18	–	22500
Шлина – д. Годыши	0,69	1	0,17	0,78	1620
Березайка – д. Устье	1,51	2	0,52	0,24	3030
Уверь – д. Меглецы	1,10	2	0,21	–	1750
Холово – л. Горбуново	0,54	1	0,19	0,72	1500
Пола – д. Новый Новосел	0,90	1	0,20	0,41	1900
Пола – д. Налючи	1,37	2	0,19	–	6740
Ловать – г. Великие Луки	1,92	2	0,23	0,24	3270
Ловать – д. Сельцо	0,64	1	0,20	–	8230
Ловать – г. Холм	0,64	1	0,20	–	14700
Насва – д. Гороховые	0,68	1	0,22	–	1080
Кунья – д. Уварово	1,35	2	0,32	–	2480
Кунья – г. Холм	1,03	2	0,16	–	5140
Полисть – д. Подтополье	1,37	2	0,30	–	2150
Шелонь – г. Порхов	–	–	0,20	0,12	2950
Шелонь – д. Заполье	1,32	2	0,16	–	6820
Мшага – д. Раглицы	1,32	2	0,13	–	1250
Луга – д. Луга	1,77	2	0,19	–	2330
Луга – ст. Толмачево	0,97	1	0,18	–	6350
Луга – г. Кингисепп	0,54	1	0,15	0,54	12800
Оредеж – д. Моровино	1,41	2	0,16	–	3060
Саба – д. Райково	0,48	1	0,16	0,82	1280
Плюсса – с. Плюсса	1,03	2	0,14	–	1440
Плюсса – д. Брод	2,22	3	0,11	0,42	5090
Великая – д. Мельница	1,04	2	0,27	–	2960
Великая – г. Опочка	0,61	1	0,24	–	3500
Великая – д. Селихново	1,05	2	0,17	–	6350
Великая – д. Гуйтово	1,35	2	0,20	–	13400
Великая – д. Пятоново	1,97	2	0,18	0,26	20000
Исса – д. Визги	2,00	3	0,21	0,17	1410
Сороть – д. Осинкино	1,89	2	0,18	–	3170
Утроя – д. Большая Губа	0,63	1	0,16	–	2970
Лжа – д. Ваньково	1,33	2	0,11	0,27	1560
Череха – д. Сорокина			0,18	–	2330

Примечания: * – прочерк «–» означает, что для данных станций технология фрактальной диагностики не выдавала каких-то определенных данных, что, однако, не связано с эффективностью методики, скорее с недостаточностью данных или неточностью определения рассматриваемого периода.

Анализ полученных результатов

Вид полученных графиков зависимостей фрактальной размерности от площадей водосборов (рис. 5) говорит о явном сходстве с редукционными кривыми (рис. 1). Наличествует пучок точек в зоне малых площадей. Такой большой разброс значений фрактальных размерностей связан с азональностью малых водо-

сборов. При малых площадях большее влияние на сток начинают оказывать испарение, подземные воды, что согласно частично инфинитной гидрологии [5] вызывает увеличение значения фрактальной размерности, вплоть до увеличения размерности пространства вложения. С увеличением площади график выравнивается, и можно видеть достаточно явно выраженную область стабильных значений после превышения значений площадей в 5000 км^2 .

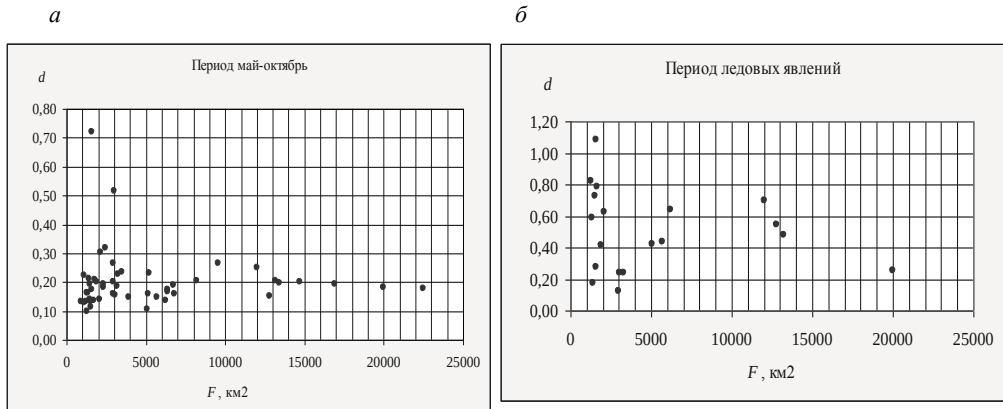


Рис. 5. Графики зависимостей фрактальной размерности от площадей водосборов для летне-осенней межени (период май–октябрь) (а), и для периода ледовых явлений (б)

Наиболее характерный график мы можем наблюдать для периода мая–октября. Для периода ледовых явлений график не столь характерный, однако и тут можно наблюдать скопление точек в области малых площадей, хотя это может быть вызвано и малым числом рассчитанных случаев.

Также была построена зависимость значений фрактальной размерности среднегодовых многолетних значений речного стока от площадей водосборов (рис. 6).

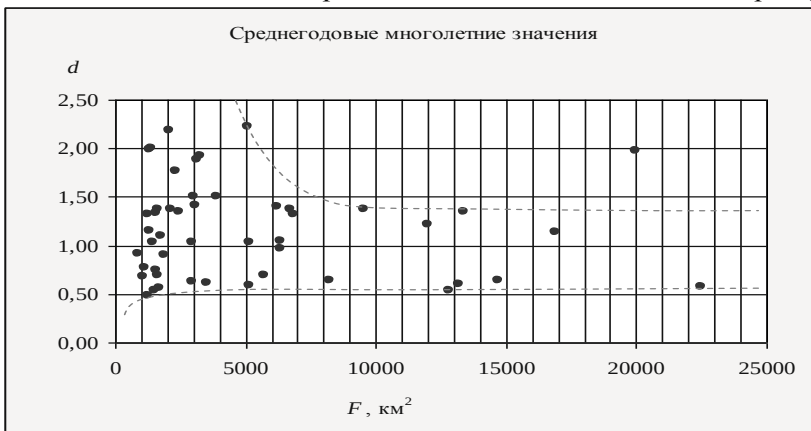


Рис. 6. График зависимости среднегодовых многолетних значений фрактальной размерности $d = f(n)$ от площадей водосборов для 50 станций Северо-западного региона России

График отдаленно схож с редукционными кривыми: наличествует пучок точек в области малых площадей водосборов, однако нет ярко выраженной «устойчивой» прямой в области, так называемых, репрезентативных площадей. Сильно уходит вверх точка, относящаяся к реке Великой к посту Пятоново ($d = 1,99$ при $F = 20\,000\text{ км}^2$). Такая ситуация может быть связана с тем, что данная река достаточно зарегулирована – две плотины, две полуразрушенные и две действующие ГЭС. Такая зарегулированность может выражаться в том, что сток будет характеризоваться не только «осадковой» составляющей, но и фактором регулирования, что подтверждается фрактальной диагностикой для данной станции (1,99). Это говорит о том, что данный водосбор для устойчивого прогнозирования стока должен описываться моделью второго порядка или системой из двух дифференциальных уравнений.

Исследования частично финансировались Министерством образования и науки Российской Федерации (№ гранта 5.3400.2011). Зависимости фрактальной размерности от площади водосбора получены совместно с к.т.н. Е.В. Гайдуковой.

Выводы

Построены графики зависимостей фрактальных размерностей речного стока от площадей водосборов. Проведен сравнительный анализ данных графиков. В целом, исследование показало сходство полученных графиков с редукционными кривыми.

На основании рассчитанных фрактальных размерностей можно сказать, что для надежных краткосрочных прогнозов для периода май–октябрь по большинству изученных станций можно использовать одно дифференциальное уравнение первого порядка. Только на одной станции при расчетах периода ледовых явлений фрактальная размерность вышла за размерность пространства вложения равной единице и требует привлечения второй фазовой переменной для проведения прогнозирования.

Если рассматривать фрактальные размерности, построенные на основе среднегодовых многолетних значений речного стока, то фрактальная диагностика показывает, что во многих случаях для устойчивого прогнозирования часто достаточно ограничиться системой из двух дифференциальных уравнений первого порядка. Для этого можно расширить модель, включив испарение, либо вводить в модель учет времени добегания подземной составляющей формирования речного стока (двухъёмкостная модель [4]), либо же вводить нелинейность в модель.

Литература

1. Коваленко В.В. Нелокальная гидрология. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 97 с.
2. Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Громова М. Н., Девятков В. С., Хамлиги А. Диагностирование неустойчивости формирования и фрактальной размерности многолетних рядов летне-осенней межени Восточной Сибири методами частично инфинитной гидрологии // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 30–39.

3. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Девятков В.С. Фоновое прогнозирование процесса формирования суточных вероятностных стоковых характеристик / Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 18, с. 10–20.
4. Коваленко В. В. Частично инфинитная гидрология. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 230 с.
5. *Пространственно-временные колебания стока рек СССР* / Под. ред. А. В. Рождественского. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 376 с.
6. Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В. Моделирование гидрологических процессов. Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 559 с.
7. Коваленко В. В. Частично инфинитный механизм турбулизации природных и социальных процессов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 166 с.

С.Д. Винников, Ю.В. Шарина

РАСЧЕТ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ВОДЫ В РЕКЕ

S.D. Vinnikov, Y.V. Sharina

CALCULATION OF THE UNSTEADY FLOW OF WATER IN THE RIVER

Уточняется запись гидродинамического уравнения системы Сен-Венана. Выполняется пример расчета одномерного неустановившегося движения потока воды в канале с использованием уточненного уравнения.

Ключевые слова: неустановившийся поток, уравнения Сен-Венана, расчёт неустановившегося потока.

The record of Saint-Venant's hydrodynamical equation is specified here. An improved equation is used for an example of calculating one-dimensional unsteady flow regime of water in a canal.

Key words: unsteady flow, the Saint-Venant's equations, the calculation of unsteady flow.

Введение

В настоящее время разработанные методы расчета неустановившегося движения потока в реке или канале, в основе которых лежат уравнения системы Сен-Венана (гидродинамическое уравнение движения и уравнение неразрывности), являются приближенными. Это обусловлено исключением из рассмотрения одного из слагаемых гидродинамического уравнения, учитывающих силу инерции. При полном исключении этих слагаемых приходим к уравнению Шези, описывающему равномерное движение. Но рассматриваемое движение, как нам известно, не является таковым. Следовательно, при решении задачи о неустановившемся движении потока упрощать гидродинамическое уравнение упомянутой системы не следует.

Исследование обозначенной проблемы привело авторов настоящей работы к уточнению написания этого уравнения, что, в свою очередь, позволило осуществить его использование без упрощения. Перейдём к обоснованию гидродинамического уравнения Сен-Венана в новой его записи.

Вывод гидродинамического уравнения движения жидкости Сен-Венана в новой его записи

Запишем следующее уравнение баланса сил в случае неустановившегося движения потока в реке (канале) при одномерной задаче, в котором слагаемые являются проекциями сил на ось x :

$$P = F + T_p, \quad (1)$$

где P – сила тяжести, действующая на воду массой m ; F – сила инерции этой массы; T_p – сила трения потока воды о дно и берега реки при его равномерном движении. Силой трения потока жидкости о воздух атмосферы в (1) пренебрегаем.

Выразим слагаемые в (1) по соответствующим формулам:

$$P = mgI, \quad (2)$$

$$F = ma = m \frac{dv_v}{dt} = m \left(\frac{\partial v_v}{\partial t} + v_v \frac{\partial v_v}{\partial x} \right), \quad (3)$$

$$T_p = mgi_p = mg \frac{v_p^2}{C^2 H}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения; I и i_p – уклон свободной водной поверхности потока при неустановившемся и равномерном его движениях; $a = \frac{dv_v}{dt}$ – полное ускорение (локальное и конвективное) движения жидкости; v_v и v_p – дополнительная скорость потока при неустановившемся и скорость потока при равномерном его движениях; C – коэффициент Шези; H – глубина потока. Дополнительная скорость потока v_v – это разность полной скорости потока v , наблюдающейся при неустановившемся движении, и скорости v_p , наблюдающейся при его равномерном движении при одной и той же глубине потока H_k (рис. 1):

$$v_v = \pm(v_{п,с} - v_p),$$

где $v_{п}$ и $v_{с}$ – скорости потока при подъеме и спаде уровня воды. Если $v_v \rightarrow 0$, то окажемся на кривой равномерного движения потока 1.

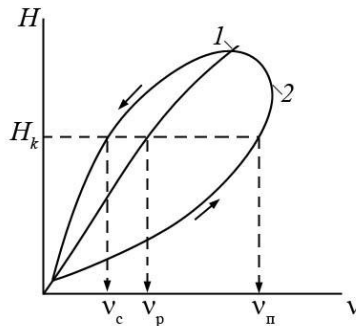


Рис. 1. Кривые средней скорости в створе реки при равномерном (1) и неустановившемся (2) движениях потока воды; $v_{п}$ и $v_{с}$ – скорости потока при подъеме и спаде уровня воды в реке; v_p – скорость потока при его равномерном движении

Отметим здесь, что, используя уникальные измерения гидравлических характеристик, выполненных Государственным гидрологическим институтом на р. Тверце при попусках из Новотверецкого водохранилища [3], нам удалось [1] установить эмпирическую зависимость дополнительной скорости v_v с уклоном водной поверхности потока:

$$v_v = \alpha_{п,с} i_p \Delta I, \quad (5)$$

где $\alpha_{п} = 1,3 \cdot 10^7$ м/с и $\alpha_{с} = 2,3 \cdot 10^7$ м/с – коэффициенты, применяемые при расчете скорости v_v для периода подъема и соответственно периода спада уровня воды при петлеобразной кривой скоростей; $\Delta I = I - i_p$ при глубине потока H_k .

Скорость v_v , обусловленная силой инерции, названа нами скоростью движения линии следования постоянной данной скорости течения воды в реке v и определяется она на графике $v = f(x, t)$ как тангенс угла наклона этой изолинии в створе на расстоянии x к оси времени t : $v_v = \frac{dx}{dt} = \operatorname{tg} \varphi$ (рис. 2) [5]. Она характеризует скорость перемещения выбранной скорости потока v вдоль оси x .

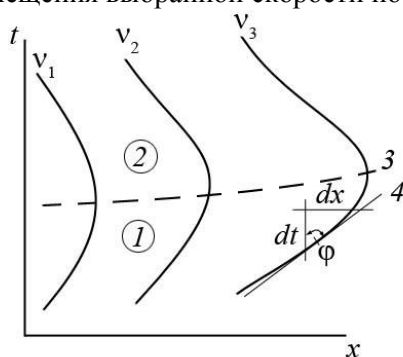


Рис. 2. Линии следования постоянной скорости течения воды в реке: $v_1, v_2 \dots v_i$; цифры 1 и 2 соответствуют периодам подъема и спада уровня воды в реке; 3 – линия, соединяющая точки перегиба изолиний скорости. В точках перегиба изолиний скорости касательная 4 к ним параллельна оси времени t , что соответствует наступлению равномерного движения потока

Если теперь решим совместно зависимости (1) – (4), то получим гидродинамическое уравнение движения жидкости в новой его записи, характеризующее кривую скоростей 2 на рис. 1:

$$I = \frac{1}{g} \frac{\partial v_v}{\partial t} + \frac{v_v}{g} \frac{\partial v_v}{\partial x} + \frac{v_p^2}{C^2 H}. \quad (6)$$

Перейдя в (6) к уклонам, получим:

$$I = \Delta I + i_p. \quad (7)$$

Выполнив анализ (7), приходим к выводу, что уклон I обуславливает скорость потока v , уклон i_p – скорость потока v_p , а разность этих уклонов $\Delta I \sim \Delta v = v - v_p = v_v$. То есть, дополнительная скорость v_v обусловлена силой, равной разности сил тяжести P и трения T_p , упомянутых выше. В связи с этим можем утверждать, что задача о неустановившемся движении воды в реке состоит из двух решений: 1) из решения определения скорости течения при равномерном движении потока v_p , определяемой через уклон дна реки, и 2) из решения определения скорости течения при неустановившемся движении потока v_v , определяемой через разность уклонов водной поверхности при неустановившемся и равномерном движениях воды в реке: $v = v_p \pm v_v$.

Присоединим к уравнению (6) уравнение неразрывности в виде

$$\frac{\partial z}{\partial t} + H \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial x} = 0, \quad (8)$$

в котором z – отметка поверхности воды в створе реки.

Теперь, учитывая, что $v = v_p + v_v$, преобразуем второе слагаемое в (8), тогда это уравнение примет вид:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = - \left[H \left(\frac{\partial v_p}{\partial x} + \frac{\partial v_v}{\partial x} \right) + v \frac{\partial H}{\partial x} \right]. \quad (9)$$

Совместное решение (6), (7) и (9) при исключении $\frac{\partial v_v}{\partial x}$ дает уравнение

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{H}{v_v} \frac{\partial v_v}{\partial t} - H \frac{\partial v_p}{\partial x} - \frac{Hg}{v_v} \Delta I - v \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (10)$$

позволяющее рассчитать отметки свободной поверхности потока воды в реке при его неустановившемся движении.

Исходные данные для расчета неустановившегося движения воды в прямолинейном канале

Так как расчет неустановившегося движения по уравнению (10) выполняется впервые, рассмотрим его для наиболее простого случая.

Расчет уровненного режима выполним для широкого прямолинейного канала длиной $L = 300$ км при уклоне дна $i = 0,1$ ‰ и коэффициенте шероховатости $n = 0,02$. Вычисления будем вести в расчете на 1 м ширины потока.

Начальные условия – отметки свободной поверхности при $t = 0$ зададим зависимостью

$$z = 100 - 0,0001x, \quad (11)$$

где x – расстояние от начального створа в метрах; 100 – отметка поверхности воды в начальном створе в метрах.

Из этой зависимости следует, что в начальный момент времени глубина потока H по всей длине постоянная ($H = H_0 = \text{const}$). Отсюда также следует, что уклоны дна и свободной поверхности положительны и равны между собой. Глубина в начальном створе принята равной $H_0 = 5$ м.

Граничные условия зададим соответственно в начальном и конечном сечениях участка канала:

1) суточным колебанием уровня воды в начальном створе по синусоиде вида:

$$z_0 = 100 - 2,25 \sin \frac{\pi}{12} t, \quad (12)$$

2) неизменным уровнем воды в конечном створе

$$z_L = \text{const}, \quad (13)$$

где z_0 и z_L – отметки свободной поверхности воды в начальном и конечном створах; t – время, ч.

Условие (13) означает, что глубина в конце канала во времени не меняется. Это может, например, соответствовать случаю впадения канала в водохранилище.

Конечно-разностная аппроксимация уравнения, описывающего трансформацию волны попуска

Для расчета трансформации волны попуска описываемой зависимостью (10) применим метод сеток. Для этого дифференциальное уравнение (10) заменим конечно-разностным уравнением, при этом учитывая, что $v_v = \Delta v = v - v_p$, тогда получим:

$$\Delta z = H \left(1 - \frac{\Delta v_p}{\Delta x} \Delta t - \frac{g}{v_v} \Delta I \Delta t - \frac{v}{H} \frac{\Delta H}{\Delta x} \Delta t \right), \quad (14)$$

где скорость при равномерном движении потока v_p будем определять по формуле Шези, а коэффициент Шези C – по формуле Маннинга; Δt – время, за которое происходит изменение скорости в гидростворе от значения v_p при равномерном движении до значения v при неустановившемся движении потока. Скорость перемещения v_v линии следования постоянной скорости течения v рекомендуется определять по формуле (5), полученной с использованием натуральных экспериментальных данных по р. Тверце.

Теперь запишем уравнение (14) для расчета по конечно-разностной схеме. Расчет будем вести по схеме «правый нижний уголок»:

$$z_{i,j+1} = z_{i,j} + H_{i,j} \left(1 - \frac{(v_{pi,j} - v_{pi-1,j}) \Delta t}{\Delta x} - \frac{g}{v_{vi,j}} \Delta I_{i,j} \Delta t - \frac{v_{i,j}}{H_{i,j}} \frac{(H_{i,j} - H_{i-1,j})}{\Delta x} \Delta t \right), \quad (15)$$

где Δx и Δt – шаги по длине потока и по времени.

Для устойчивости решения в случае отсутствия в уравнении (6) слагаемого, учитывающего силу трения, необходимо соблюдать соотношение шагов по времени и по продольной координате [5]:

$$\frac{v_v \Delta t}{\Delta x} \leq 1. \quad (16)$$

Для определения шагов в данном случае, когда учитывается в этом уравнении сила трения, используются в расчетах следующие формулы:

$$\Delta x = \frac{v_v^2}{g \Delta I}, \quad (17)$$

$$\Delta t = \frac{v_v}{g \Delta I} \quad (18)$$

или с учетом (5)

$$\Delta t = \frac{\alpha_{п,с} i_p}{g}. \quad (19)$$

Отметим, что совместное решение (17) и (18) приводит к условию (16).

Выражения (17) и (18), предназначенные для определения шагов Δx и Δt , относительно приближённые. Это мы увидим, если решим (6) с учётом (5) и (7) относительно шагов Δx или Δt , например, относительно шага по времени:

$$\Delta t = \frac{\alpha_{п,с} i_p \Delta I}{g \Delta I - v_v \frac{\partial v_v}{\partial x}}. \quad (20)$$

Исключив в (20) второе слагаемое в знаменателе, как пренебрежимо малую величину, придём к выражению (19).

Разработка программы для расчета неустановившегося движения воды в прямолинейном канале*

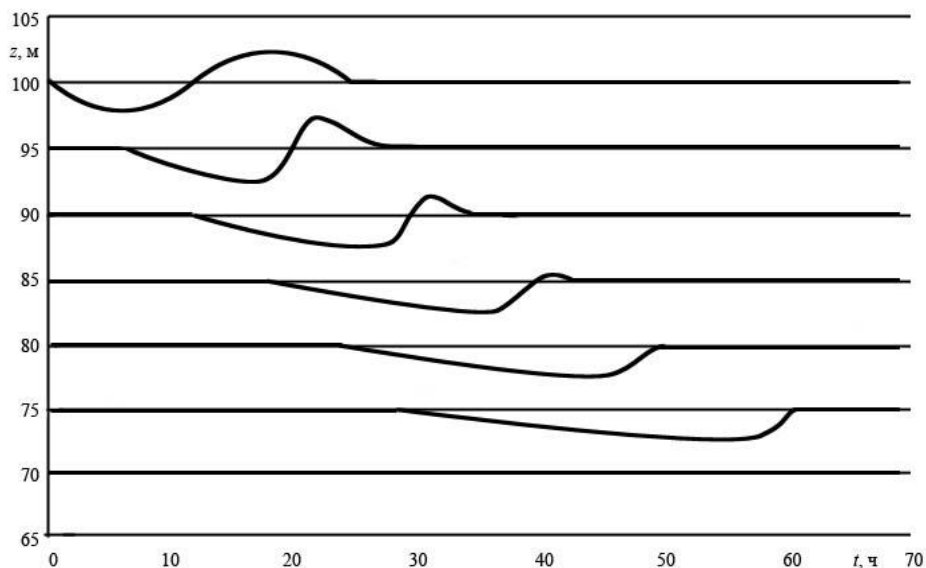
Программа для расчета по уравнению (15) разработана нами с использованием языка C++.

С целью перевода математического языка на язык машины был разработан алгоритм, в котором отображены шаги (17) и (18), необходимые для расчета по этому уравнению.

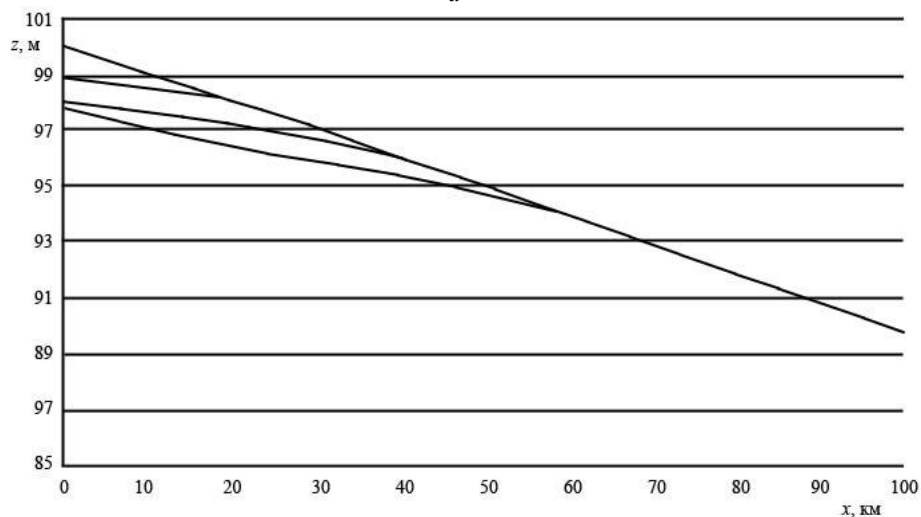
Для расчетов по уравнению (15) величина шага по длине была принята равной 1000 м, согласно (15) и (16). Из предварительных расчетов по формуле (19) стало известно, что величина шага по времени Δt в нашем случае принимает значение 0,0651 ч (3,91 мин).

* Авторы выражают благодарность доценту кафедры гидрофизики и гидропрогнозов университета Е. В. Гайдуковой за оказанную помощь в разработке программы данной задачи.

Результаты расчета представлены на рис. 3 ходом уровня воды во времени в различных створах канала и продольными профилями водной поверхности в различные моменты времени. По графикам можно проследить распастьвание волны попуска.



a



б

Рис. 3. Ход уровня воды в створах канала, расположенных на расстояниях $x = 0, 50, 100, 150, 200, 250$ км (*a*); отметки уровня воды по длине потока в период его спада (первые 6 ч эксперимента: 0, 2, 4, 6 ч) (*б*)

Таким образом, выполненные исследования показали, что гидродинамическое уравнение Сен-Венана в новом варианте записи может применяться для расчета неустановившегося движения воды в открытых потоках.

Насколько точны результаты расчета в связи с уточнением слагаемых уравнения говорить еще рано, так как метод необходимо еще совершенствовать, а сами расчеты – проверить на натурном материале. В частности, в расчетных уравнениях как старой, так и новой записи необходимо оперировать не с уклоном водной поверхности I , при котором завышается сила тяжести, а с уклоном

$$I_{\text{ср}} = \frac{I + i_{\text{д}}}{2}, \text{ где уклон дна } i_{\text{д}} = i_{\text{р}}.$$

Итак, преимущество предлагаемого метода расчета неустановившегося движения воды в реке по сравнению с существующими методами является то, что в гидродинамическом уравнении в новой его записи учитываются оба ускорения – локальное и конвективное, в то время как в других методах одним из них, а иногда даже слагаемым, учитывающим сопротивление дна реки потоку, пренебрегают [2, 4 и др.].

Литература

1. Винников С. Д. Некоторые аспекты речной гидравлики // Уч. зап. РГГМУ, 2007, № 4, с. 67-76.
2. Грушевский М. С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 288 с.
3. Исследование неустановившегося движения воды на реках Тверце и Оредеж / Под ред. Н.Е. Кондратьева, В. А. Урываева. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 288 с.
4. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 143 с.
5. Турчак Л. И., Плотников П. В. Основы численных методов. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.

Е. В. Шевнина

**ДОСТОВЕРНОСТЬ МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОЙ ОЦЕНКИ
СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО
СТОКА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

E. V. Shevnina

**ASSESSMENT OF THE LONG-TERM FORECASTING
METHODOLOGY FOR PROBABILISTIC CHARACTERISTICS
OF THE SPRING FLOOD FLOWS FOR RUSSIAN ARCTIC**

Проведен сбор и анализ гидрометеорологической информации в пределах водно-ресурсной границы Российской Арктики. Выполнена параметризация модели формирования стока весеннего половодья и получены оценки достоверности результатов ретроспективных прогнозов кривых плотности вероятности при различных вариантах задания параметров. Получены региональные зависимости параметров модели от климатических факторов.

Ключевые слова: методика долгосрочной оценки, слой стока весеннего половодья, параметризация, изменение климата, Российская Арктика.

The historical hydro-meteorological data within the water resource boundary of the Russian Arctic has been collected and analyzed. The parameterization of stochastic model has been conducted. The forecast norm, variation and skewness coefficients for maximum spring flood have been estimated. The retrospective probability forecast has been obtained using Kolmogorov criteria.

Key words: stochastic model of maximal spring flow, parameterization of model, climate change, Russian Arctic.

Введение

В настоящее время существует методика долгосрочной оценки статистических характеристик основных видов водного стока с учетом климатических изменений. Эта методика основана на использовании уравнения Фокера–Планка–Колмогорова в виде системы уравнений для статистических моментов вероятностных распределений многолетнего стока (годового, максимального и минимального) [3, 4, 5, 6].

В систему уравнений для моментов входят параметры, численные значения которых определяются зависимостями от существующих и/или прогнозируемых климатических характеристик (температуры воздуха и/или осадков). Последние получают из климатических сценариев, см., например, [13].

Достоверность результатов, получаемых с применением такой методики, оценивается на ретроспективном материале с использованием многолетних рядов стока, в которых наблюдаются периоды различной водности [3]. Эти периоды выделяются на основе статистически значимых отклонений первого статистического момента (нормы), идентифицируемых по критерию Стьюдента.

В настоящее время получены оценки достоверности результатов долгосрочного прогнозирования статистических характеристик годового и минимального стока для территории Европейской части России [1, 3]. Целью настоящей работы является оценка качества методики для долгосрочных прогнозов статистических характеристик слоя стока весеннего половодья применительно к арктическому региону.

В работе проведен сбор и анализ гидрометеорологической информации в пределах водно-ресурсной границы Российской Арктики, выбраны ряды стока весеннего половодья, где наблюдались периоды различной водности, проведена параметризация модели и даны условные прогнозы начальных моментов распределений максимального стока для различных вариантов задания параметров. Условные прогнозные кривые распределения получены по трем начальным моментам в рамках кривых распределения Пирсона III типа. Для оценки их отклонений от фактических распределений плотности вероятности использовался критерий Колмогорова.

Исходные данные и методика исследования

Для решения задачи выделения периодов различной водности использовались данные наблюдений за стоком весеннего половодья на 57 гидрологических постах, расположенных на территории, ограниченной водно-ресурсной экологической границей Российской Арктики [2]. Данные опубликованы в изданиях Государственного Водного Кадастра (ГВК) «Основные гидрологические характеристики» и «Многолетние данные о ресурсах поверхностных вод» за период с начала наблюдений по 1980 г. Кроме того, на основе ежедневных расходов воды за период апрель-сентябрь на 37 гидрологических пунктах, опубликованных в изданиях ГВК («Гидрологический ежегодник») получены ряды слоя стока за период 1981–2008 гг. Расчет слоя стока весеннего половодья (т.е. удлинение рядов) проводился с соблюдением требований Методических рекомендаций [7].

Ряды многолетних характеристик были проверены на однородность согласно рекомендациям [8, 10] с использованием критериев Стьюдента, Фишера и Колмогорова-Смирнова. Из дальнейшего рассмотрения были исключены ряды, где в последние десятилетия наблюдаются статистически значимые изменения начальных моментов вероятностных распределений [12]. Выделение периодов различной водности проводилось на основе методики, изложенной в работе [8], с использованием критерия Стьюдента в качестве метрики различий норм стока в многолетнем ряду. Значимыми приняты различия норм (при смене маловодного/многоводного периода на многоводный/маловодный) на 10 %-ном уровне значимости.

Для оценки нормы годовых осадков, которые входят в качестве внешнего воздействия в модель формирования стока весеннего половодья, собраны данные наблюдений на 33 метеостанциях, расположенных в бассейнах исследуемых рек [11, 15, 16]. Для каждого водосбора рассчитаны нормы годовых осад-

ков для выделенных периодов водности. Расположение гидрометеорологических постов, данные которых использовались в исследовании представлено, на рис. 1.

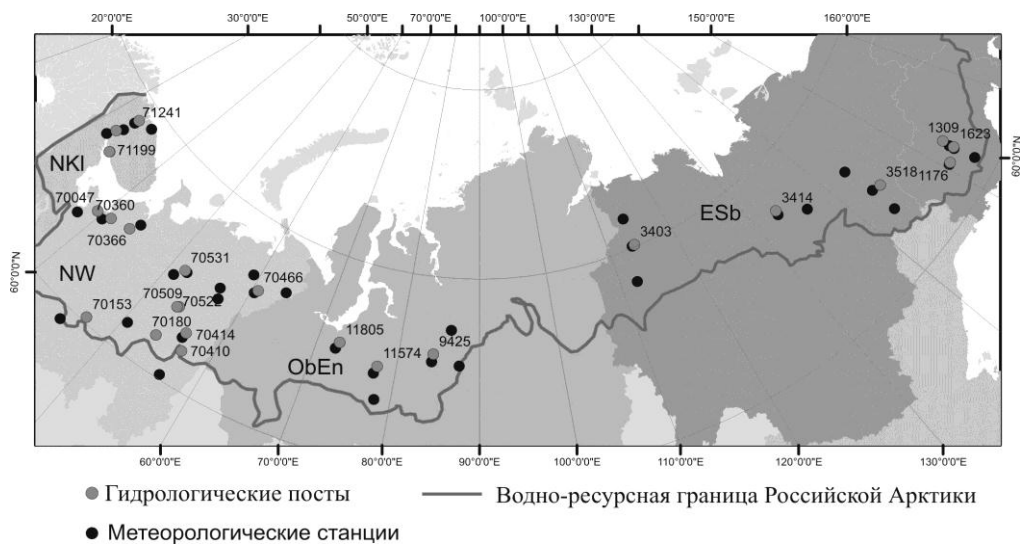


Рис. 1. Расположение гидрометеорологических станций и постов в пределах водно-ресурсной границы Арктики (подрайоны: NKI – Кольский п-ов и Карелия, NW – Северный Край, ObEn – Обь-Енисейский район, Esb – Восточная Сибирь)

Математическим ядром (моделью) упрощенной методики долгосрочной оценки изменений статистических характеристик стока является система уравнений для двух начальных моментов вероятностных распределений [5]:

$$\begin{aligned} -\bar{c}m_1 + \bar{N} &= 0; \\ -2\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\bar{N}} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\bar{c} = 1/k\tau$ – математическое ожидание величины обратно пропорциональной коэффициенту стока ($\tau = 1$, поскольку процесс относится к марковскому типу); $\bar{N} = \bar{X}$ – математическое ожидание интенсивности внешнего воздействия (осадков); $G_{\bar{N}}$ – случайная составляющая интенсивности внешних воздействий (осадков); m_1 и m_2 – выборочные оценки первого и второго моментов распределений рядов стока весеннего половодья. Третий момент оценивается по соотношению Cs/Cv (коэффициентов асимметрии и вариации).

Условные прогнозы первых двух моментов распределений выполнены с использованием системы (1) на ретроспективном материале с различным периодом водности для нескольких вариантов задания параметра σ (табл. 1). Принято, что соотношение Cs/Cv остается неизменным. Определение моментов теоретических распределений, аппроксимирующих эмпирические данные, осуществлялось методом L-моментов в рамках кривых Пирсона III типа [14].

Таблица 1

Варианты задания параметров в системе уравнения для моментов

№	Параметры	Описание задания параметров на условно-прогнозный интервал времени
I ^{a b}	$\bar{c} = \bar{N} / m_1, G_{\bar{N}} = \text{const}$	$a - \bar{c}$ не меняется; $b - \bar{c}$ задается по фактическим данным
II	$\bar{c} = \bar{N} / m_1$ $G_{\bar{N}} = 43,754 \bar{N}^{0,9036}$	$\bar{c}$ не меняется, $G_{\bar{N}}$ меняется по эмпирической зависимости
III ^{a b}	$\bar{c} = 1 / \{1 - \text{th}[(300 + 25 \bar{T} + 0,05 \bar{T}^3) / \bar{N}]\}$ $G_{\bar{N}} = \text{const}$	$\bar{c}$ определяется формулами Багрова и Тюрка ($\bar{T}$ – норма температуры воздуха) (a – используется переходной коэффициент, связывающий фактическое и расчетное значение $\bar{c}$; b – переходной коэффициент не используется)
IV	$\bar{c} = f(\bar{N}, \bar{T}), G_{\bar{N}} = \text{const}$	$\bar{c}$ определяется региональными эмпирическими формулами

Региональные эмпирические зависимости представлены в виде уравнений множественной линейной регрессии, параметры которых оценивались по фактическим данным о выборочных нормах осадков ($\bar{N}$) и температуры воздуха ($\bar{T}$).

Алгоритм оценки достоверности методики долгосрочного прогнозирования статистических характеристик слоя стока весеннего половодья следующий: для маловодного периода водности по известным трем начальным моментам распределений рассчитывались численные значения параметров модели, а по многоводному периоду – выпускались условные прогнозные начальные моменты, по которым строились кривые обеспеченности (в рамках распределения Пирсона). Они сравнивались с фактическими, их соответствие оценивалось по критерию согласия Колмогорова [3]. Для прогнозирования с многоводного периода на маловодный проводилась такая же процедура. Всего было выпущено 46 условных прогнозов статистических характеристик стока весеннего половодья для каждого варианта задания параметров модели (системы уравнений для моментов).

Результаты и их обсуждение

Многолетние ряды слоя стока весеннего половодья на 76 гидрологических постах использовались для решения задачи выделения различных периодов водности. При этом удлинённых рядов (с начала наблюдений до 2002 г.) было 19, а коротких (с начала наблюдений по 1980 г.) – 57. Периоды различной водности наблюдались в 47 % удлинённых рядов и в 25 % – для рядов с данными до 1980 г. Общее число рядов, где наблюдались периоды различной водности, составило 23, т.е. 30 % от общего числа.

По данным репрезентативных метеостанций для каждого водосбора получены нормы годовых осадков, соответствующие периодам различной водности. Выборочные оценки нормы слоя стока весеннего половодья, продолжительность маловодных и многоводных периодов и нормы осадков репрезентативных метеостанций представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Статистические характеристики выделенных периодов водности
и изменчивость нормы осадков на водосборах Российской Арктики**

Код поста	Река – пост	Маловодный период			Многоводный период		
		Годы	Норма слоя стока, мм	Норма осадков, мм	Годы	Норма слоя стока, мм	Норма осадков, мм
03403	Куонапка – Джалинда	1943-84	98	255	1985-2002	116	262
03414	Яна – Верхоянск	1935-65	41	177	1966-2002	52	178
03518	Нера – Ала Чубук	1944-85	67	227	1986-2002	85	222
01176	Бохапча – 5,4 км от устья	1934-49	111	421	1950-80	141	435
01309	Сеймчан – 2,1 км выше устья р. Чапав	1957-77	157	305	1941-56	190	273
01623	Средникан – Средникан	1935-50	148	426	1951-80	180	431
09425	Турухан – Янов стан	1941-70	232	491	1971-99	256	494
11574	Пяку-Пур – Тарко-Сале	1954-1970	133	482	1971-2001	162	514
11805	Надым – Надым	1975-91	142	471	1955-74	162	490
70410	Печора – Якша	1930-93	276	564	1914-29	302	516
70414	Печора – Троицко-Печорское	1938-56	250	490	1957-80	278	601
70047	Солза – Сухие Пороги	1959-80	155	552	1928-58	190	525
70153	Юг – Подосиновец	1931-45	126	575	1946-80	144	591
70180	Вычегда – М. Кужба	1930-56	147	491	1957-80	167	550
70360	Лодьма – Коровкинская	1959-77	174	546	1939-58	219	533
70366	Кулой – Кулой	1959-80	110	446	1927-58	134	467
70466	Уса – Петрунь	1936-56	374	483	1957-80	432	558
70509	Ижма – Усть-Ухта	1948-80	162	534	1933-47	189	465
70531	Пижма – Боровая	1937-63	129	486	1964-80	150	552
70522	Ухта – Ухта	1950-80	144	535	1934-49	170	473
71104	Кола – 1429 км Октябрьской ж.д.	1928-53	182	350	1954-94	203	459
71199	Умба – Паялка	1959-94	149	475	1931-58	180	414
71241	Ена – 15,5 км от устья	1934-48	100	451	1949-80	129	557

Для каждого из периода водности были рассчитаны выборочные значения трех начальных моментов распределений слоя стока весеннего половодья [9]. Относительные погрешности расчета нормы стока и коэффициентов вариации составили в среднем 6 и 16 %, соответственно. Относительные погрешности коэффициента вариации значительны вследствие малых объемов выборок.

Для получения региональных зависимостей для задания параметров модели (системы уравнений для моментов) в варианте IV использовались как статистические характеристики слоя стока весеннего половодья, осадков и температуры воздуха по периодам водности, так и многолетние ряды. Все зависимости являются линейными уравнениями вида:

$$Y = \sum a_i X_i + b,$$

где Y – параметр $1/\bar{c}$ в системе (1); X_i – климатические характеристики (осадки и температура воздуха); a_i и b – коэффициенты зависимости. В табл. 3 представлены региональные зависимости и описаны условия их получения.

Таблица 3

Региональные зависимости расчета параметра $1/\bar{c}$ в системе (1)

№	Регион*	R**	X_i	a_i	b	Примечания об исходных данных
1	ObEn, ESb	0,85	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0010 0,0622	1,461	По маловодным периодам
2	ObEn, ESb	0,4	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0005 0,0510	1,210	По многоводным периодам
3	NKl, NW	0,63	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0005 -0,0614	0,570	По маловодным периодам
4	NKl, NW	0,59	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0002 -0,0540	0,470	По многоводным периодам
5	NW	0,73	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0005 -0,0792	0,064	По маловодным периодам
6	NW	0,62	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0001 -0,0550	0,350	По многоводным периодам
7	NKl, NW	0,58	$\bar{T}$	0,0299	0,736	По маловодным периодам
8	ObEn, ESb	0,61	$\bar{T}$	-0,0636	0,337	По маловодным периодам
9	NKl, NW	0,67	$\bar{T}$	0,0404	0,928	По многоводным периодам
10	ObEn, ESb	0,62	$\bar{T}$	-0,0551	0,385	По многоводным периодам
11	NKl, ObEn	0,85	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0024 -0,0149	1,456	По всему ряду
12	NW	0,76	$\bar{N}$ $\bar{T}$	0,0009 -0,0850	-0,129	По всему ряду
13	ESb	0,93	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0012 0,1010	2,074	По всему ряду
14	NKl	0,58	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0009 0,0126	0,778	По годовым значениям
15	NW	0,52	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0004 -0,0441	0,556	По годовым значениям
16	ObEn	0,37	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0006 -0,0161	0,572	По годовым значениям
17	ESb	0,39	$\bar{N}$ $\bar{T}$	-0,0004 0,0456	1,115	По годовым значениям

Примечания: * обозначения соответствуют рис. 1; ** – коэффициент множественной корреляции.

Региональные зависимости использовались для задания параметра c в системе (1) на условно-прогнозный интервал времени. При этом условный прогноз с маловодного на многоводный период давался на основе зависимости, полученной по данным маловодного периода и наоборот (варианты 1–10). Единые регрессионные уравнения применялись вне зависимости от водности в вариантах 11–17.

На основе системы уравнений (1) выполнены условные прогнозы нормы и коэффициентов вариации, а значение коэффициента асимметрии получено по фактическому соотношению C_s/C_v . Эти три начальных момента использовались для построения кривых накопленных вероятностей в рамках распределения Пирсона III типа, которые сравнивались с эмпирическими кривыми, полученными по фактическим данным наблюдений (рис. 2). Результаты оценки условных прогнозов по критерию Колмогорова на различных уровнях значимости при различных вариантах задания параметров стохастической модели представлены в табл. 4. Общее число условных прогнозов на ретроспективном материале составило 46 для каждого варианта задания параметров модели.

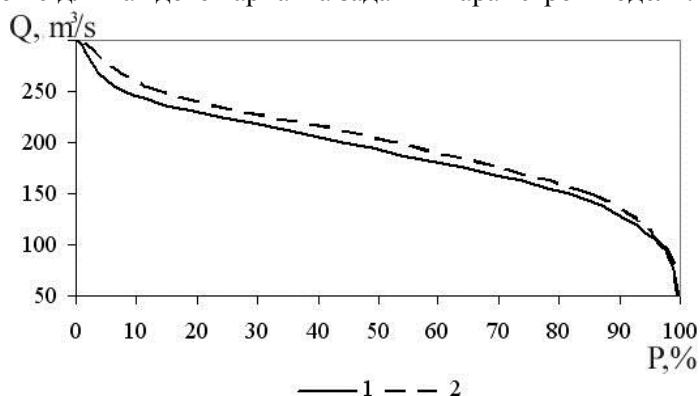


Рис. 2. Пример фактических (1) и условно прогнозных (2) кривых обеспеченности слоя стока весеннего половодья (р. Солза – Сухие Пороги, период 1928–58 гг.)

Как видно из таблицы, наилучшие условные прогнозы получены для варианта, когда параметр оценивался по фактическим данным прогнозного периода (гипотетическая ситуация). В реальности, располагая информацией об изменении норм осадков и температуры воздуха (полученной по ретроспективным данным или из климатического сценария), оправдываемость условных прогнозов составляет около 70 % на всех уровнях значимости для большинства регионов. Достоверность методики долгосрочной оценки статистических характеристик стока весеннего половодья выше на всех уровнях значимости при условном прогнозе с маловодного периода на многоводный.

Оценивая полученные на 10 %-ном уровне значимости результаты, можно отметить, что для арктической территории в целом наилучшие результаты получены для варианта, когда прогностическое значение параметра c задается по

региональным зависимостям, параметры которых оценивались по данным о годовых коэффициентах стока (46 % оправдавшихся условных прогнозов). Этот же вариант дает наилучшие результаты для территории Карелии и Кольского п-ва. В Восточной Сибири наибольший процент оправдываемости получен для варианта IV / (1–2, 5–6) без переходного коэффициента, связывающего фактическое и расчетное значение параметра $1/\sigma$. В северной части Средней Сибири (низовья рек Обь и Енисей) наилучшие результаты дает модель с постоянными параметрами (вариант I^a). Для Северного края наиболее удачными являются варианты I и VI^k / (1–4).

Таблица 4

**Процент оправдавшихся условных прогнозов статистических характеристик стока
весеннего половодья с использованием критерия Колмогорова
на 5 и 10 %-ном уровнях значимости (α) [%]**

Вариант задания парамет- ров*/(эмпири- ческая зависи- мость**)	Арктическая территория									
	В целом		Восточная Сибирь		Низовья р. Обь и Енисей		Северный Край		Карелия и Кольский п-в	
	$\alpha=10$	$\alpha=5$	$\alpha=10$	$\alpha=5$	$\alpha=10$	$\alpha=5$	$\alpha=10$	$\alpha=5$	$\alpha=10$	$\alpha=5$
I ^a	43	57	42	75	67	83	41	45	33	33
I ^b	96	98	92	100	100	100	95	95	100	100
II	35	52	42	67	50	83	27	41	33	33
III ^a	35	43	58	67	33	33	27	36	17	33
IV ^k / (1-4)***	33	50	42	75	0	17	41	50	17	33
IV ^k / (1-2, 5-6)	39	50	42	67	67	83	32	36	33	33
IV / (1-2, 5-6)	33	35	67	67	33	33	18	23	17	17
IV / (11-13)	35	43	42	58	17	33	36	41	33	33
IV / (7-10)	43	54	58	67	50	83	32	41	50	50
IV / (14-17)	46	54	50	67	33	50	36	41	83	83

Примечания: * – нумерация соответствует табл. 1; ** – нумерация соответствует табл. 3; в расчетах по варианту IV^k параметры, полученные по эмпирической зависимости, связывались с фактическими значениями переходным коэффициентом.

Выводы

Собраны многолетние ряды слоя стока весеннего половодья, годовых сумм осадков и среднегодовых температуры воздуха на метеорологических станциях в пределах водосборов средних рек на территории Российской Арктики. Анализ рядов стока весеннего половодья позволил выявить репрезентативные водосборы, в режиме стока которых наблюдались периоды различной водности, выявляемые на основе статистически значимого различия выборочных первых моментов при разбивке многолетнего ряда на две части. Общее число таких водосборов составило 23, т. е. 30 % от общего числа.

Для каждого периода водности рассчитаны эмпирические значения нормы, коэффициентов вариации и асимметрии, а также определены численные значения параметров (в различных вариантах) модели формирования стока весеннего половодья. В качестве внешнего воздействия использовались нормы годовых

сумм осадков на водосборе, а также температуры приземного воздуха, рассчитанные по данным репрезентативных метеорологических станций.

Рассмотрены варианты задания параметров прогностической модели в виде системы уравнений для моментов. Эти варианты можно условно разбить на две группы: при постоянных параметрах модели и при переменных. Для второй группы были предложены региональные эмпирические зависимости параметров модели от климатических характеристик (осадков и температуры воздуха). Численные значения параметров уравнений множественной регрессии получены на ретроспективном материале. Для большинства региональных зависимостей множественный коэффициент корреляции составляет более 0,65.

Для различных вариантов задания параметров модели получены оценки достоверности методики прогноза статистических характеристик слоя стока весеннего половодья на территории Российской Арктики. Эта достоверность оценивалась на основании сравнения условно прогнозных и фактических кривых обеспеченностей, построение которых осуществлялось в рамках модели распределений семейства Пирсона III типа по известным первым трем начальным моментам. В качестве метрики использовался критерий Колмогорова. Общее число условных прогнозов составило 46.

Предложить единую (универсальную) схему параметризации стохастической модели формирования стока весеннего половодья, одинаково пригодную для всех регионов Российской Арктики не удалось (но, возможно это и не нужно). Для территории Арктики в целом оправдываемость условных прогнозов кривых обеспеченностей составляет менее 50 %.

Однако при более детальном региональном рассмотрении и выделении 4-х подрайонов в пределах Российской Арктики можно использовать варианты параметризации модели формирования стока весеннего половодья, основанные на использовании эмпирических зависимостей в виде уравнений множественной регрессии. При этом оправдываемость методики долгосрочной оценки вероятностных характеристик на ретроспективном материале составляет 67–83 % (на 5 и 10 %-ном уровне значимости по критерию Колмогорова).

Исследования выполнялись в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (номер гранта П740, научный руководитель: заведующий кафедрой гидрофизики и гидропрогнозов Российского Государственного гидрометеорологического университета профессор В.В. Коваленко).

Литература

1. *Викторова Н.В.* Исследование применимости стохастической модели формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока для оценки последствий антропогенного изменения климата: Дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: РГГМУ, 2002. – 240 с.
2. *Иванов В.В., Янкина В.А.* Водные ресурсы Арктики, их изученность и очередные задачи исследований // Проблемы Арктики и Антарктики, 1991, вып. 66, с. 118-128.
3. *Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В.* Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: РГГМУ, 2006. – 559 с.

4. Коваленко В.В. Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 100 с.
5. Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдукова Е.В., Громова М.Н., Хаустов В.А., Шевнина Е.В. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате / Под ред. В. В. Коваленко. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 51 с.
6. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Викторова Н.В. Влияние изменения климата на многолетний слой стока весеннего половодья рек Арктической зоны России / Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 14, с. 14–19.
7. Методические рекомендации по составлению справочника по водным ресурсам СССР, вып. 7, ч. 1. Половодье. – Л., 1962. – 107 с.
8. Пространственно временные колебания стока рек СССР / Под ред. А.В. Рождественского. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 375 с.
9. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой, 2004. – 74 с.
11. Специализированные массивы для климатических исследований // ВНИИГМИ МЦД. 2011. URL: www.meteo.ru (дата обращения 21.06.2011).
12. Шевнина Е.В. Анализ стационарности многолетних рядов слоя стока весеннего половодья на водосборах Российской Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, 1(87), с. 56-64.
13. IPCC Assessment reports // 2009. URL: www.ipcc.ch (дата обращения 20.06.2011).
14. Hosking J.R.M. L-moments—Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 1990, vol. 52, p. 105–124.
15. Klein T. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment // Int. J. of Climatology. 22. 2002, p. 1441-1453.
16. Razuvayev V.N., Apasova E.G., Martuganov R.A., Steurer P., Vose R. Daily Temperature and Precipitation Data for 223 U.S.S.R. Stations. Numerical data package – 040. Tennessee: Oak Ridge National laboratory. 1993.

А.В. Бабкин, К.Ш. Кадиоров, Х.А. Эслим

**СКРЫТЫЕ ГАРМОНИКИ В КОЛЕБАНИЯХ МЕСТНОГО
СТОКА СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

A.V. Babkin, K.Sh. Kadirov, H.A. Esleem

**HIDDEN HARMONICS IN VARIATIONS
OF RUNOFF OF LOCAL FORMATION OF POLITICAL
AND ADMINISTRATIVE SUBDIVISIONS OF VOLGA FEDERAL
DISTRICT OF RUSSIAN FEDERATION**

Методом "Периодичностей" проанализированы временные ряды местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского Федерального округа. В их колебаниях выявлены периоды различной продолжительности. В области коротких периодов у рассмотренных рядов чаще других выявлялись периоды, продолжительностью 4, 8 и 12 лет. Эти периоды, а также синусоиды с длинными периодами, использовались при расчетах долгосрочных поверочных прогнозов с заблаговременностью 5 и 10 лет.

Выявленные гармоники проанализированы на примере данных по местному стоку Татарстана. Для этого ряда оправдываемость поверочных прогнозов по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оказалась выше, чем по среднему значению, а по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом – несколько ниже.

В целом, для всех временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа, результаты прогнозирования по синусоидам с периодами 4 года, 8 лет, 12 лет и с длинным периодом оказались несколько хуже, чем по среднему значению.

Ключевые слова: местный сток, методика, временной ряд, долгосрочный прогноз.

The time series of runoff of local formation of Political and Administrative Subdivisions of Volga Federal District of Russian Federation were analyzed by the method of "Periodicities". The periods of different length were revealed in the runoff variations. In the area of short periods the periods with the lengths of 4, 8 and 12 years were revealed more often than the others. These periods and the sinusoids with the long periods were applied for the computation of the long range training forecasts with the lead time of 5 and 10 years.

The revealed harmonics were analyzed by the data of local runoff of the Tatarstan. For this time series the sinusoids with the periods of 4 and 12 years permitted to compute more true forecasts than by the mean value. The justification of forecasts computed by the sinusoids with the period of 8 years and with the long period is smaller than by the mean value.

In general, for all time series of local runoff of Political and Administrative Subdivisions of Volga Federal District of Russian Federation, the results of forecasting computed by the sinusoids with the periods of 4, 8, 12 years and with the long periods are some worse than by their mean values.

Key words: runoff of local formation, procedures, time series, long range forecast.

1. Введение

Долгосрочное прогнозирование местного стока административных территорий весьма актуально при планировании их социально-экономического развития. При прогнозировании гидрологических характеристик следует учитывать скрытые циклические закономерности в их изменениях (Шлямин, 1962; Голицын и др., 2002).

Скрытые гармоника в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского Федерального округа выявлялись при анализе их временных рядов с использованием метода “Периодичностей” (Бабкин, 2005; 2008). Анализ временных рядов проводился с 1930 по 1998 г. Оставшиеся 10 лет были использованы для проведения поверочных прогностических расчетов местного стока с заблаговременностью соответственно 5 и 10 лет, и для оценки их оправдываемости.

Проводился анализ прогностических расчетов местного стока всех субъектов РФ Приволжского федерального округа по среднему значению, по тенденции линейного тренда, по длинноволновой синусоиде и по сумме длинноволновой синусоиды и тенденции тренда [Бабкин и Кадиров, 2012]. Наилучшие результаты, в целом, для всех рядов местного стока, получены по сумме тенденции тренда и синусоиды с длинным периодом.

В настоящей статье анализируются синусоиды в колебаниях местного стока субъектов РФ с различными периодами без учета тенденций трендов. Выявленные синусоиды рассматриваются на примере данных по местному стоку Татарстана.

Долгосрочный прогноз местного стока за отдельный год считается оправдавшимся, если разность наблюдаемого и спрогнозированного его значений (фактическая ошибка прогноза), меньше, чем допустимая ошибка прогноза. Допустимая ошибка прогнозирования составляет 0,674 от среднего квадратического отклонения временного ряда [Аполлов и др., 1974].

Метод “Периодичностей” основан на аппроксимации временного ряда гидрометеорологической характеристики синусоидальными функциями последовательно с пошаговым изменением периода. При этом, амплитуда, фаза, дополнительное слагаемое наилучшей аппроксимирующей синусоиды и сумма ее квадратов разностей с исследуемым рядом рассчитываются методом наименьших квадратов.

Анализируется зависимость наименьших сумм квадратических разностей ряда и аппроксимирующих его синусоид от периода аппроксимации. У некоторых периодов отмечаются минимумы этих сумм. Минимум суммы квадратических разностей временного ряда и аппроксимирующих его синусоид у определенного периода может быть признаком присутствия здесь периодичности.

2. Скрытые периоды в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа

В табл. 1 приводятся периоды с минимумами сумм квадратических разностей аппроксимирующих синусоид и значений временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО. В первой строке показаны значения периодов аппроксимации, в первом столбце – названия республик, краев и областей. Периоды с минимумами сумм квадратов разностей временного ряда и аппроксимирующих синусоид помечены знаком «+». Столбцы с периодами, у которых нет рассматриваемых минимумов сумм квадратических разностей, в таблице не показаны.

Из табл. 1 видно, что у многих рядов местного стока минимумы их сумм квадратов разностей с аппроксимирующими синусоидами повторяются у тех же самых периодов. Для всех субъектов РФ Приволжского ФО наибольшее число раз выявлены гармоники с периодами 4 года, 8 и 12 лет. У периодов, длина которых составляет 4 года и 8 лет, минимумы сумм квадратических разностей временных рядов и аппроксимирующих синусоид у 14 субъектов отмечаются в 11 случаях. Девять раз минимум рассматриваемых сумм квадратических разностей выявлялся у периода, длительностью 12 лет.

У 16-летнего периода минимум сумм квадратов разностей временных рядов местного стока и аппроксимирующих синусоид установлен 7 раз, а у 10-летнего периода – 6 раз. В пяти случаях гармоники с минимумами сумм квадратов разностей аппроксимирующих синусоид и значений временных рядов обнаружены у 6-летнего и 22-летнего периодов.

У периодов, длина которых составляет 23 года, 35 лет и 41 год минимумы сумм квадратических разностей аппроксимирующих синусоид и временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО установлены два раза. Один раз минимум сумм квадратов разностей аппроксимирующих синусоид и рассматриваемых временных рядов выявлен у периодов, длины которых соответственно равны: 5, 9, 15, 18, 21, 25, 27, 32, 33, 34, 36, 39 и 43 года.

Наиболее надежными, достоверными и подходящими для прогнозирования следует считать те гармоники, чьи периоды выявлены не у одного, а у большого числа временных рядов. Поэтому расчеты, моделирование и прогнозирование местного стока каждого из субъектов РФ Приволжского ФО проводились по синусоидам с периодами, выявленными у наибольшего числа временных рядов местного стока всего федерального округа. Это синусоиды с периодами 4, 8 и 12 лет.

Периоды с длинами соответственно 4, 8 и 12 лет можно отнести к малым и отчасти средним периодам. При анализе изменений местного стока необходимо также учитывать колебания с более длинными периодами.

У периодов, больших, чем 24 года, нет значения, которое было бы выявлено у большинства рядов местного стока, или хотя бы значительного их числа. Поэтому при прогнозировании с использованием сравнительно длинных периодов, превышающих 24 года, для каждого ряда будем использовать именно те периоды, которые были выявлены.

Таблица 1

Периоды с минимумами сумм квадратов разностей временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского ФО

и аппроксимирующих их синусоид

Субъекты РФ Приволжского ФО	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	16	17	18	21	22	23	25	27	32	33	34	35	36	38	39	41	43
1. Республика Башкортостан		+		+		+						+				+									+			
2. Республика Татарстан		+		+		+		+	+			+				+							+					
3. Оренбургская обл.				+		+		+	+		+					+												+
4. Самарская обл.		+				+		+	+			+			+							+						
5. Пензенская обл.	+					+		+	+				+									+						
6. Саратовская обл.	+		+			+			+			+											+					
7. Нижегород- ская обл.		+				+			+				+								+							
8. Ульяновская обл.		+				+		+	+			+				+								+				
9. Республика Мордовия		+				+		+	+				+						+									
10. Республика Чувашия		+			+				+				+					+										
11. Республика Марий Эл		+		+		+		+	+					+						+						+		
12. Республика Удмуртия		+		+		+					+	+					+											
13. Пермский край		+			+	+					+	+					+								+			
14. Кировская обл.		+			+	+	+									+										+		
Повторяемость периодов по субъектам	2	11	1	5	3	11	1	6	9	4	1	7	4	1	1	5	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1

Анализ временных рядов местного стока рассмотрим на примере данных по республике Татарстан. У этого ряда методом “Периодичностей” выявлены все периоды длиной 4, 8 и 12 лет, наиболее часто встречающихся в колебаниях местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа.

3. Анализ колебаний и прогноз местного стока субъекта РФ (на примере данных по местному стоку республики Татарстан)

Параметры выявленных синусоид в колебаниях местного стока Татарстана представлены в табл. 2. Здесь T – период аппроксимирующей синусоиды, Q_0 – постоянная константа аппроксимации, у которой колеблются выявленные гармоники, $\delta Q/2$ и φ_Q – соответственно их амплитуда и фаза, r_Q – корреляционное отношение синусоиды и временного ряда. В области длинных периодов у местного стока республики Татарстан выявлена 38-летняя синусоида.

Таблица 2

Синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана

T , год	Q_0 , км ³ /год	$\delta Q/2$, км ³ /год	φ_Q , радиан	r_Q , (км ³ /год) ²
1	2	3	4	5
4,0	8,34	,948	4,26	0,258
8,0	8,31	1,29	-1,51	0,347
12,0	8,33	,75	1,42	0,206
38,0	8,29	1,43	-,701	0,397

Среднее значение местного стока Татарстана за 1930–1998 гг. составило 8,35 км³/год, среднее квадратическое отклонение $-2,60$ (км³/год)², а допустимая ошибка прогноза – 1,75 км³/год. При прогнозировании местного стока Татарстана по среднему значению его временного ряда с заблаговременностью 10 лет оправдались 5 прогнозов. Из них только один верный прогноз приходится на первые пять лет.

На рис. 1 представлен временной ряд местного стока Татарстана и синусоиды его аппроксимации с периодами, соответственно равными 4 года и 12 лет, 8 лет и с длинным периодом.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана с 4-летней гармоникой составило 0,259. Максимумы и минимумы этой гармоники часто отмечается в те же самые годы, что и соответствующие экстремумы местного стока Татарстана. Максимум 4-летней гармоники и максимальные значения местного стока Татарстана совместно отмечаются в 1938, 1942, 1974, 1990 и 1994 гг., а минимум этой синусоиды и минимальные значения стока – в 1944, 1952, 1956, 1984, 1992 и 1996 гг. На поверочном интервале минимум синусоиды совпадает по времени с минимумом ряда в 2004 г.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана с синусоидой с 8-летним периодом оказалось равным 0,348. Минимумы 8-летней и 4-летней синусоид всегда совпадают по времени. На максимумы 8-летней синусоиды приходится минимум 4-летней.

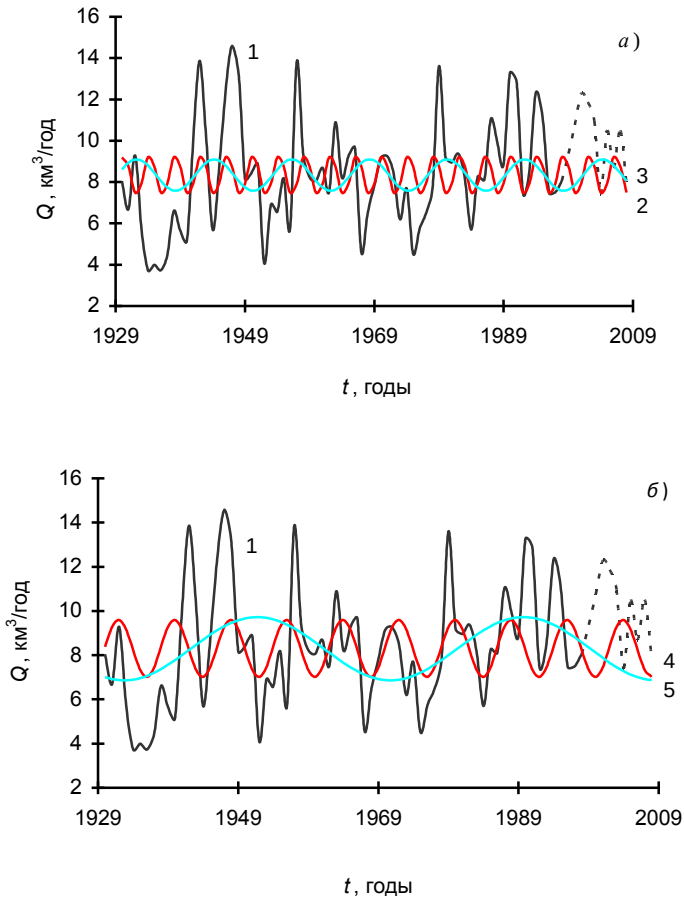


Рис. 1. Многолетние изменения местного стока республики Татарстан.

1 – данные наблюдений, 2 – синусоида с периодом 4 года, 3 – синусоида с периодом 12 лет, 4 – синусоида с периодом 8 лет, 5 – синусоида с длинным периодом (38 лет)

Синусоида с 8-летним периодом описывает группы лет повышенных и пониженных значений стока, а в некоторых случаях и их экстремальные значения. Так минимумы ряда местного стока Татарстана и 8-летней синусоиды одновременно отмечаются в 1936, 1944, 1952, 1984 и 1992 гг. Максимумы этой синусоиды отстают от максимумов ряда на 1 год в 1947, 1979 и 1987 гг.

Эта гармоника отражает повышенные значения стока 1946–1988, 1963–1966 и 1979–1982 гг. Она также описывает группы лет низких значений стока 1934–1938, 1967–1969 и 1975–1977 гг. Частично синусоида с периодом 8 лет описывает пониженные его значения 1950–1956 гг. Этот интервал низких значений стока слишком продолжителен для точного его описания 8-летней гармоникой.

На интервале поверочного прогноза 1999–2008 гг. экстремумы 8-летней синусоиды и временного ряда местного стока не совпадают по времени. На 2004 г., в который отмечается минимум местного стока Татарстана, приходится максимум 8-летней гармоник. На группу лет высоких значений местного стока 1999–2002 гг., в основном, приходятся пониженные значения 8-летней синусоиды. Ее минимальное значение отмечается в 2000 г.

Корреляционное отношение временного ряда местного стока Татарстана и синусоиды с периодом 12 лет составило 0,206. Каждый раз максимумы 12-летней синусоиды приходятся на минимумы синусоиды с периодом 4 года. Минимумам синусоиды с периодом 12 лет соответствуют максимумы 4-летней. Максимумы 12-летней синусоиды через раз приходятся на те же годы, что и максимумы 8-летней. В остальных случаях максимумы 12-летней синусоиды наступают одновременно с минимумами 8-летней.

Синусоида с 12-летним периодом описывает группы лет повышенных и пониженных значений местного стока. В колебаниях местного стока Татарстана 12-летняя синусоида описывает большую часть интервала его повышенных значений 1941–1948 гг., на котором присутствует минимум 1944 г. Этой синусоидой также отражаются группы лет повышенной водности 1979–1982 гг. и 1990–1995 гг. со сравнительно низким значением стока в 1992 г. Этой же синусоидой описывается часть интервала пониженных значений стока 1933–1940 гг. и 1973–1977 гг.

Минимум 12-летней синусоиды опережает максимум 2001 г. на 3 года. Первые два года из группы лет высоких его значений 1999–2003 гг. приходятся на пониженные значения 12-летней синусоиды, последние 2 года – на повышенные. Максимальному значению ряда по времени соответствует значение синусоиды, примерно равное среднему.

На втором пятилетии максимум 12-летней синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана приходится на минимальное значение стока 2006 г. Но на группе лет 2004–2008 гг. 12-летняя синусоида лучше описывает колебания местного стока Татарстана, чем на первом поверочном интервале. Максимумы местного стока этой республики 2005 и 2007 гг. приходятся на повышенные значения этой синусоиды.

Годы повышенных значений 38-летней синусоиды в колебаниях местного стока Татарстана совпали с высокими значениями его временного ряда в 1941–1943, 1946–1948, 1957–1958, 1987–1988, 1990–1991 и 1994–1995 гг. Повышенные значения этой синусоиды отмечаются также для группы лет низкого местного стока 1952–1956, 1983–1985 гг. и минимума стока 1992 г.

Пониженные значения 38-летней синусоиды характерны для групп лет низких значений местного стока Татарстана 1933–1940, 1967–1969 и 1973–1977 гг. На отрезках пониженных значений этой синусоиды отмечались высокие значения стока 1941–1943 и 1979–1980 гг. Повышенный сток 1981 и 1982 гг. по времени приходится на значения 38-летней синусоиды, близкие к среднему.

При прогнозе местного стока Татарстана по 4-летней гармонике и по синусоиде с периодом 12 лет с заблаговременностью 10 лет получено по пять оправдавшихся прогнозов. При расчетах по каждой из этих синусоид только один прогноз оправдался на интервале 1999–2003 гг. При расчетах по синусоиде с периодом 4 года верные прогнозные оценки получены в 1999, 2004, 2006, 2007 и 2008 гг., а по 12-летней синусоиде прогнозы оправдались в 1999, 2004, 2005, 2006 и 2008 гг.

Прогноз местного стока Татарстана с заблаговременностью 10 лет по синусоиде с периодом 8 лет оправдался четыре раза. Один прогноз оправдался в первое пятилетие, три – во второе. Прогноз оправдался в 2003, 2005, 2006 и 2008 гг.

При прогнозировании по 38-летней синусоиде местного стока Татарстана с заблаговременностью 5 и 10 лет оправдались соответственно 1 и 4 прогноза. Они оказались верными в 1999, 2004, 2006 и 2008 гг.

Заключение

Методом “Периодичностей” проведен анализ временных рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа с 1930 г. по 1998 гг. У большинства рядов местного стока в области коротких периодов выявлены гармоники с периодами, соответственно равными 4, 8 и 12 годам. Более достоверна и надежна для прогнозирования та гармоника, которая обнаруживается в колебаниях большого числа расположенных рядом областей. Поэтому, при моделировании, расчетах и поверочном прогнозировании местного стока каждого из временных рядов использовались синусоиды с этими периодами.

В области длинных периодов больше 24 лет не выявлено тех же периодов в колебаниях большинства рядов местного стока субъектов РФ Приволжского федерального округа, или даже значительной их доли. Поэтому при моделировании и прогнозировании местного стока каждого субъекта РФ Приволжского федерального округа использовалась именно та синусоида, которая была выявлена методом “Периодичностей”.

Прогнозы местного стока республики Татарстан с заблаговременностью 5 лет по каждой из синусоид, как и по среднему значению, оправдались по одному разу. Прогнозы с заблаговременностью 10 лет по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оправдались по 5 раз, по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом – по 4 раза, как и по среднему значению. Таким образом, при прогнозировании местного стока Татарстана наилучшие результаты получены по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет, при расчетах по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом результаты прогнозов примерно соответствуют расчетам по среднему значению временного ряда.

Поверочные прогнозы местного стока всех субъектов РФ Приволжского ФО на 1999–2003 гг. и на 1999–2008 гг. по этим синусоидам, в целом, оказались несколько хуже расчетов по средним значениям их временных рядов. При этом,

как и для местного стока Татарстана, результаты прогнозов по синусоидам с периодами 4 года и 12 лет оказались несколько лучше, чем по синусоидам с периодом 8 лет и с длинным периодом.

Результаты прогнозирования по каждой из синусоид с периодами 4,8, 12 лет и с длинным периодом оказались хуже расчетов по сумме тенденции тренда и синусоиды с длинным периодом.

Литература

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеопечат, 1974. – 419 с.
2. Бабкин А.В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология, 2005, № 11, с. 63-73.
3. Бабкин А.В. Методика долгосрочного прогноза уровня Ладожского озера и стока р. Невы // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 8, с. 31-37.
4. Бабкин А.В., Кадиров К.Ш. Поверочные прогнозы местного стока субъектов Российской Федерации Приволжского федерального округа с учетом их длиннопериодных колебаний // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 23, с. 41-50.
5. Голицын Г.С., Ефимова Л.К., Мохов И.И. и др. Гидрологические режимы Ладожского и Онежского озер и их изменения // Водные ресурсы, 2002, № 2, с. 168–173.
6. Шлямин Б.А. Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Изв. ВГО, 1962, т. 94, вып. 1, с. 26–33.

М.В. Шмакова

РАСЧЕТ ЗАНОСИМОСТИ РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ

M.V. Shmakova

CALCULATION OF THE RECORDED CHANNEL PITS

На основании основного уравнения движения воды и твердого вещества в открытых руслах и разности транспортирующего потенциала потока рассматривается новый метод расчета характеристик занесения русловых карьеров. Полученные формулы скорости занесения русловых карьеров были апробированы на данных экспериментов на лотках и показали хорошие результаты.

Ключевые слова: русловые карьеры, математическая модель речного потока, формула расхода наносов.

A new method of calculation is based at the fundamental equation of movement of water and solid and difference of the flow transporting capacity too. Represented the formula of entry channel pits were tested at experiments data and shown good results.

Key words: a pit channel, a formula of sediment discharge, a mathematical model of river flow.

Общие положения

Источниками наносов, осаждаемых в русловом карьере, являются взвешенные и влекомые наносы, а также продукты обрушения склонов карьера, возникающие под действием силы тяжести и давления потока. По оценкам ВСН 163–83 [2] взвешенные наносы в карьере могут составлять до 10 % от общего количества поступившего в карьер твердого вещества. Следует заметить, что в твердое вещество обрушившегося склона руслового карьера также могут включаться и влекомые наносы.

Влекомые и взвешенные наносы попадают в русловый карьер в результате падения транспортирующего потенциала потока, движения и последующего обрушения в карьер русловых форм (гряды, побочни, осередки).

В настоящее время выделяются следующие подходы к количественной оценке скорости занесения русловых карьеров:

1. Натурные методы измерения расхода наносов, перемещающихся в форме гряд, либо измерения фактического объема наносов, отложившихся в траншее [2].
2. Эмпирические расчетные методы, основанные на скорости перемещения донных гряд [2].
3. Методы математического моделирования.

Применение тех или иных методов расчета в первую очередь должно быть обусловлено характером поставленной задачи и наличием соответствующих исходных данных.

Использование математических моделей дает более точный и развернутый результат. Но, в свою очередь, требует задания детальной гидрометрической информации. Определенными недостатками многих математических моделей могут служить используемые в них эмпирические коэффициенты.

Для относительно мобильной оценки, не требующей дополнительных информационных затрат, могут служить методы расчета, основанные на формулах расходов наносов [1]. Однако известные формулы расхода влекомых наносов содержат понижающие точность расчетов эмпирические коэффициенты. И, в первую очередь, эти формулы ориентированы на грядовую форму движения наносов [2]. Поэтому для русловых потоков, в которых отсутствуют грядовая форма перемещения наносов, такие методы расчета не подходят.

Прогноз заносимости русловых карьеров

Основное уравнение математической модели движения воды и твердого вещества в речном потоке имеет вид [4]:

$$(1-f)(mg \left[I - \frac{\partial H}{\partial L} \right] - m \frac{dv}{dt}) - N_{act} m_q \frac{dv_q}{dt} + N_{act} m_q g - cS = 0,$$

где f – коэффициент внутреннего трения, б/р; m – масса объема воды, заключенного между двумя расчетными створами, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; I – уклон дна; H – глубина потока, м; L – расстояние, м; v – скорость потока, м/с; t – время, с; N_{act} – количество перемещаемых частиц в потоке; m_q – масса частицы, кг; v_q – скорость движения частицы, м/с; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с²); S – площадь приложения силы, м².

Уравнение движения воды и твердого вещества замыкается уравнениями неразрывности потока, равнодействующей скорости движения частиц и баланса кинетической энергии потока воды и твердого вещества.

Для условий равномерного установившегося движения после некоторых преобразований этого уравнения получено, что расход наносов G (кг/с), т. е. масса твердого вещества, проходящая через поперечное сечение потока за единицу времени, равен [4]:

$$G = 1,59Q \left[\frac{c}{Hg} - (1-f)1000I \right], \quad (1)$$

где Q – расход воды, м³/с.

Рассмотрим метод расчета заносимости русловых карьеров, основанный на полученной аналитической формуле расхода наносов.

Изменение транспортирующего потенциала потока Δ (кг/с) в связи с увеличением глубины и уменьшением скорости в створе руслового карьера будет равно:

$$\Delta = G_1 - G_2 = 1,59Q \left[\frac{c}{g} \left(\frac{1}{H_1} - \frac{1}{H_2} \right) - 10^3(1-f)(I_1 - I_2) \right], \quad (2)$$

или для условий равного уклона $I_1 = I_2$

$$\Delta = 1,59Q \frac{c}{g} \left[\frac{1}{H_1} - \frac{1}{H_2} \right], \quad (3)$$

где G_1 и G_2 – расход наносов в верхнем створе и створе руслового карьера, кг/с.

Полученная величина Δ показывает, какая масса наносов осядет в створе руслового карьера за 1 с. Для вычисления периода полного заноса карьера, следует рассчитать время, за которое объем заносающего карьер твердого вещества $V_{\text{грунт}}$ с учетом пористости последующего залегания ϕ будет равен объему карьера $V_{\text{кар}}$

$$T = \frac{V_{\text{кар}} \rho_{\text{грунт}} (1 - \phi)}{\Delta \cdot 86400}, \quad (4)$$

где T – время полного занесения карьера, сут; $\rho_{\text{грунт}}$ – плотность грунта, кг/м³; ϕ – предположительная пористость залегания осаждаемого в карьере грунта, б/р. В первом приближении можно принять $\phi = 0,3$.

Расчет проводится для установившегося движения речного потока. Для выраженного неустойчивого движения можно использовать, например, математическую модель движения воды и твердого вещества, которая и легла в основу формулы расхода наносов [4].

Исходными данными для расчета заносимости русловых карьеров служат:

- уклон реки I_1 в верхнем створе, б/р;
- уклон реки I_2 в створе карьера, б/р;
- расход воды Q , м³/с;
- средняя глубина потока в верхнем створе H_1 , м;
- средняя глубина потока в створе карьера H_2 , м.

Значения параметров f и c для речных потоков могут быть определены в соответствии с категорией крупности донных отложений по табл. 1 [4]. В настоящее время величины параметров, приведенных в табл. 1, уточняются.

Таблица 1

Значения параметров f и c в зависимости от категории крупности донных отложений

Вид донных отложений	Категория крупности донных отложений	Коэффициент внутреннего трения f , б/р	Сцепление частиц грунта при сдвиге c , кг/(м·с ²)
Суглинки	2	0,94	2,01
Песок	3	0,943	3,93
Песчано-галечные	4	0,95	5,23
Гравий	5	0,96	5,5
Галечно-гравелистые	6	0,98	5,5

Расчетная формула размыва русла в укрепленных берегах. По аналогии с заносимостью русловых карьеров, расчет размыва русла в укрепленных берегах также основывается на изменении транспортирующего потенциала потока в створе размыва и в верхнем от него створе [формулы (2) и (3)]. Тогда объем размываемого грунта $V_{\text{грунт}}$ за период времени T (сут.) будет равен

$$V_{\text{грунт}} = \frac{|\Delta| T \cdot 86400}{\rho_{\text{грунт}} (1 - \phi)}, \quad (5)$$

где Δ – масса грунта, осевшая в расчетном створе (при условии $\Delta > 0$), и размываемая (при условии $\Delta < 0$) за 1 с, вычисляется по формулам (2) или (3).

Для учета постепенного изменения гидравлических характеристик потока формула (5) примет вид:

$$V_{\text{грунт}} = \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta_i| \delta T_i \cdot 86400}{\rho_{\text{грунт}} (1 - \varphi)}, \quad (6)$$

где δT_i – интервалы времени, на протяжении которых поток имеет относительно постоянные гидравлические характеристики, сут.; Δ_i – изменение транспортирующего потенциала потока в течение интервала времени δT_i , кг/с; n – количество интервалов времени с относительно постоянными гидравлическими характеристиками.

Важно подчеркнуть применимость формул (5) и (6) именно для потоков в укрепленных берегах. Очевидно, что такое ограничение объясняется тем, что для потоков в неукрепленных (размываемых) берегах при изменении транспортирующего потенциала потока будут иметь место и плановые деформации русла. Однако при ленточно-грядовом и побочном типах руслового процесса допускается расчет высотных деформаций дна без учета плановых деформаций [2].

Расчеты

Апробация формулы заносимости русловых карьеров была проведена на экспериментах, представленных в работах А.Н. Кондратьева [5] и Г.Л. Гладкова [3]. Эксперименты проводились в разное время на гидравлическом лотке шириной 2 м и длиной 50 м в Русловой лаборатории Государственного гидрологического института. Гидравлические характеристики экспериментов приведены в табл. 2.

Вначале на основании данных эксперимента на лотке А.Н. Кондратьева (Кондратьев А.Н., 1998) были получены значения параметров формулы (1) f и c для гидравлического лотка минимизацией величины относительного отклонения σ_G рассчитанного $G_{\text{рас}}$ и измеренного $G_{\text{изм}}$ расхода наносов (табл. 2). Затем, на основании данных эксперимента Г.Л. Гладкова [3], был проведен расчет времени занесения руслового карьера по формуле (4). Отклонение между наблюдаемым $T_{\text{факт}}$ и рассчитанным $T_{\text{рас}}$ временем занесения руслового карьера составило 0,9 ч или, в относительных единицах, 0,66 % (табл. 2).

В табл. 2 $L_{\text{кар}}$, $H_{\text{кар}}$, $B_{\text{кар}}$ и $V_{\text{кар}}$ – длина, глубина относительно средней отметки дна, ширина и объем карьера.

Таблица 2

Данные для расчета и результаты вычислений времени занесения руслового карьера

Эксперимент А.Н. Кондратьева [5]	I , б/р	0,0022
	H , м	0,027
	Q , м ³ /с	0,01
	d , мм	0,33
	$G_{\text{изм}}$, кг/с	$2,36 \cdot 10^{-4}$

Результаты расчетов по формуле (1)	$G_{\text{рас}}, \text{ кг/с}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$
	$\sigma_G = \frac{ G_{\text{изм}} - G_{\text{рас}} }{G_{\text{изм}}} 100\%$	2,1
	$f, \text{ б/р}$	0,964
	$c, \text{ кг/(м} \cdot \text{с}^2)$	0,025
Эксперимент Г.Л. Гладкова [3]	$I, \text{ б/р}$	0,00125
	$H, \text{ м}$	0,0886
	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,04
	$L_{\text{кар}}, \text{ м}$	3
	$H_{\text{кар}}, \text{ м}$	0,14
	$B_{\text{кар}}, \text{ м}$	0,7
	$V_{\text{кар}}, \text{ м}^3$	0,294
	$d, \text{ мм}$	0,33
Результаты расчета по формуле (4)	$T_{\text{факт}}, \text{ ч}$	136,9
	$T_{\text{рас}}, \text{ ч}$	137,8
	$\sigma_T = \frac{ T_{\text{факт}} - T_{\text{рас}} }{T_{\text{факт}}} 100\%$	0,66

Выводы

Представленные в формулах (4)–(7) расчеты периода заносимости русловых карьеров и размыва русла в укрепленных берегах основываются на аналитической формуле расхода наносов (1) и изменении транспортирующего потенциала потока Δ [формула (2)]. Преимущество такого подхода состоит в следующем:

1. Все формулы обеспечены типовой и достаточно надежной входной гидрометрической информацией (в отличие от параметров гряд, например).

2. Формулы содержат физически обоснованные параметры.

3. В формулах задействован общий расход наносов, а не только расход донных наносов, что важно при изменении гидравлических характеристик потока, которое приводит к изменению формы перемещения наносов. Учет только донных наносов в традиционных расчетах, безусловно, является упрощением, при котором искусственно проводится граница между формами перемещения наносов. Последнее не позволяет рассматривать целостность процесса движения наносов всех форм перемещения и ограничивает расчеты значительными допущениями о гидравлике потока.

Литература

1. Барышников Н.Б., Ю.А. Демидова, А.О. Пагин, А.Б. Соколов. Формулы и методы для расчета расходов донных наносов // Уч. зап. РГГМУ, 2009, № 11, с. 16–23.
2. ВСН 163–83. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). – М.: Миннефтегазстрой, 1985. – 117 с.
3. Гладков Г.Л. Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров: Дис. ... д-ра наук. – СПб.: СПГУВК, 1996.
4. Шмакова М.В. Математическое моделирование речных потоков. – СПб.: Лема, 2011. – 76 с.
5. Kondratyev A.N. Distribution of bedload alluviums discharge on width of riverbed at passing mesoform // NATO ARW. Stochastic models of hydrological processes and their applications to problems of environmental preservation. Moscow. 1998. P. 236–238.

М.Ф. Мохнач, А.Н. Павлов

РОДСТВЕННЫЕ ВОДОПАДЫ

M.F. Mokhnach, A.N. Pavlov

ALLIED WATERFALLS

Приведён обзор материалов по Ниагарскому и Тосненскому водопадам, изложены результаты собственных наблюдений авторов, дана оригинальная трактовка развития регрессионной пятащейся эрозии.

Ключевые слова: геологическое строение, скорость эрозии, функция развития, прогнозы.

The paper reviews of recent materials by Niagara Falls and Tosna waterfalls. The results of authors' own observations and original interpretation of backward erosion are given.

Key words: geologic structure, velocity of erosion, function of development, forecasts.

Водопад – место, где ложе потока образует уступ, с которого вода падает вниз.

Геологический словарь [1973]

Общая информация

Речные водотоки являются основным экзогенным фактором формирования рельефа. Эродируя земную поверхность и транспортируя образующиеся наносы, они вырабатывают речные долины – отрицательные линейные формы рельефа, имеющие общий уклон от истока к устью и простирающиеся на различные расстояния, для крупных рек на тысячи километров. Уже с момента своего заложения речные долины постоянно эволюционируют в результате непрекращающейся эрозии, особенно активизирующейся в периоды паводков, когда в русло реки поступает значительное количество воды.

Глубинная и боковая эрозия руслового водного потока, склоновые процессы из-за потоков дождевых и талых вод, выходов подземных вод приводят к увеличению глубины и ширины речной долины и её врезанию вверх по течению в результате регрессионной (пятащейся) эрозии. Происходит геоморфологическое развитие речных долин, меняются очертания основных её элементов – русла реки и склонов. Попеременная активизация глубинной и боковой эрозии в результате изменения базиса эрозии, литологического состава пластов пород и других факторов приводит к образованию на склонах долины ступенеобразных форм рельефа – речных террас. Изучение речных террас позволяет проследить последовательность формирования речных долин.

На всём пути своего прохождения речной поток стремится углубить свою долину, формируя продольный профиль реки, обеспечивающий наименьшую затрату энергии и скорейший спуск водной массы реки. Эта эрозионная работа

осуществляется за счёт кинетической энергии водотока и его химического воздействия на породы ложа реки.

Предельный продольный профиль (профиль равновесия) представляет собой плавную вогнутую кривую. Её крутизна закономерно уменьшается от истоков к устью в результате того, что размывающая сила речного потока постепенно уравнивается сопротивлением пород дна реки. Расстояние по вертикали между верхней и нижней точками кривой профиля равновесия соответствует перепаду высот между истоком реки и уровнем её базиса эрозии.

Профиль равновесия в природе не достигается ввиду неоднородности геологических и физико-географических условий на пути прохождения водотока. Коренные породы, слагающие днище речной долины, имеют различный литологический состав, т.е. разную сопротивляемость размыву. Поэтому интенсивность эрозионной работы водотоков неоднородна и имеет избирательный характер.

В результате продольный профиль реки приобретает вид сложной кривой с различными уклонами. В случае резкого контраста пород ложа по сопротивляемости эрозии, а также при значительном перепаде абсолютных отметок русла реки продольный профиль реки становится ступенчатым, в нём образуются вертикальные или крутонаклонённые уступы различной высоты. Высота уступов определяется абсолютными отметками кровли пластов пород стойких к эрозии и, соответственно, образующих гребень уступа. *Падение водотока с такого уступа, пересекаемого речным руслом, называется водопадом.*

В случае присутствия в разрезе последовательности пластов пород близких по стойкости к эрозии и разделяемых пластами легко эродируемых пород в русле реки образуется в соответствии с положением в разрезе пластов трудно эродируемых пород последовательность уступов. *Падение водотока по таким уступам называется каскадом.*

Таким образом, необходимыми условиями возникновения водопадов являются значительная разница абсолютных отметок истока и устья речных потоков и наличие в профиле русла пород с высокой сопротивляемостью эрозии.

В качестве примера рассмотрим широко известный водопад на р. Ниагара и два небольших водопада в долинах рек Саблинка и Тосна Ленинградской области, где студенты нескольких Санкт-Петербургских университетов уже многие годы проводят полевые занятия по геологии. Эти водопады отличаются по своим масштабам, но в то же время схожи по генезису.

Ниагарский водопад

Ниагарский водопад (Niagara Falls) расположен на р. Ниагара, разделяющей американский штат Нью-Йорк и канадскую провинцию Онтарио (рис. 1). Река Ниагара вытекает из оз. Эри и впадает в оз. Онтарио. На своём 56-километровом пути река опускается почти на 100 м. Пологий продольный профиль реки у озера Онтарио вверх по течению сменяется уступом высотой около 50 м, с которого низвергается водный поток. Его мощность $5700 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ и более.



Рис. 1. Общий вид Ниагарского водопада. Слева – американская часть водопада, справа – канадская. Между ними о. Козий (Интернет, Википедия)

На вершине уступа расположен о. Козий, разделяющий водопад на американский и канадский потоки. Ширина американского потока 305 м, канадского – 914 м. Таким образом, Ниагарский водопад по ширине фронта падающей воды более чем 1200 м является пятым в мире.

Основная масса воды проходит через его канадский поток, названный Подковообразным водопадом из-за вогнутой линии уступа. На американской стороне на расстоянии в 20 м от о. Козий находится небольшой о. Лунный. Водный поток между ними называется водопадом Центральным.

Высота уступа сохраняется на всём его протяжении, но в американской зоне у подножия уступа находится скопление обрушившихся блоков пород высотой до 21 м, поэтому видимая высота уступа американского водопада воспринимается значительно меньшей его реальной высоты.

Образование Ниагарского водопада относится ко времени окончания Висконсинского оледенения. Отступление ледника началось 10–12 тыс. лет назад и полностью завершилось около 7 тыс. лет назад. После схода ледника остался канал, пересекающий крутой доледниковый Ниагарский эскарп (Niagara Escarpment), по которому уходил поток тающей воды (рис. 2).

В результате продолжающихся последующих руслообразующих процессов начал формироваться современный продольный профиль р. Ниагары, унаследовавший выработанный ледником канал, пересекающий доледниковый крутонаклонённый уступ (Niagara escarpment).

Руслоуглубительная работа водотока выше существующего уступа стала затруднительной, когда был вскрыт пласт плотных верхнесилурийских доломитизированных известняков (локпортских), практически субгоризонтально залегающих на слабых легко размываемых нижнесилурийских породах, глинистых сланцах с тонкими прослоями известняков и песчаников. В результате глубоинной эрозии столь различных по стойкости пород в ложе реки на основе существовавшего доледникового уступа выработался современный вертикальный уступ, с которого низвергается водный поток. Плотные верхнесилурийские породы кровли уступа, слагающие около одной его трети, образовали временный базис эрозии.

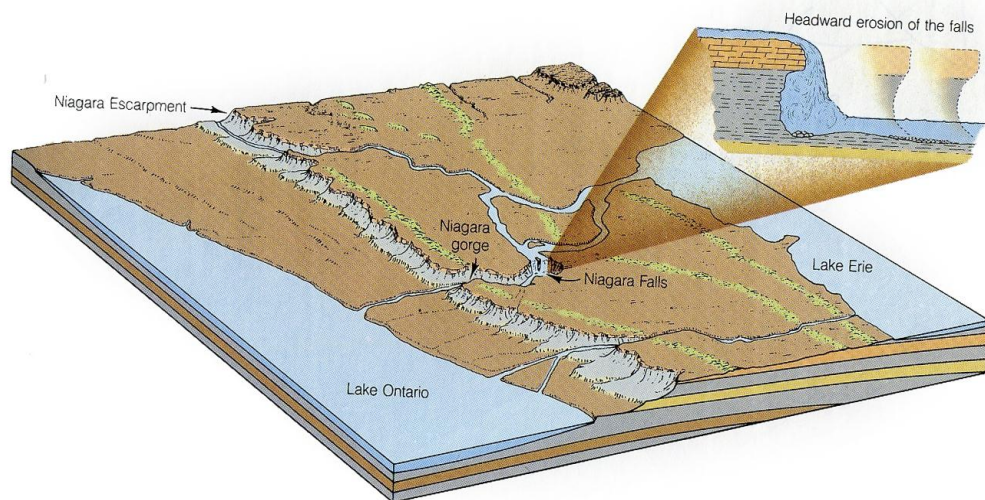


Рис. 2. Схема расположения Ниагарского водопада, дающая представление о геоморфологических особенностях его заложения

Падающая с 50-метрового уступа вода вместе с вращающимися у его основания блоками обрушившейся кровли врежется в песчаники русла реки, образуя жёлоб глубиной до 50 м (приблизительно равной высоте уступа). Вследствие такой активной глубинной эрозии долина реки становится ущельем. Края ущелья возвышаются на 60 м над водной поверхностью реки и на 110 м над её ложем. Река сужается до 100–130 м (почти в 10 раз!). Соответственно, её скорость резко возрастает.

Водный поток водопада сравнительно легко размывает песчано-глинистые породы основания уступа. В результате под кровлей уступа образуется ниша и карниз из плотных локпортских доломитизированных известняков. При достаточном увеличении полого пространства под карнизом происходит его обрушение, что приводит к отступанию водопада вверх по течению.

В 1931 г. рухнула плита кровли массой в 76 тыс. т, а в 1954 г. – в 185 тыс. т. Таким образом, отступление водопада происходит скачкообразно. Каждый скачок происходит одновременно с обрушением кровли.

За последние 10–12 тыс. лет Ниагарский водопад отступил на 11,5 км. Средняя скорость отступления за последние 500 лет составила 1–1,5 м/год. Сейчас водопад находится на 305 м выше по течению от того места, где его увидел французский исследователь Луи Эннепен в 1678 г. Таким образом, можно говорить, что за прошедшие 334 лет средняя скорость отступления Ниагарского водопада составила приблизительно 0,70 м/год, т.е., как и следовало ожидать, темп регрессивной эрозии сократился почти в 1,6 раза.

В настоящее время из-за отвода части водного потока для работы гидроэлектростанции и работ по сохранению водопада средняя скорость его отступления составляет около 0,30 м/год. Американская часть водопада отступает медленнее канадской из-за меньшей мощности водного потока и скопления у подножия уступа обрушившихся блоков доломитизированных известняков, что существенно затрудняет эрозию. С замедлением отступления водопада усиливается боковая эрозия.

Предполагается, что приблизительно через 30 тыс. лет Ниагарский водопад достигнет озера Эри и прекратит своё существование.

Водопады на реках Саблинка и Тосна (Ленинградская область)

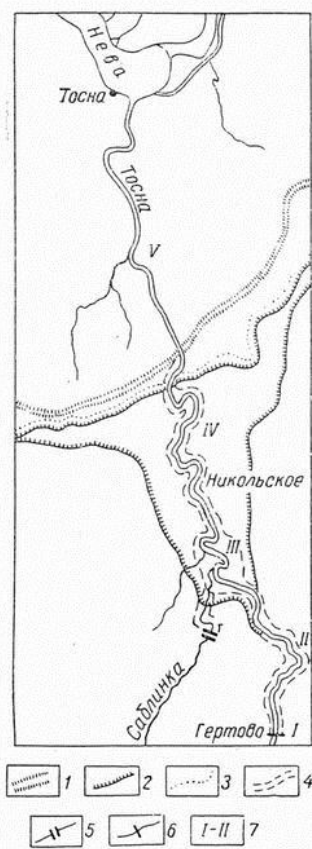


Рис. 3. Схема расположения основных геоморфологических участков долины р. Тосны [5]. 1 – береговой вал; 2 – каньонообразный участок долины; 3 – подножие нижнего уступа глинта; 4 – каньонообразный участок; 5 – водопад; 6 – пороги; 7 – номера участков.

Примечание: авторы схемы порогами называют водопад на р. Тосна у пос. Гертвова

Северо-Западная часть Русской платформы, как и район Великих озёр, является территорией обширного четвертичного оледенения с глубокой экзарацией ложа. Здесь в Ленинградской области полными аналогами Ниагарского водопада по возрасту и геологическому строению, но не по размерам, являются небольшие водопады на реках Саблинка и Тосна (рис. 3).

Река Тосна протекает по Ижорскому плато, имеющему абсолютные отметки 30–40 м, и сложенному нижнепалеозойскими осадочными породами. Она пересекает Балтийско-Ладожский уступ (глинт), далее проходит по Приневской низменности, впадая в Неву. Река Саблинка, левый приток реки Тосны, также начинается на Ижорском плато, частично пересекает глинт и, не доходя до его основания, впадает в р. Тосну.

Долины обеих рек формируются эрозионными процессами. Равнинный характер

рельефа, почти горизонтальное залегание пластов осадочных пород (угол падения колеблется от $0^{\circ}12'$ до $0^{\circ}49'$) и их литологический состав определяют характер речной эрозии. На Ижорской возвышенности реки протекают по площади со слабо расчленённым рельефом. Здесь течение рек медленное, глубинная эрозия незначительна, преобладает боковая эрозия, реки меандрируют.

Характер эрозионных процессов изменяется на участке так называемой Никольской котловины, именуемой также котлом (см. рис. 3). Здесь резко возрастает уклон поверхности и, соответственно, скорость течения. Начинает преобладать глубинная эрозия. Изменяются морфология и параметры речных долин. Долины врезаются в подстилающие горные породы, становятся каньонообразными, узкими с высокими и крутыми склонами.

Формироваться каньоны рек Тосны и Саблилки начали после окончания последнего валдайского оледенения около 10–11 тыс. лет назад, когда Иольдиевое море отступило, и обрывистый берег моря стал сушей. В рельефе образовался уступ – глинт, с которого начал низвергаться водный поток тогда ещё совсем молодой р. Тосны. Заметим, в этой ситуации можно говорить, что *Тосненский водопад является ровесником Ниагарского*.

Первоначально возникший Тосненский водопад отступал от основания глинта до впадения в Тосну р. Саблилки, где он разделился на два независимых водопада – Тосненский на р. Тосна и Саблинский на р. Саблинка (опять же похоже на разделение Ниагарского водопада на американский и канадский рукава).

Благодаря практически горизонтальному залеганию пластов на сравнительно малом расстоянии, менее 2 км, на склоне уступа вскрывается толща пород мощностью до 44–46 м. На этом участке речной поток раскрывает ордовикский и кембрийско-ордовикский водоносные горизонты, дренирование которых дополнительно усиливает интенсивность эрозионных процессов.

Геологический разрез Тосненско-Саблинского района приводится во многих работах [1–3]. Приведём описание одного из них [5].

Вскрываемые реками Тосна и Саблинка нижнепалеозойские породы имеют различную устойчивость к эрозии. Речной поток легко размывает породы, перекрывающие толстоплитчатые глауконитовые известняки (дикари), так же как и подстилающие их слои.

Сам же подгоризонт так называемых «дикарей» представлен плотными, трудно размываемыми известняками мощностью до 1,8 м. Они разбиты трещинами в направлениях 315°СЗ и 60°СВ , расположенными на расстоянии 2–3 м друг от друга. Физическое представление о них даёт фотография одного из обнажений (рис. 4).

Размыв пород, подстилающих толстоплитчатые известняки, усиливается за счёт инфильтрации в них воды по трещинам. Этому способствует также разгрузка подземных вод, находящихся над диктионемовыми сланцами. В результате под карнизом, образуемом плитами глауконитовых известняков, формируется ниша. Её увеличение приводит к периодическому обрушению известнякового карниза,

чему способствуют трещины в известняках. Схема этого процесса удачно иллюстрирована в уже упоминавшейся работе Г.Д. Селиванова и З.А. Сваричевской [6] (рис. 5).



Рис. 4. Студенты Горного института изучают глауконитовые известняки (дикари) на одном из обнажений р. Поповки (1953 г. Из фотоальбома А. Павлова)

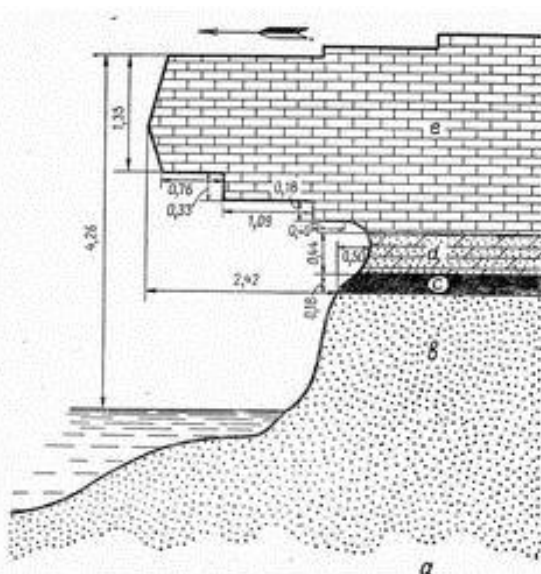


Рис. 5. Геологическое строение уступа водопада.
а – кембрийские глины; б – оболовые пески;
с – диктионемовые сланцы; d – глауконитовая толща;
е – глауконитовые толстоплитчатые известняки

Скорость отступления водопадов непостоянна. Она зависит от мощности водного потока, количества осадков, годового колебания температур, при которых трещины в известняках расширяются, и ряда других факторов. Этими же авторами был проведён анализ имевшихся ко времени публикации материалов, позволивший построить схему отступления Саблинского водопада и оценить средние скорости этого процесса за период с 1936 по 1966 г. (рис. 6).

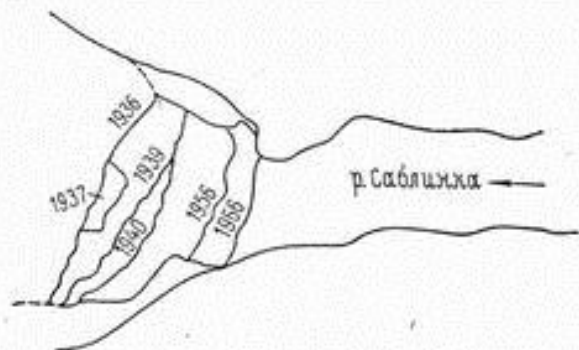


Рис. 6. Схема отступления водопада на р. Саблинки за тридцать лет

В соответствии с этой схемой было установлено, что за этот период величины скоростей колебались в пределах от 0,18 до 1,4 м/год.

Скорость продвижения Саблинского водопада оценивалась и другими авторами [4] – 0,27 м/год.

По Тосненскому водопаду такого рода наблюдений не было. Только сравнение фотографий 1982 и 2000 гг. позволило по его центральной части получить среднюю скорость, приблизительно равную 0,66 м/год. Существенная разница в скорости продвижения Саблинского и Тосненского водопадов связана с различной интенсивностью пятящейся эрозии, из-за разницы в объёмах водных масс и соответственно в мощностях водных потоков этих рек. При приблизительно одинаковых глубинах ширина водных потоков, падающих с уступа, составляет для Саблинского водопада около 7,8 м, а для Тосненского – 24,6 м. При поступлении паводковых вод мощность речных потоков существенно возрастает.

Когда р. Тосна выходит к основанию Балтийско-Ладожского уступа, уменьшается уклон и соответственно убывает гидравлическая энергия водного потока. Боковая эрозия становится преобладающей. Расширяются речные долины, течение замедляется. Это особенно заметно при выходе р. Тосны на Приневскую низменность через первые сотни метров после впадения в неё р. Саблинки. Здесь р. Тосна меандрирует, и её долина расширяется до 2–2,5 км.

Таким образом, на расстоянии не более 1,5–2 км изменяется характер русловых процессов, происходит изменение типа и интенсивности эрозионных процессов в зависимости от уклона земной поверхности и литологии пластов. На Ижорской возвышенности преобладает боковая эрозия. На Балтийско-Ладожском уступе резко возрастает глубинная (вертикальная) эрозия. После прохождения уступа снова усиливается боковая эрозия, и она становится основной при выходе р. Тосны на Приневскую низменность.

Сегодня в распоряжении авторов этой статьи появились новые материалы, которые позволяют ещё раз вернуться к обсуждению Тосненского и Саблинского феноменов.

Начнём с Саблинского водопада. На рис. 7 приведена его фотография, сделанная на полевых занятиях по геологии студентов гидрогеологической специальности Горного института (тогда ЛГИ) в 1953 г. К сожалению, его морфометрические измерения не сохранились. Но и без них, учитывая достаточно условный характер оценок по скорости отступления водопада, можно получить представление о его высоте над урезом воды. Студент, стоящий практически в воде, имеет рост 1,72 м. Второй перед ним – отличался высоким ростом, где-то около 1,9 м, хотя он и стоит сантиметров на 20 выше уреза воды. Ориентируясь на эти «эталоны», легко рассчитать высоту водопада – около 3,7 м (до верхней кромки плиты).

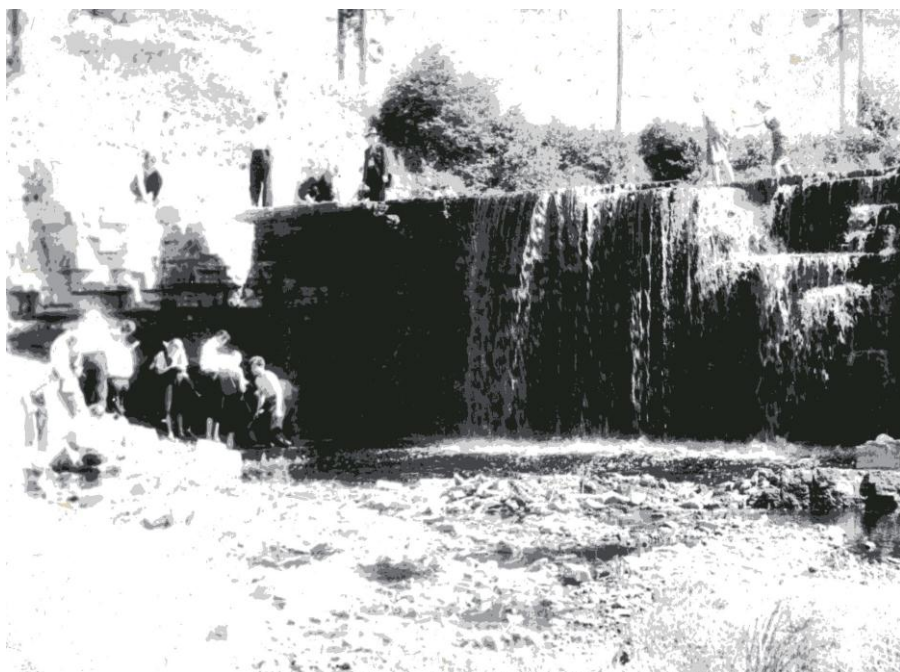


Рис. 7. Общий вид Саблинского водопада (1953 г. Из фотоальбома А. Павлова)

Следующая фотография (рис. 8) была получена в 2011 г. тоже на полевых занятиях по геологии, но уже студентов гидрологов Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ).



Рис. 8. Общий вид Саблинского водопада в 2011 г. (фото Е. Чурюлина)

Несмотря на то что под карнизом водопада видна небольшая ниша, можно с достаточной уверенностью говорить, что высота водопада практически совпадает с мощностью толстоплитчатых глауконитовых известняков (дикарей). Это хорошо видно по их обнажению на правом берегу. Напомним, что в соответствии с табл. 1, их мощность равна приблизительно 1,8.

Таблица 1

Геологический разрез района водопадов (с небольшими упрощениями)

Порода	Мощность, м
Суглинок валунный, переходящий в верхней части в почву	1,00
Известняк ортоцератитовый, разбитый крупными трещинами, сильно выветрелый	1,80
Оолиты фосфорно-железистые в мергелях (чечевичный слой)	0,45
Известняк тонкоплитчатый, глауконитовый с прослоями мергелей и глин (фризы)	2,57
Известняки, переслаивающиеся с мергелями и известковыми глинами (желтяки)	1,36
Известняки толстоплитчатые, глауконитовые (дикари), слагающие площадки и бровки водопадов	1,80
Мергель глауконитовый с глинистыми прослоями	0,36
Песчаник глауконитовый слегка глинистый	0,44
Сланец диктионемовый	0,10–0,16
Пески оболовые	Видимая мощность 0,65–1,40

Таким образом, удалось получить ещё одно значение высоты Саблинского водопада. Теперь составим табл. 2, в которую сведём известные нам данные с 1936 по 2011 г.

Таблица 2

Высоты Саблинского водопада по датам измерения

Годы	1936*	1953	1966*	2011
Высота водопада H , м	4,30	3,74	3,10	1,8
Координата времени, год	0	17	30	75

Примечание. * Данные взяты из работы [6].

По этим характеристикам можно построить зависимость $H(t)$ (рис. 9) и получить её математическое выражение:

$$H = H_0 - 0,033t. \quad (1)$$

Зависимости (1) можно доверять, поскольку она получена на основании натурных измерений. Однако эту уверенность не следует *безоговорочно* распространять как в будущее, так и в прошлое. Но соблазн такой есть. Сделаем это, не забывая, что для зависимости (1) временные границы составляют всего лишь 75 лет.

Предположив, что характер зависимости сохранится и в будущем, можно вычислить дату исчезновения Саблинского водопада. Для этого достаточно задаться условием $h = 0$. При этом $t = h_0/0,033 = 130$ лет. Поскольку это время отсчитано от даты 1936 г., легко увидеть, что дата исчезновения водопада на

р. Саблинке придётся на 2066 г. Так что это печальное событие, скорее всего, наши внуки смогут увидеть.

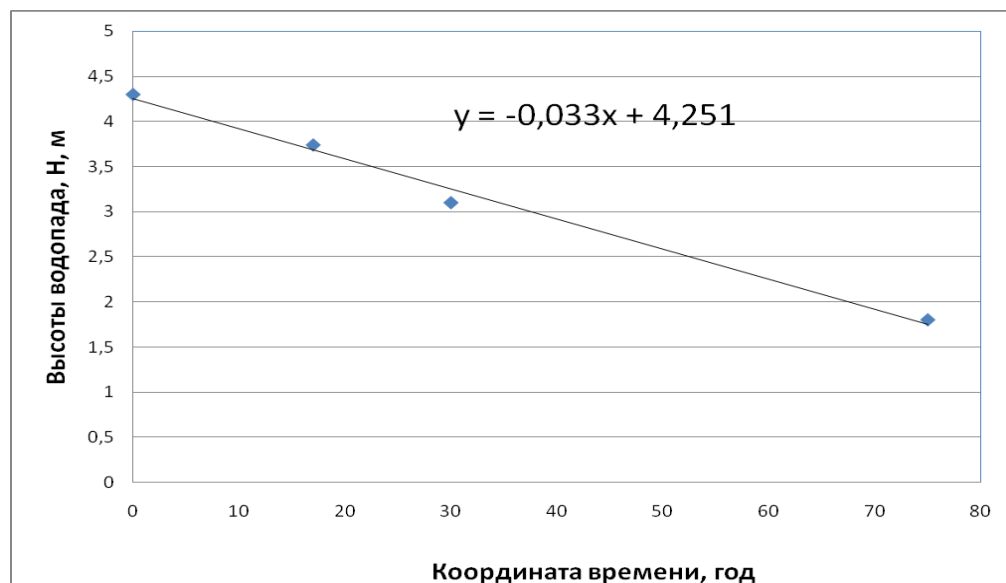


Рис. 9. Зависимость изменения высоты Саблинского водопада во времени за период наблюдений с 1936 по 2011 г. Коэффициент корреляции 0,996

Испытаем нашу зависимость (1) для реконструкции прошлого. В статье Г.Д. Селиванова и З.А. Сваричевской [6] приводится время заложения Саблинского водопада – 6800 лет назад. Естественно, оно получено на основании вынужденных предположений:

1. Расстояние современного водопада от начального его положения (устье современной Саблинки) ≈ 2400 м.
2. Средняя скорость его отступления за 30 лет (1936–1966) – 0,35 м/год.

Воспользовавшись временем 6800 лет, вычислим высоту начального водопада в устье Саблинки по формуле (1). Получим цифру порядка 220 м. Нетрудно показать, что она не может соответствовать действительности. Для этого достаточно получить суммарную мощность палеозойских отложений, вскрытых эрозией на участке впадения Саблинки в р. Тосна. В соответствии с данными различных разрезов, её среднюю величину можно принять равной 37,5 м. К тому же эта цифра хорошо согласуется со средней высотой Ижорского плато, на котором расположены реки Тосна и Саблинка. Заметим, что реальные обнажения на рассматриваемом участке обычно не превышают 30 м. Эту последнюю цифру и примем за расчётную при вычислении датировки зарождения Саблинского водопада по формуле (1). Вычисление даёт число – **780** лет. Знак минус показывает, что величина времени лежит в области слева от принятого нами нуля. Согласовав её с датами правой части шкалы (в принятой шкале ле-

тоисчисления – от рождества Христова), получим **1156** лет. Эта дата больше похожа на реальную. В пользу доверия к ней свидетельствует то, что расчётные параметры были получены на наблюдаемых объектах. Такая дата даёт новую среднюю скорость отступления Саблинского водопада за прошедшие 855 лет $(780+75) - 2400 \text{ м}/855 \text{ лет} = \mathbf{2,8 \text{ м/год}}$. Это существенно больше той цифры, которую принимали Г.Д. Селиванов и З.А. Сваричевская [1967]. Но она хорошо согласуется с тем положением, что скорость пятащейся эрозии у молодых рек больше, чем у зрелых и старых.

Тем не менее, некоторая неопределённость сохраняется. Она связана с общим неустранимым *принципом неразделимости и неслиянности* [5]. В данном случае речь идёт об условной правомерности использования формулы (1) за пределами принятой временной шкалы (в области дат до 1936 г).

Впрочем, такая правомерность довольно просто проверяется. Поскольку принимается (опять же!), что разделение Тосненского и Саблинского водопадов произошло где-то на участке Котла (см. рис. 3), то временные датировки их зарождения как автономных систем должны быть согласованными. Попробуем это проверить.

В прекрасной статье Г.Д. Селиванова и З.А. Сваричевской [1967], к которой мы постоянно обращаемся, утверждается, что современный Тосненский водопад уже давно переродился в пороги. О существовании же самого водопада мы можем судить лишь по остаткам его эвормионных котлов, местами сохранившихся в обнажениях по бортам русла (например, в левом борту, напротив деревни Пустынка). Об этом же могут говорить и омуты, интерпретируемые как чаши древних эвормионных котлов. Опираясь на такого рода находки, названные авторы считают, что до своего перерождения водопад проделал путь приблизительно в 4600 м. Чтобы эта цифра оказалась для нас полезной внимательно рассмотрим три фотографии (рис. 10, 11 и 12).

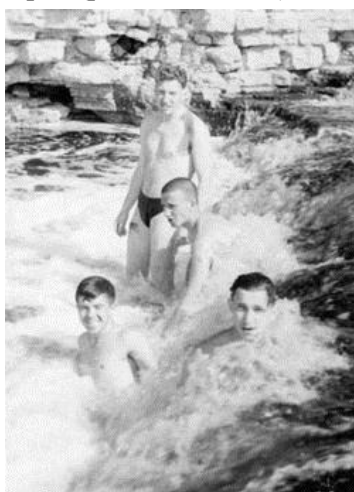


Рис. 10. Вид фрагмента Тосненского водопада (порога) (1953 г. Из фотоальбома А. Павлова)

На втором плане видны плиты береговых устоев разрушенного моста у д. Гертово (см. рис. 3). Студенты стоят на небольшом уступе порога. О его высоте судить трудно, потому что студенты расположились на одном из его уступов.



Рис. 11. Тосненский водопад. Общий вид. (2011 г. Фото Е. Чурюлина)

На правом берегу видна опора моста (та же, что и на фото 1953 г.). За прошедшие 58 лет водопад отступил довольно далеко.



Рис. 12. Тосненский водопад в конце марта 2012 г. (фото М.Ф. Мохнача). Судя по росту человека вдаль около уступа, высота водопада с учётом толщины льда может составлять 1,5–2,0 м

Измерения, проведённые М.Ф. Мохначом, показали, что в сравнении с 1953 г. водопад отступил от опоры где-то на 32 м (до самой вогнутой его части). Таким образом, можно констатировать – за прошедшие 59 лет средняя скорость пятащейся эрозии составила **0,54 м/год**.

По наблюдениям Н.А. Натальина [4], также полученным при сравнении фотографий (1982 и 2000 гг.), средняя скорость отступления составляла **0,66 м/год** (см. выше по тексту).

Ориентируясь на рис. 3, можно оценить приблизительное расстояние отступления Тосненского водопада от устья р. Саблилки в 6800 м. Время отступления, разумеется, для обоих водопадов должно быть одинаковым – 855 лет [в соответствии с формулой (1)]. Тогда средняя скорость пятащейся эрозии для реки Тосны составит $6800 \text{ м} / 855 \text{ лет} = \mathbf{7,95 \text{ м/год}}$. Таким образом, пятащаяся эрозия р. Тосны приблизительно в **2,8 раза** интенсивней, чем у р. Саблилки. Поскольку геологические условия развития этих рек одинаковы, резонно сравнить их средние многолетние расходы. К сожалению, таких данных мы не нашли. Но понимая, что климатические, морфологические и геологические условия их развития одинаковы, вместо расходов можно обратиться к водосборным площадям бассейнов этих рек. Площадь бассейна р. Тосна равна 1640 км², р. Саблилки – 73,2 км². Отношение первой ко второй равно 22,4. Однако *натуральный логарифм* этого числа равен **3,1**, что вполне удовлетворительно согласуется с полученным превышением скоростей пятащейся эрозии 2,8. Это как-то можно объяснить тем, что связь регрессивной эрозии с водосборной площадью реки связана не простым образом, а как минимум с тремя параметрами – средним многолетним расходом, прочностью эродируемого ложа и мощностью бронирующего слоя пород.

Это обстоятельство, вероятно, является довольно общим.

Оценим скорость пятащейся эрозии р. Тосны на участке от глинта, где начинался водопад, до устья р. Саблилки, где он разделился на две части. Судя по рис. 3, это произошло на расстоянии приблизительно в 4500 м от глинта. Высота начального уступа (у глинта) принимается геологами в 45 м (см. выше).

В соответствии с формулой (1) это произошло приблизительно за 450 лет. Тогда средняя скорость пятащейся эрозии на участке от глинта до устья Саблилки составляла порядка **10 м/год**.

Интересно, сравнить эту величину со скоростью отступления Ниагарского водопада. Считается, что за последние 10–12 тыс. лет он продвинулся вверх по течению 11,5 км (см. выше). Разделив эту длину на время, получим **1,0 м/год**.

Выходит, что пятащаяся эрозия р. Тосны практически в 10 раз интенсивней, чем у Ниагарского водопада, хотя у того эрозионные возможности выше на многие порядки. Скорее всего, причина здесь кроется в существенном отличии геологического разреза. Доломитизированные известняки, бронирующие поверхность Ниагарского водопада, намного мощнее и крепче, чем известняки (дикари) в русле р. Тосны.

По литературным источникам известно, что мощность доломитизированных известняков локпортского горизонта, слагающих ложе Ниагарского водопада, составляют приблизительно треть высоты его уступа, что составляет примерно 17 м. Эта цифра как раз превышает мощность глауконитовых толстоплитчатых известняков (дикарей) в ложе Тосненского водопада почти в 10 раз. Таким образом, появляются основания полагать, что развитие Тосненской и Ниагарской системы водопадов происходит по одной генетической схеме.

Авторы уверены, что дальнейшие исследования этого вопроса подтвердят их позицию.

Замечания

В основу изложенных представлений положены расчёты по формуле (1), полученной на основании прямых измерений отступления водопада на р. Саблинке. Однако интерполяции её в область более ранней истории могут вызывать сомнения. Они связаны в основном с высокими скоростями пятащейся эрозии, существенно отличающимися от оценок других исследователей. Не исключено, что линейный закон формулы (1) может быть лишь «хвостиком» другой зависимости высоты водопада от времени. Такой зависимостью может оказаться логистический закон. Очевидно, что его принятие существенно удлинит временную шкалу, начатую нами от 1936 г., в прошлое. *Правда, тогда придётся говорить, что начальная скорость эрозии отступления была небольшой и только со временем стала возрастать, снова уменьшаясь к нашим дням.* При этом надо помнить, что логистическая функция является асимптотической и потому начало и конец существования водопадов не могут быть однозначно зафиксированы на временной шкале. Такое обстоятельство выглядит нормальным, поскольку рождение и смерть водопада должны быть определены на понятийном уровне.

Таким образом, предложенная авторами работа не закрывает проблему водопадов, а стимулирует дальнейшие поиски в направлении выявления закономерностей их появления и развития.

Литература

1. Мохнач М.Ф., Прокофьева Т.И. Методическое пособие по учебной геологической практике. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 56 с.
2. Мохнач М.Ф. Особенности речной эрозии Балтийско-Ладожского уступа (на примере рек Тосны и Саблинки) // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 6, с. 78–81.
3. Натальин Н.А. Путешествие в геологию Тосненского района / В кн.: Экскурсии в геологию, т. 3. – СПб.: МК ГШВ, 2005, с. 63-77.
4. Натальин Н.А. Природно-геологическая история местности / В кн.: Натальин Н.А., Ляхницкий Ю.С. и др. Саблино – неизвестная страна. Уникальные памятники природы России. – СПб.: ЛООО «Сохранение природы и культурного наследия», 2007, с. 14-49.
5. Павлов А.Н. Методологические основания современной геологии. – СПб.: РГГМУ, 2009. – 113 с.
6. Селиванов Г.Д., Сваричевская З.А. Водопад на р. Саблинке (Ленинградская область) // Вестник ЛГУ, 24. Геология и география, 1967, вып. 4, с. 152-158.
7. Hamblin W.K., Christiansen E.H. Earth's dynamic systems. Prentice-Hall, Inc., 1995, 710 p.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

А.С. Зарубин, А.И. Погорельцев

**ПЛАНЕТАРНЫЕ ВОЛНЫ В ЗИМНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ
СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ НА ОСНОВЕ
ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА COSMIC**

A.S. Zarubin, A.I. Pogoreltsev

**PLANETARY WAVES IN THE WINTER STRATOSPHERE
OF NORTHERN HEMISPHERE ON THE BASIS
OF COSMIC EXPERIMENT OBSERVATIONS**

Данные о температуре, полученные в эксперименте по радиозатменному зондированию атмосферы COSMIC, используются для изучения изменчивости активности планетарных волн на высотах стратосферы. Разделение волн на стационарные и бегущие позволяет исследовать их амплитуды, периоды и направление распространения. Проводится сопоставление полученных результатов с характеристиками волн, полученными из анализа данных UK Met Office.

Ключевые слова: стратосфера, планетарные волны, радиозатменные наблюдения.

Temperature data from the COSMIC radio occultation sounding experiment are used to study the variability of planetary wave activity at stratospheric heights. Separation of the waves on stationary and travelling allows us to investigate their amplitudes, periods and direction of propagation. The results are compared with the wave characteristics obtained from analysis of UKMO data.

Key words: stratosphere, planetary waves, radio occultation measurements.

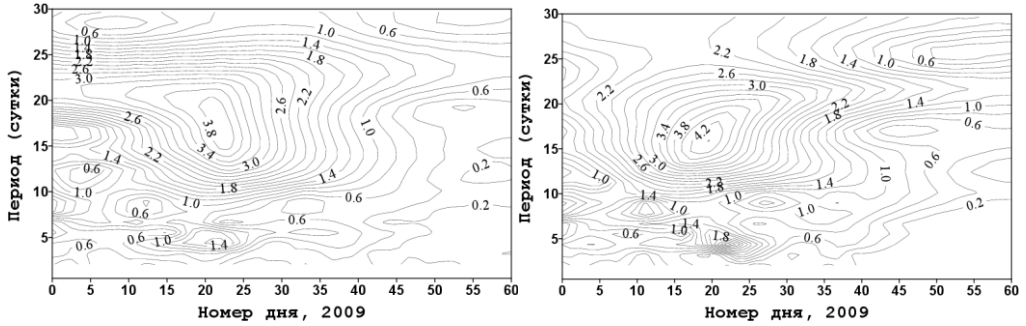
Изучение изменчивости динамических процессов в стратосфере является важной фундаментальной задачей физики атмосферы. Одним из основных объектов исследования служат волны планетарного масштаба. В результате диссипации в стратосфере и выше в мезосфере и термосфере, волны передают переносимые энергию и импульс среде, тем самым воздействуя на тепловой баланс и циркуляцию атмосферы. Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием различных систем наблюдения за состоянием и динамикой атмосферы, идет накопление новых экспериментальных данных, требующих дальнейшего осмысления, обработки и интерпретации. Одним из источников информации о глобальном распределении метеорологических полей стали данные радиозатменного зондирования атмосферы эксперимента COSMIC/FORMOSAT-3 (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, в дальнейшем COSMIC).

В рамках проекта COSMIC была сформирована группировка из 6 низкоорбитальных спутников, которая в течение суток проводит около 2000 зондирований атмосферы по всему земному шару, в том числе над океанами и труднодоступными районами суши [Anthes et al., 2008]. Значения температуры воздуха в диапазоне высот от 5 до 25 км определяются с погрешностью менее 1К. На высотах выше 25 км ошибки определения температуры возрастают из-за влияния ионосферных флуктуаций и на высоте 50 км составляют около 5К [Rocken et al., 2004]. Отличительной особенностью радиозатменного метода зондирования является возможность получения вертикальных профилей в условиях облачной атмосферы, поскольку влияние гидрометеоров на значения показателя преломления незначительны.

Основная трудность при использовании данных радиозатменных наблюдений для анализа динамических процессов в атмосфере заключается в их крайне нерегулярном распределении в пространстве и времени. Для перехода к регулярной сетке использовалась аппроксимация распределения температуры на каждом уровне и в широтных поясах по 10 градусов, центрированных на широтах сетки Модели Средней и Верхней Атмосферы (МСВА) [Погорельцев, 2007; Pogoreltsev et al., 2007]. Аппроксимация данных производится по методу наименьших квадратов с использованием сингулярного разложения матрицы системы нормальных уравнений [Форсайт и др., 1980], при этом учитываются постоянная составляющая, линейная зависимость от широты и три гармоники с зональными волновыми числами $m = 1-3$. К временным рядам, восстановленным с помощью полученных амплитуд и фаз гармоник на долготах, смещенных на четверть длины волны, применяется вейвлет-преобразование Морле [Togence and Compo, 1998], что позволяет в дальнейшем разделить волны на стационарные (неподвижные относительно земной поверхности) и бегущие на запад и восток. В работе [Зарубин и др., 2012] были приведены предварительные результаты анализа данных о температуре эксперимента COSMIC, а также было показано, что амплитуды и распределения осцилляций по данным о температуре проекта COSMIC и данным, ассимилированным в модели UK Met Office [Погорельцев и др., 2009] качественно (а частично и количественно) совпадают. На рис. 1–3 в качестве примера показаны вейвлет амплитуды осцилляций стационарной волны, а также вейвлет амплитуды волн, распространяющихся на восток и запад, по данным, полученным в ходе эксперимента COSMIC, и данным модели UK Met Office для января–февраля 2009 г. на высоте 30 км и широте 67.5N.

Усредненные за январь–февраль амплитуды осцилляций стационарной волны и бегущих планетарных волн в поле температуры на высоте 30 км и широте 67.5N для 2008–2011 гг. показаны на рис. 4–6. В 2008 г. наблюдалась большая амплитуда бегущей на восток планетарной волны, что, по-видимому, указывает на быстрое затухание этой волны с высотой. Для распространяющихся на запад планетарных волн в отдельные годы прослеживаются максимумы на частотах близких к резонансным, в частности, в 2010 г. видны максимумы ам-

плитуд на периодах около 10 и 16 суток, которые могут быть интерпретированы как проявления нормальных атмосферных мод (1,2) и (1,3), т.е. 10- и 16-дневных волн.



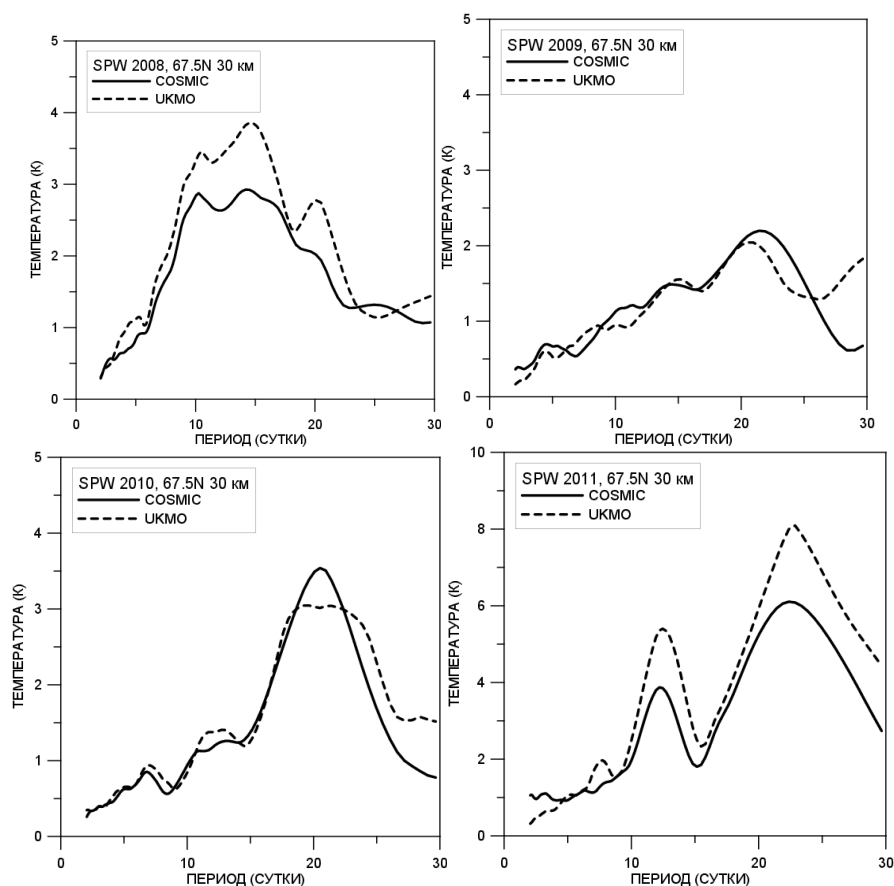
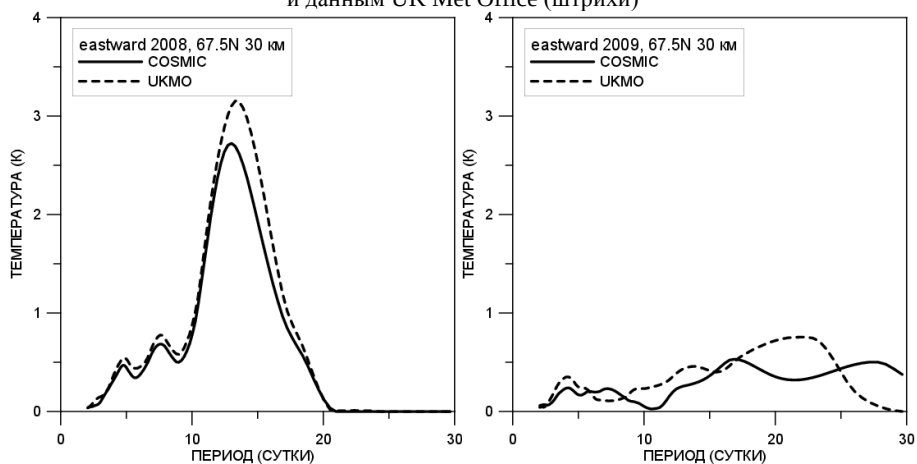


Рис. 4. Усредненные за январь-февраль амплитуды осцилляций стационарной волны ($m = 1$) по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия) и данным UK Met Office (штрихи)



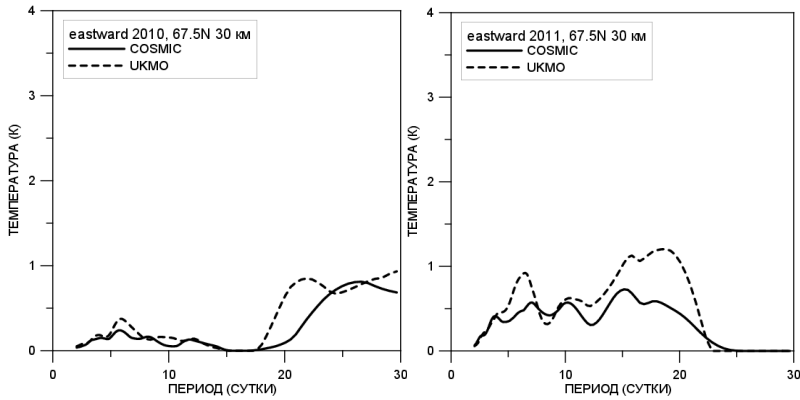


Рис. 5. Усредненные за январь-февраль амплитуды бегущих на восток планетарных волн ($m = 1$) по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия) и данным UK Met Office (штрихи)

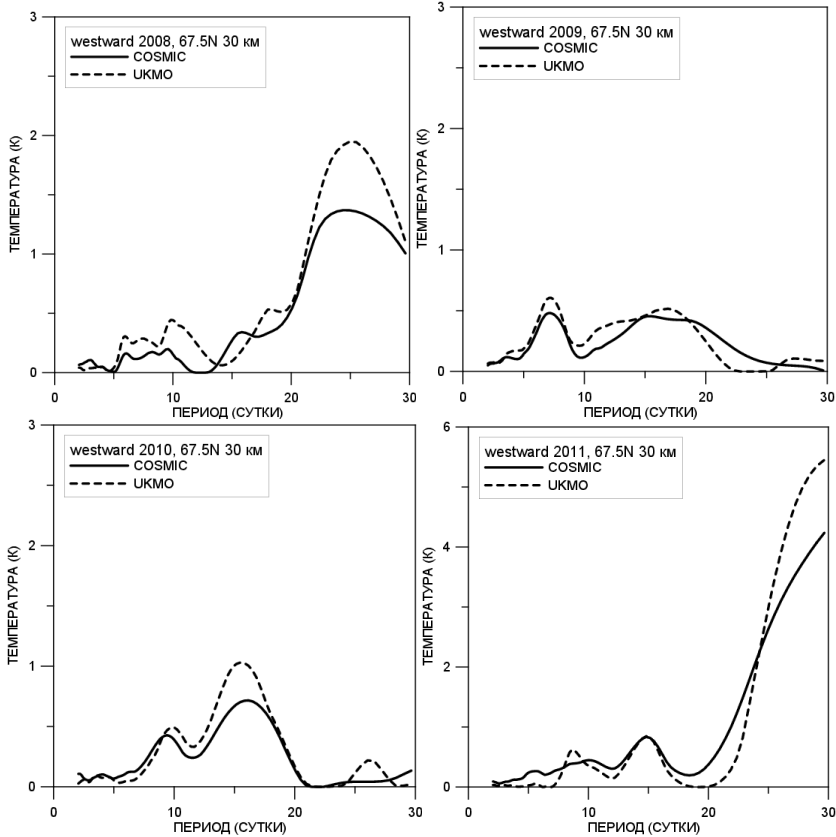


Рис. 6. Усредненные за январь-февраль амплитуды бегущих на запад планетарных волн ($m = 1$) по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия) и данным UK Met Office (штрихи)

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что данных о температуре эксперимента COSMIC вполне достаточно для обнаружения планетарных волн на высотах стратосферы, однако, амплитуды осцилляций в полях температуры характеризуют главным образом условия распространения волн. Используя уравнение гидростатики, по данным о температуре были восстановлены поля геопотенциальной высоты, к которым затем применялся тот же метод для определения характеристик планетарных волн, что и для температуры.

На рис. 7–9 в качестве примера приведены вейвлет-амплитуды осцилляций стационарной волны, а также вейвлет-амплитуды волн, распространяющихся на восток и запад, в поле геопотенциальной высоты, восстановленном по данным о температуре эксперимента COSMIC, и по данным модели UK Met Office для января-февраля 2009 г. на высоте 30 км и широте 67.5N. Из рисунков видно, что амплитуды и распределения осцилляций для бегущих планетарных волн в поле геопотенциальной высоты, восстановленном по данным COSMIC, и по данным UK Met Office хорошо согласуются. Для осцилляций стационарной волны результаты несколько различаются, что может быть связано с внутренней изменчивостью, которую генерирует модель UK Met Office (особенно в условиях возмущенной атмосферы).

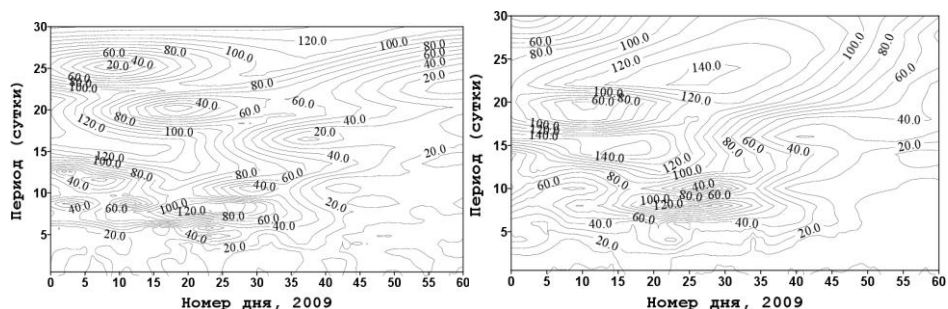


Рис. 7. Вейвлет-амплитуды осцилляций стационарной волны ($m = 1$) в поле геопотенциальной высоты, восстановленном по данным о температуре эксперимента COSMIC (слева), и по данным UK Met Office (справа)

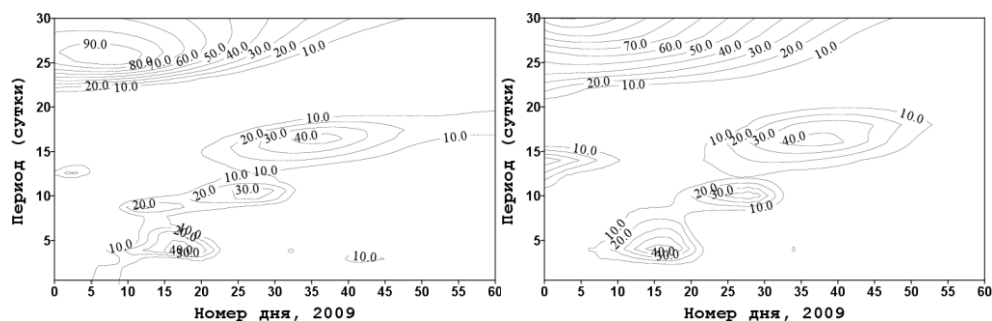


Рис. 8. Вейвлет-амплитуды бегущих на восток планетарных волн ($m = 1$) в поле геопотенциальной высоты, восстановленном по данным о температуре эксперимента COSMIC (слева), и по данным UK Met Office (справа)

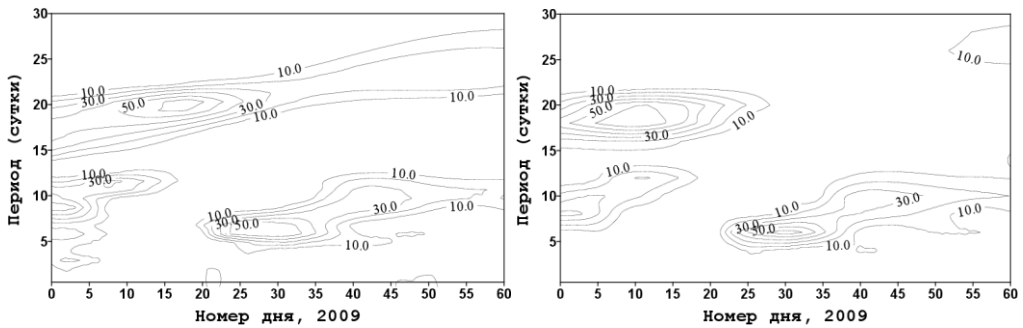
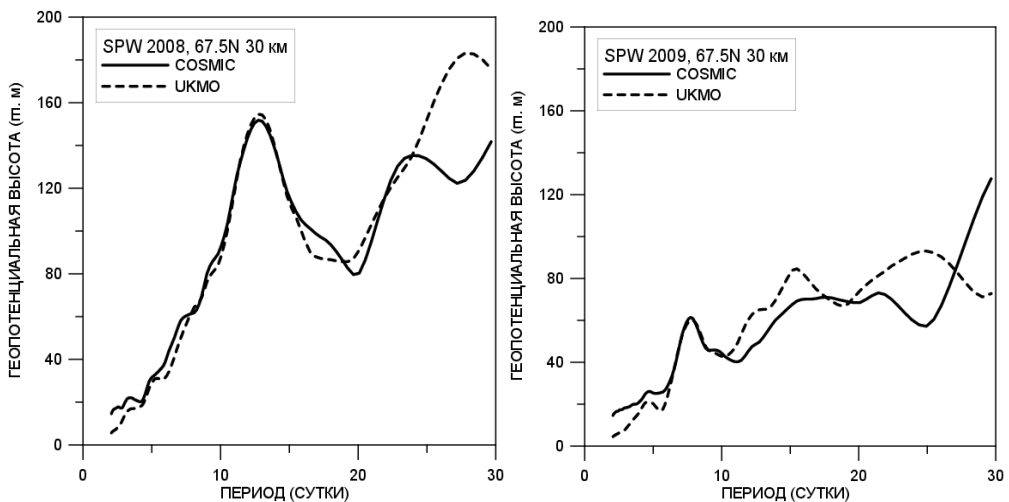


Рис. 9. Вейвлет-амплитуды бегущих на запад планетарных волн ($m = 1$) в поле геопотенциальной высоты, восстановленном по данным о температуре эксперимента COSMIC (слева), и по данным UK Met Office (справа)

На рис. 10–12 показаны усредненные за январь–февраль амплитуды осцилляций стационарной волны и бегущих планетарных волн в поле геопотенциальной высоты на высоте 30 км и широте 67.5N для 2008–2011 гг. Как видно из рисунков, наблюдаемые максимумы амплитуд осцилляций по данным COSMIC и данным UK Met Office качественно совпадают, некоторые различия, как отмечалось ранее, могут быть вызваны внутренней изменчивостью, генерируемой моделью UK Met Office. Эта изменчивость, а также возрастающая с высотой погрешность при измерении температуры в эксперименте COSMIC за счет ионосферных флуктуаций могут объяснить расхождения в значениях амплитуд волн. Анализ результатов показал, что в полях геопотенциальной высоты глобальные резонансные колебания прослеживаются лучше, например, для 2008 г. отчетливо видны максимумы амплитуд на периодах около 5, 10 и 16 суток, в то время как в поле температуры эти проявления нормальных атмосферных мод слабо выражены.



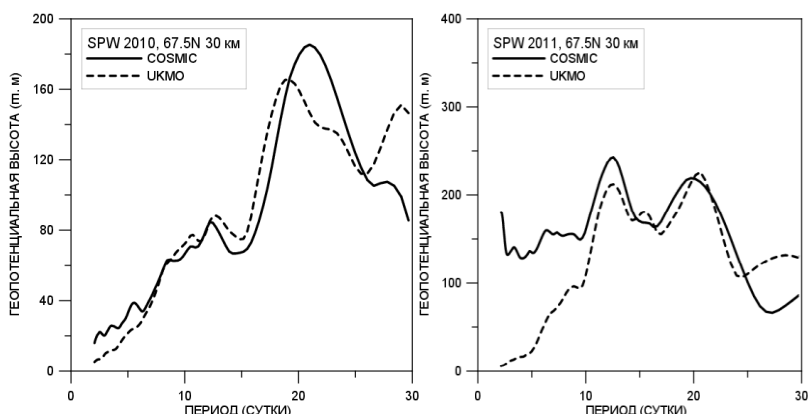


Рис. 10. Усредненные за январь–февраль амплитуды осцилляций стационарной волны ($m = 1$) в полях геопотенциальной высоты, восстановленных по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия), и по данным UK Met Office (штрихи)

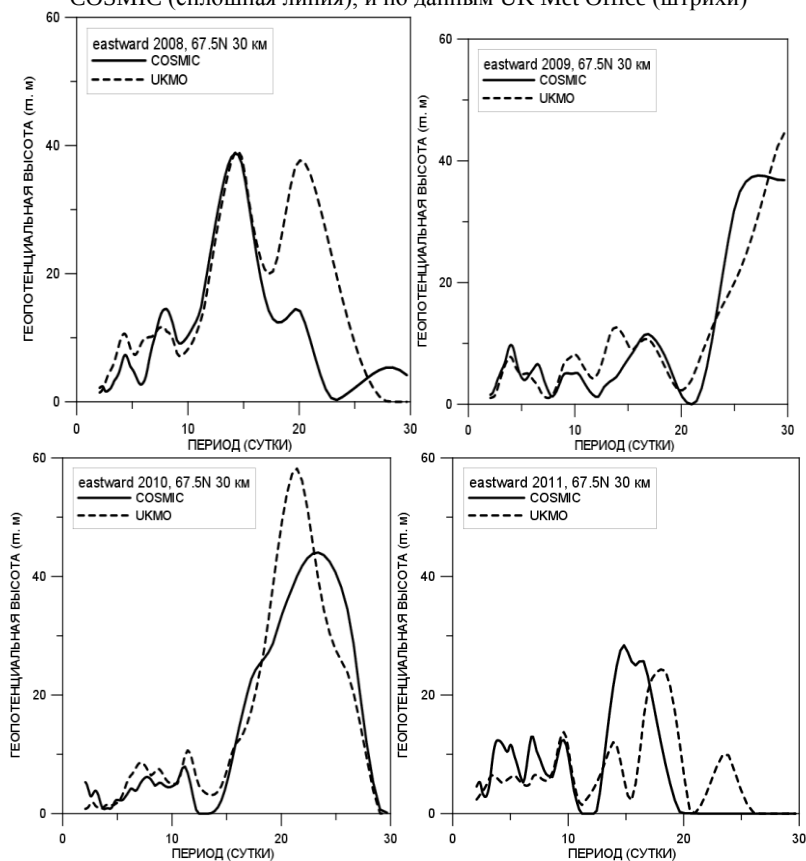


Рис. 11. Усредненные за январь–февраль амплитуды бегущих на восток планетарных волн ($m = 1$) в полях геопотенциальной высоты, восстановленных по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия), и по данным UK Met Office (штрихи)

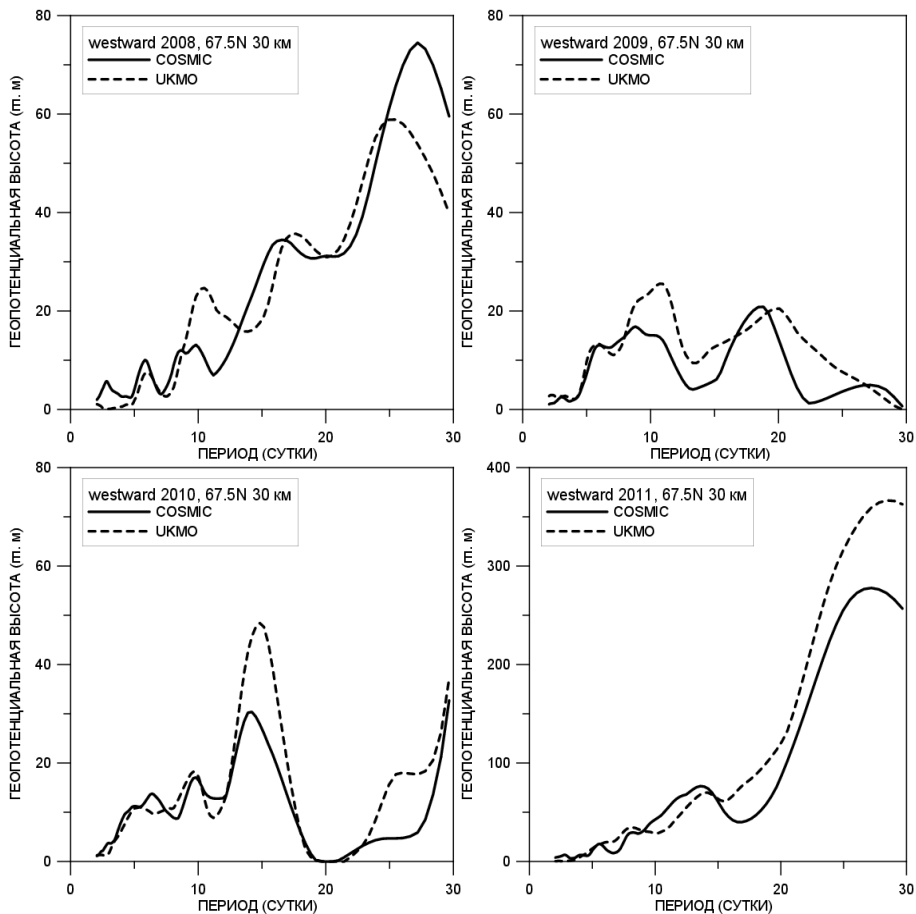


Рис. 12. Усредненные за январь–февраль амплитуды бегущих на запад планетарных волн ($m = 1$) в полях геопотенциальной высоты, восстановленных по данным о температуре эксперимента COSMIC (сплошная линия), и по данным UK Met Office (штрихи)

Литература

1. Зарубин А.С., Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Планетарные волны в стратосфере на основе анализа радиозатменных наблюдений эксперимента COSMIC // Труды II Всеросс. науч. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Т. 2, с. 193-197.
2. Погорельцев А.И. Генерация нормальных атмосферных мод стратосферными вассилляциями // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, № 43, № 4, с. 463-475.
3. Погорельцев А.И., Савенкова Е.Н. Межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы // Уч. зап. РГТМУ, 2009, № 11, с. 53-62.
4. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980. – 280 с.
5. Anthes R. A., Bernhardt P.A., Chen Y., Cucurull L., Dymond K.F., Ector D., Healy S.B., Ho S.-P., Hunt D.C., Kuo Y.-H., Liu H., Manning K., McCormick C., Meehan T.K., Randel W.J., Rocken C., Schreiner W.S., Sokolovskiy S.V., Syndergaard S., Thompson D.C., Trenberth K.E., Wee T.-K., Yen

- N.L., Zeng Z. The COSMIC / FORMOSAT-3 Mission. Early results // Bull. American Meteorological Society. 2008. Vol. 89. P. 313-333.
6. Pogoreltsev, A.I., A.A. Vlasov. K. Fröhlich, and Ch. Jacobi, 2007: Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 69, 2083-2101, doi:10.1016/j.jastp.2007.05.014.
 7. Rocken C., Kuo Y.-H., Sokolovskiy S., Anthes R. A. The ROCSAT-3/COSMIC Mission and Applications of GPS Radio Occultation Data to Weather and Climate // in Remote Sensing Applications of the Global Positioning System / Edited by Michael Bevis, Yoshinori Shoji, Steven Businger. – Proceedings of SPIE. – 2004. – Vol. 5661 (SPIE Bellingham, WA). P. 1-12.
 8. Torrence Ch., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis// Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1998. Vol. 79. № 1. P. 61–78.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 11-05-00971, № 12-05-31423).

Т.В. Суходолов, С.П. Смышляев

**МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ НА ГАЗОВЫЙ СОСТАВ
И ТЕМПЕРАТУРУ АТМОСФЕРЫ**

T.V. Sukhodolov, S.P. Smyshlyev

**A MODEL STUDY OF THE LIGHTNING SPACIAL DISTRIBUTION
IMPACT ON THE ATMOSPHERIC COMPOSITION
AND TEMPERATURE**

В данной работе рассмотрены методы учета молниевых источников окислов азота в глобальных моделях и проведено модельное исследование влияния горизонтального и вертикального распределения грозовых вспышек на газовый состав и температуру атмосферы. Результаты моделирования показали ощутимый отклик атмосферы к вариациям распределения, что свидетельствует о важности правильного учета молниевых окислов азота в глобальных моделях и необходимости исследования обратной связи между изменением климата и молниевой активностью.

Ключевые слова: молниевая активность, горизонтальное и вертикальное распределение грозовых вспышек, окислы азота, озон, температура.

In this work the methods of accounting lightning source of nitrogen oxides (NO_x) in global models are discussed. The modeling study of the effect of horizontal and vertical distribution of lightning flashes at the gas composition and temperature of the atmosphere was conducted. The simulation results show significant response of atmosphere to distribution variations, which shows the importance of correct accounting of lightning NO_x in global models and the need to study the feedback between climate change and lightning activity.

Key words: lightning activity, horizontal and vertical distribution of lightning flashes, nitrogen oxides, ozone, temperature.

Введение

Грозовая активность, включающая в себя частоту повторяемости гроз и количество образовавшихся молниевых разрядов, является одной из характеристик атмосферных процессов, представляющих особую важность для жизни и деятельности человека: удары молнии бывают причиной пожаров и разрушений построек, повреждений линий электропередач, а также гибели людей, встреча с грозой опасна для самолета. Молниевые разряды являются одним из основных источников лесных пожаров. По данным Всемирной метеорологической организации, материальный ущерб, причиняемый молниями только за один год по всему земному шару, составляет более 100 млн долларов [1]. В ряде исследований отмечается, что ожидается увеличение количества молниевых вспышек на 4–60% на каждый градус потепления [2].

Помимо этого, грозы непосредственно оказывают влияние на газовый состав воздуха как в региональном масштабе, так и в глобальном, с чем связано все возрастающее внимание к этому явлению как к источнику окислов азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) [2]. В раскаленных до огромных температур каналах молнии молекулы кислорода и азота диссоциируют и при дальнейшем охлаждении канала объединяются в молекулы окислов азота. Окислы азота имеют высокую химическую активность и являются очень важными газами для атмосферной химии, поскольку они оказывают непосредственное влияние на содержание озона – в тропосфере за счет увеличения окислительной способности атмосферы они способствуют образованию озона, а в стратосфере они ответственны за разрушение озона в азотных каталитических циклах (около 70 %). В тропосфере озон обнаруживает токсичные и парниковые свойства, а в стратосфере защищает биосферу от жесткого ультрафиолетового излучения Солнца [3]. Таким образом, окислы азота при увеличении их концентраций в тропосфере и стратосфере ухудшают экологическую ситуацию, связанную с атмосферным содержанием озона.

Молниевая продукция (LNO_x) является одним из основных источников окислов азота в атмосфере (5 ± 3 Тг/год) и единственным крупным источником, удаленным от поверхности [4]. С высотой увеличивается время жизни NO_x и, следовательно, влияние, оказываемое ими на химию атмосферы.

Грозовая продукция окислов азота имеет наибольшую неопределенность среди всех остальных источников [4], которая обусловлена тем, что в зависимости от локальных метеорологических условий может образовываться разное количество NO_x . Целью настоящей работы является исследование влияния вариации распределения LNO_x на газовый состав и температуру атмосферы.

Методика исследования

Важность LNO_x для химии как тропосферы, так и стратосферы, заставляет учитывать этот источник при моделировании распределения озона и других химически активных газов атмосферы с использованием фотохимических и химико-климатических моделей. Однако, поскольку молниевые эффекты являются подсчетными процессами даже для региональных моделей и не могут быть явно описаны, используются косвенные методы их учета. Долгое время в моделях фотохимии использовались климатологические оценки, т.е. осредненные за длительный период данные [5]. Однако молниевая активность может существенно меняться в зависимости от региональных и глобальных условий как в пространстве, так и во времени. В связи с чем начали появляться физические параметризации, позволяющие учесть условия формирования молниевых разрядов.

Задача параметризации молниевых источников NO_x разделяется на три части: параметризация горизонтального распределения молниевых разрядов, определение количества образовавшихся в этих разрядах LNO_x и его распределение по вертикали. С каждой из трех частей связан ряд неопределенностей и допущений.

Для моделирования горизонтального распределения грозовой деятельности в последние десятилетия был создан ряд параметризаций на основе связи числа молниевых разрядов в кучево-дождевом облаке с величинами, характеризующими его мощность, такими, как высота верхней границы облака, конвективные осадки, темпы восходящих потоков массы, энергия неустойчивости и другими. Стоит отметить, что успешность параметризаций существенно отличается в различных моделях, что связано с особенностями моделей и в первую очередь с тем, как в модели описывается конвекция.

С химико-климатической моделью, разработанной в РГГМУ и ИВМ РАН, для выбора подходящей схемы были проведены расчеты с тремя параметризациями: на основе высоты верхней границы облака [6], конвективных осадков [7] и толщины слоя холодного облака [8]. Модель имеет следующие характеристики: 39 уровней по вертикали (0–90 км, 14 в тропосфере), 72 узла по долготе, 45 узлов по широте. Фотохимический блок включает в себя 74 газа, 174 химических реакции, 51 процесс фотодиссоциации, 29 гетерогенных реакций. Конвекция в модели рассчитывается раз в час [9].

Результаты моделирования частоты молниевых вспышек в сравнении со спутниковыми данными приборов OTD и LIS [10] приведены на рис. 1. Из результатов видно, что во всех трех случаях отмечаются схожие расхождения со спутниковыми данными в распределении интенсивности трех основных мировых центров грозовой активности (Африка, Юго-Восточная Азия, Южная Америка) и недооценка разрядов средних широт. Также параметризации по конвективным осадкам и толщине холодного облака значительно завышают молнии над океанами.

Выявленные недостатки связаны с рядом причин: во-первых, с тем, что, как уже отмечалось, параметризация молний использует выходные параметры конвективной схемы, ошибки в которой могут существенно сказываться на результатах, а во-вторых, с несовершенством самих молниевых параметризаций, которые были получены на основании измерений в определенных областях и могут не отражать особенности других областей.

Для дальнейшей работы была выбрана параметризация на основе верхней границы облака, показавшая наименьшие недостатки. Для лучшего соответствия данным измерений был предложен механизм корректировки модельных оценок.

Для каждого узла модельной сетки было рассчитано отношение модельных молний к спутниковым в каждый момент времени и проведено осреднение по месяцам. В случаях, когда модельные значения были равны нулю, коэффициент принимался равным спутниковому значению. Таким образом, были получены коэффициенты для каждой модельной точки, которые должны корректировать результаты параметризации. Данный подход позволил, хоть и в статистической форме, но учесть особенности каждого региона, и сохранить при этом обратную связь с изменением локальной погоды и климата.

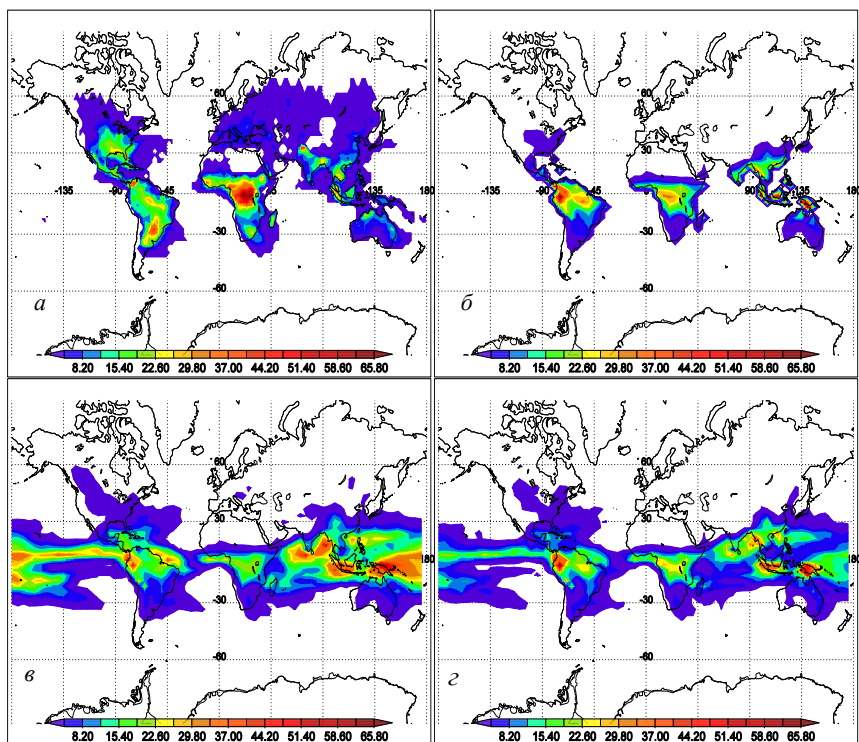


Рис. 1. Средняя частота молниеобразования (количество вспышек/км²/с). Спутниковые данные (а), результаты моделирования с параметризацией на основе высоты верхней границы облака (б), на основе толщины слоя холодного облака (в), на основе конвективных осадков (з)

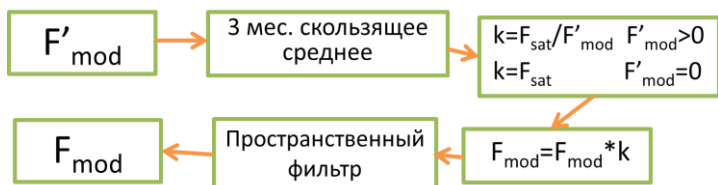


Рис. 2. Механизм корректировки модельной грозовой активности с помощью спутниковых данных

Даже после достаточно точного определения горизонтального распределения молний, связанная с NO_x неопределенность остается, поскольку количество NO_x производимое за вспышку не является постоянным. Оно зависит от силы, протяженности, разветвленности, типа и других характеристик вспышки. Широкий диапазон параметров связан как с разнообразием физических условий грозы в атмосфере, так и все еще с недостаточным пониманием физики явления.

В первую очередь, для тропосферных разрядов остается не вполне ясным вопрос об энергетике диссипации молниевых каналов и о роли ударной волны, в связи с чем, и пространственно-временная картина генерации окислов азота

является гипотетической. Во-вторых, остается неясным вклад процессов, протекающих в более холодной (по сравнению с плазмой канала молнии) неравновесной плазме многочисленных стримеров молнии. Наконец, в последнее время возникли новые вопросы, обусловленные открытием разрядов в средней атмосфере [11]. Поэтому в глобальных моделях, как правило, делается предположение, что все вспышки на земном шаре делятся всего на два типа: внутриоблачные (ВО) и вспышки облако–земля (ОЗ).

Имеющиеся в литературе расчеты количества окислов азота, генерируемых при молниевых вспышках, опираются на оценки скорости продукции окиси азота одной вспышкой, основанные на теоретических расчетах, лабораторных измерениях или натурных измерениях. Результаты этих расчетов имеют достаточно широкий диапазон; они обсуждаются в ряде обзоров, из которых наиболее полным является обзор [2], где подробно освещены и теоретические, и экспериментальные работы по проблеме генерации окислов азота молниевыми разрядами. В итоге приводится наилучшая оценка в 250 (33– 660) моль NO_x за вспышку.

Что касается отношения продуктивности ВО вспышек (P_{IC}) к ОЗ (P_{CG}), то множество работ было основано на ранних оценках, что ВО вспышки являются менее мощными, чем ОЗ и, соответственно, производят меньше NO_x . Однако более поздние работы показывают, что величина P_{IC} может быть близка к P_{CG} и даже превышать ее [12]. Следовательно, не потребовалось деления по типу молнии, что несколько упростило задачу, поскольку отпадает необходимость использования дополнительной параметризации для определения количества ВО вспышек.

Также результатом нескольких работ стало предположение, что среднеширотные вспышки могут быть в 4 раза продуктивнее экваториальных, что связано с большим максимальным током [2].

Разрешающая способность глобальных моделей не позволяет описывать форму отдельных молний, поэтому для вертикального распределения LNO_x в глобальных моделях используются вертикальные профили, представляющие собой общую модель результирующей продукции LNO_x в облаке. До настоящего времени использовались различные формы профилей. В ранних работах образовавшееся количество LNO_x распределялось по высоте однородно, позднее было показано, что вертикальное распределение сильно зависит от характеристик отдельных гроз, и поэтому для определенных типов гроз должны использоваться определенные профили [11]. Профили строятся с помощью облако-разрешающих моделей, для того, чтобы учесть перенос LNO_x внутри облака [12].

Таким образом, было выделено три горизонтальных распределения LNO_x и три вертикальных (рис. 3, 4). Для оценки влияния вариации распределения LNO_x с моделью были проведены расчеты для каждого случая на 25 лет с 1979 по 2003 г.

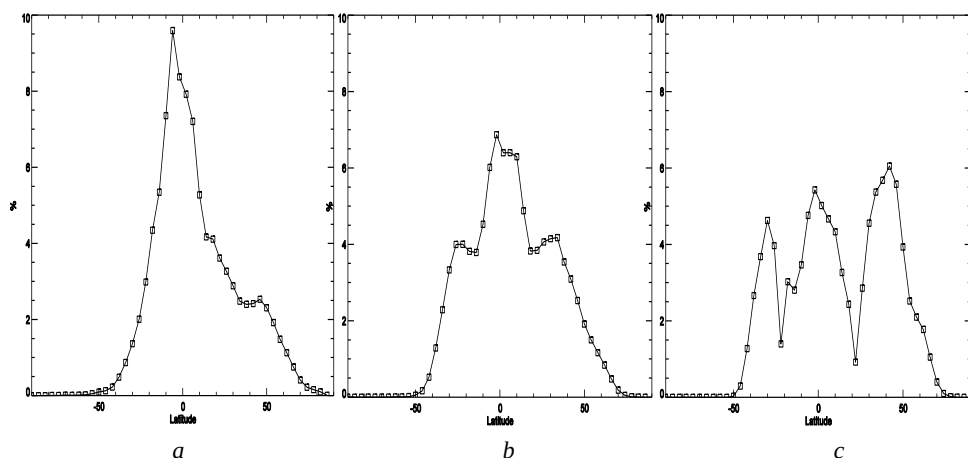


Рис. 3. LNO_x в зависимости от широты ($\%/4^\circ$ от общего количества).

Распределение, ранее использовавшееся в модели (a), новое распределение (b), распределение при условии, что среднеширотные вспышки продуктивнее экваториальных (c)

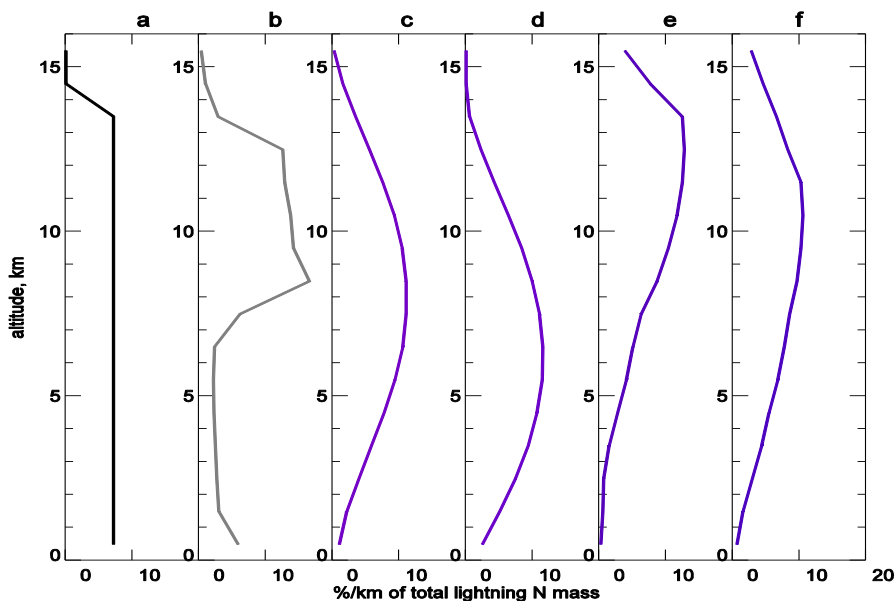


Рис. 4. Вертикальные профили результирующей продукции LNO_x : монопрофиль (a), S-образный профиль (b), более поздние профили для различных широтных диапазонов (c–f)

Результаты модельных расчетов

В качестве примера на рис. 5, 6 и 7 приведены результаты одного из проведенных экспериментов. Показана реакция газового состава и температуры атмосферы на изменение горизонтального распределения с варианта, приведенного на рис. 3, a, на вариант 3, c.

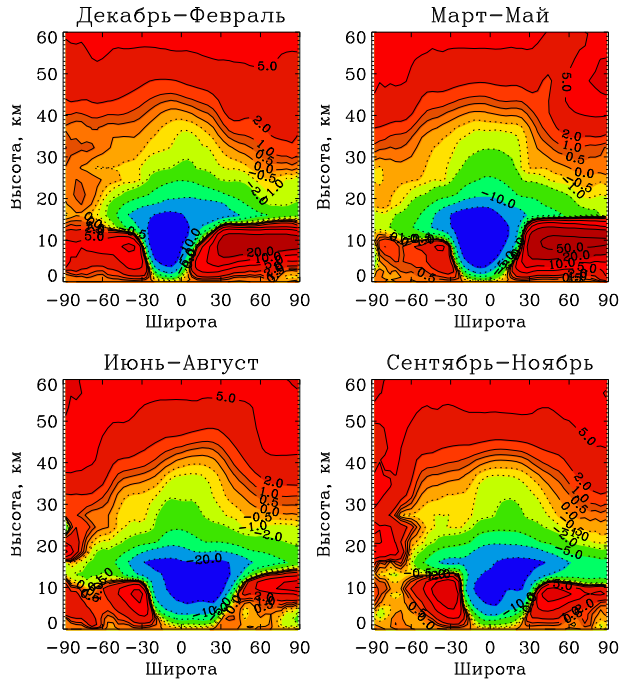


Рис. 5. Процентное изменение концентрации NO_x при изменении распределения с 3, а на 3, с

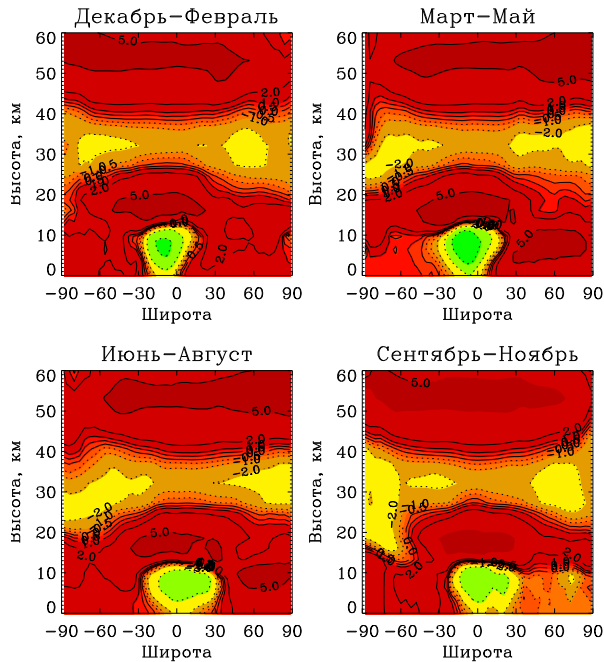


Рис. 6. Процентное изменение концентрации озона при изменении распределения с 3, а на 3, с

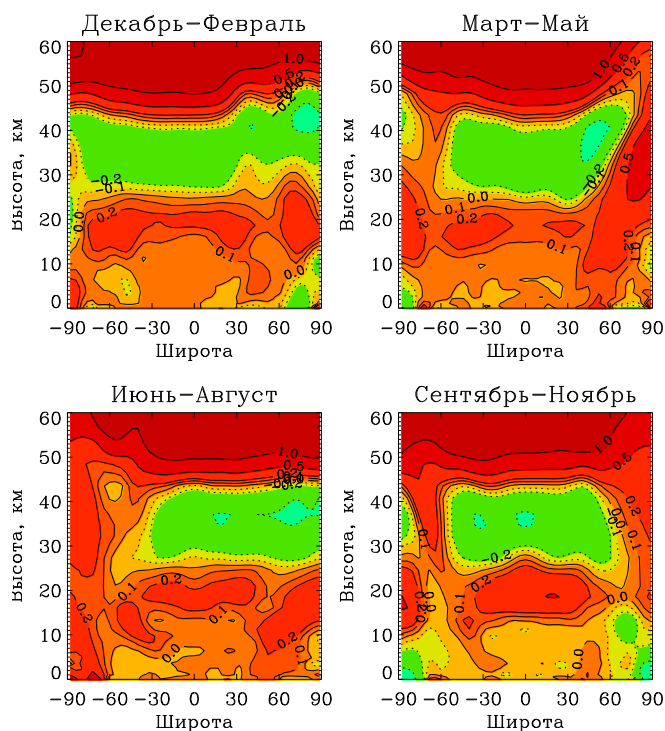


Рис. 7. Изменение температуры при изменении распределения LNO_x с 3, а на 3, с

Выполненные расчеты показали высокую чувствительность атмосферы к молниевому источнику окислов азота. Показано, что изменения в концентрации NO_x вследствие вариации горизонтального и вертикального распределения LNO_x могут достигать 50 % в тропосфере и до 15 % в нижней стратосфере, что приводит к изменению содержания озона на несколько процентов на высотах максимума его содержания и до 5 % в тропосфере и верхней стратосфере. Изменения концентрации гидроксильного радикала OH достигали 20 %, что может сказаться на очистительной способности атмосферы.

Изменение поля озона влечет за собой изменение нагрева и охлаждения, вследствие чего меняются потоки тепла и массы, которые, в конечном счете, приводят к изменению температуры [13, 14]. Вариации температуры в среднем за период отмечаются до 0,5 °C в стратосфере и до 0,2 °C в тропосфере. Стоит отметить, что атмосфера наиболее чувствительна к LNO_x в полярных областях стратосферы, а именно в полярных областях наблюдаются тревожные изменения в концентрации озона, называемые озоновыми дырами. Также полученного изменения в температуре может быть достаточно для изменения глобальных и локальных условий формирования грозных облаков, и таким образом может образоваться обратная связь между изменением температуры и газового состава атмосферы за счет LNO_x и изменением самой молниевой активности.

Заключение

Проведено модельное исследование влияния горизонтального и вертикального распределения молниевых вспышек на содержание озона и температуру атмосферы. Результаты моделирования показали ощутимый отклик атмосферы к вариациям распределения LNO_x , что свидетельствует о важности правильного учета LNO_x в глобальных моделях и необходимости исследования обратной связи между изменением климата и молниевой активностью.

Литература

1. Горбатенко В.П. Влияние географических факторов климата и синоптических процессов на грозовую активность: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – СПб., 2003. – 39 с.
2. Schumann U., Huntrieser H. The global lightning-induced nitrogen oxides source // Atmos. Chem. Phys. 2007. Vol. 7. № 14. P. 3823–3907.
3. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. New York: John Wiley and Sons, 1998. 1203 p.
4. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2001: The Scientific Basis: Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. Cambridge: Cambridge University Press. 2001. 881 p.
5. Price C., Penner J., Prather M. NO_x from lightning, 2, Constraints from the global atmospheric electric circuit // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102. № D5. P. 5943–5951.
6. Price, C., Rind, D.: A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions. J. Geophys. Res. 97, 9919–9933 (1992). doi:10.1029/92JD00719.
7. Allen, D.J., Pickering, K.E.: Evaluation of lightning flash rate parameterizations for use in a global chemical transport model. J. Geophys. Res. 107, 4711 (2002). doi:10.1029/2002JD002066.
8. Fulyan, J.M., Del Genio, A.D.: Relationships between lightning and properties of convective cloud clusters. Geophys. Res. Lett. 34, L15705 (2007). doi:10.1029/2007GL030227.
9. Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М. Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, т. 43, № 4, с. 437–452.
10. Christian, H. J., Blakeslee, R. J., Boccippio, D. J., et al.: Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector, J. Geophys. Res., 108, 4005, doi:10.1029/2002JD002347, 2003.
11. Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я. Моделирование влияния грозовой активности на газовый состав атмосферы // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2010, т. 46, № 4, с. 487–504.
12. Ott L, Pickering K, Stenichkov G, Allen D, DeCaria A, Ridley B, Lin R, Lang S, Tao W. Production of lightning NO_x and its vertical distribution calculated from three-dimensional cloud-scale chemical transport model simulations. J. Geophys. Res.-Atmos. 2010;115 19.
13. Суходолов Т.В., Блакитная П.А., Боровская О.П., Смышляев С.П. Модельное исследование одновременных изменений содержания озона и температуры стратосферы // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 90–103.
14. Хорева Е.И., Мостаманди С.В., Ронту Л., Бакланов А.А. Прямые аэрозольные эффекты в одномерной версии региональной метеорологической модели HIRLAM // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 22, с. 114–122.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых, а также в рамках мероприятий Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–013 годы.

*А.Д. Егоров, И.А. Потапова, Ю.Б. Ржонсницкая,
Н.А. Саноцкая, В.А. Драбенко*

ЭФФЕКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ

*A.D. Yegorov, I.A. Potapova, Y.B. Rzhonsnitskaya,
N.A. Sanotskaya, V.A. Drabenko*

EFFECTIVE DETERMINATION OF BACKGROUND LIGHT

Рассматривается эффективный метод определения лидарной фоновой засветки. Разработан метод решения обратной задачи, повысивший точность лидарного зондирования прозрачной атмосферы.

Ключевые слова: обратное рассеяние, связь шума с сигналом, прозрачная атмосфера, эффективный метод, случайная погрешность фоновой засветки

It is considered the effective method of the determination of background light. It was developed the method of the inverse problem solution to increase the accuracy of lidar probing of transparent atmosphere.

Key words: backscattering, noise with signal relation, transparent atmosphere, effective method, statistical error of background light.

Аэрозоль, загрязняющий воздушный бассейн, играет также важную роль в радиационных процессах в атмосфере. Имеющиеся экспериментальные данные приводят к необходимости более детального исследования аэрозольных характеристик с высокой точностью. Лидарное зондирование дает возможность детального исследования атмосферного аэрозоля, но для обеспечения высокой точности лидарных методов требуется решить ряд задач. Лишь часть этих задач решена [1–4]. Например, оптическое дистанционное определение характеристик загрязнения воздуха, таких, как концентрация частиц техногенного происхождения, предполагает знание мощности рассеянного солнечного излучения.

Эту мощность следует измерить достаточно точно, особенно при зондировании прозрачной, т.е. слабо замутненной, атмосферы, с характеристиками которой увязываются характеристики аэрозольного загрязнения.

В работе рассматривается проблема достоверности, с которой мощность фоновой засветки определяется по лидарным данным, выполняется оценка ее случайной погрешности.

1. Метод оценки случайной погрешности фоновой засветки

Погрешности фоновой засветки P_* можно существенно уменьшить за счет выбора эффективной процедуры осреднения параметра по трассе зондирования. Случайную ошибку P_* , от которой зависит эффективность метода, с учетом линейного уравнения лидарного уравнения можно определить по формуле

$$\delta = \left\{ \frac{\sum_{i,j,k=1}^n (P_{*i,j,k} - P_*)^2 \Delta_{i,j,k}^2}{\sum_{i,j,k=1}^n \Delta_{i,j,k}^2} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где

$$P_{*i,j,k} = \Delta_{i,j,k}^0 / \Delta_{i,j,k}, \quad (2)$$

$$\Delta_{i,j,k}^0 = \begin{vmatrix} P_i & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ P_j & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ P_k & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$\Delta_{i,j,k} = \begin{vmatrix} 1 & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ 1 & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ 1 & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$P_* = \frac{\sum_{i,j,k=1}^n P_{*i,j,k} \Delta_{i,j,k}^2}{\sum_{i,j,k=1}^n \Delta_{i,j,k}^2}. \quad (5)$$

Формула (1) может быть записана следующим образом:

$$\delta = \left\{ \frac{D_1}{D_0} - P_*^2 \right\}^{1/2}, \quad (6)$$

где

$$D_0 = \begin{vmatrix} n & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i} \\ \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \\ \sum_1^n \frac{1}{R_i} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} \sum_1^n P_i^2 & \sum_1^n \frac{P_i}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{P_i}{R_i} \\ \sum_1^n \frac{P_i}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \\ \sum_1^n \frac{P_i}{R_i} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Случайную ошибку осредненной величины P_* можно рассчитать в линейном приближении:

$$\delta = C_* \left\{ \sum_1^n \left(\frac{\partial P_*}{\partial P_i} \right)^2 P_i \right\}^{1/2}, \quad (9)$$

причем

$$\delta P_i = C_* \sqrt{P_i}. \quad (10)$$

Из (9) следует:

$$\delta = \frac{C_*}{D_0} \left\{ \sum_1^n \left(\Delta_1 - \frac{\Delta_2}{R_i^2} + \frac{\Delta_3}{R_i} \right)^2 P_i \right\}^{1/2}, \quad (11)$$

где

$$\Delta_1 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} - \left(\sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \right)^2; \quad (12)$$

$$\Delta_2 = \left(\sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \right)^2 - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3}; \quad (13)$$

$$\Delta_3 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4}. \quad (14)$$

Случайную ошибку величины P_* можно рассчитать по формуле

$$\delta = C_* \left\{ \frac{\Delta_1}{D_0} \sum_1^n P_i \right\}^{1/2}. \quad (15)$$

2. Результаты интерпретации данных лидарных измерений

На рис. 1 представлено отношение результатов расчетов погрешностей фоновой засветки в зависимости от расстояния зондирования с использованием решений с привлечением связи шума с сигналом обратного рассеяния (15) и без привлечения этой связи (1). Видно, что с увеличением номера шага отношение приближается к единице. Таким образом, устанавливается правомочность привлечения связи шума с сигналом обратного рассеяния.

С учетом этого результата, на рис. 2 представлены результаты расчетов относительной погрешности δ/P_* фоновой засветки по формуле (15) и ее средней величины по формуле (11). Можно отметить, что погрешность существенно убывает с увеличением количества шагов зондирования, особенно для средней величины P_* .

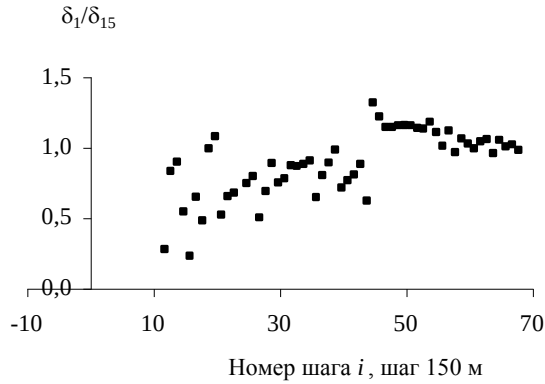


Рис. 1. Отношение случайных погрешностей. δ_1 – формула (1), δ_{15} – формула (15)

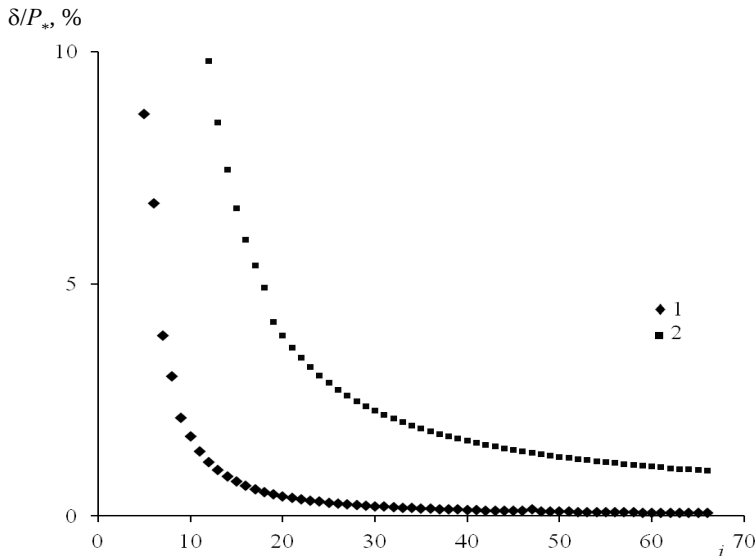


Рис. 2. Относительная погрешность δ/P_* . 1 – формула (11), 2 – формула (15)

Заключение

В работе развиты методы интерпретации данных лидарных измерений, минимизирующие систематические погрешности определения фоновой засветки.

На основании выполненных исследований:

- разработана новая методика решения обратной задачи, включающая ее линеаризацию, позволившая повысить точность лидарных измерений фоновой засветки для слабо замутненной атмосферы;

- проведена модернизация алгоритмов лидарного определения фоновой засветки для слабо замутненной атмосферы, обеспечивающих получение оценки точности, в том числе осредненного решения обратной задачи.

Литература

1. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem // International J. Rem. Sensing, 2008, 29, p. 2449–2468.
2. Egorov A.D., Potapova I.A., Shchukin G.G. Lidar methods for probing an atmospheric aerosol // J. Opt. Technol., 2001, 68, p. 801–804.
3. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б. Оценка случайных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 17, с. 51-55.
4. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. The treatment of low-power lidar signals // J. Opt. Technol., 2007, 74, 665-668.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы (ГК № 16.740.11.0619 от 31 мая 2011 г.) по направлению «Геология, горное дело, геохимия, геофизика, география и гидрология суши, океанология, физика атмосферы».

И.Н. Русин, Р.В. Бекряев, А.В. Уразгильдеева

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ПРИЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

I.N. Rusin, R.V. Bekryaev, A.B. Urazgildeeva

ESTIMATION OF PRECIPITABLE WATER ON THE BASE OF THE AIR SURFACE OBSERVATION

Предложен новый метод оценки максимально возможного интегрального содержания водяного пара по данным приземных метеорологических наблюдений. На основе эмпирических данных проведен анализ точности этого метода. Показано, что он позволяет получать более точные и физически обоснованные результаты, чем существующие.

Ключевые слова: влагосодержание атмосферы, неполная гамма-функция, приземная температура, вертикальный градиент температуры.

New method of potential precipitable water content estimation using the air surface observation data has been suggested. The method quality has been analyzed on the base of empirical data. It was shown that in comparison to previously developed approaches the method had led to more precise and physically motivated results.

Key words: precipitable water, incomplete gamma function, surface air temperature, lapse rate.

Интегральное содержание водяного пара в атмосфере (ИВП) непосредственно связано с целым рядом климатообразующих факторов. Водяной пар является не только основным парниковым газом в атмосфере, но и, в совокупности с другими термодинамическими факторами, определяет режим осадков. Кроме того, ИВП отвечает за горизонтальные, в первую очередь, меридиональные потоки латентной энергии в атмосфере. Термином ИВП принято называть массу водяного пара в столбе атмосферы единичного сечения, выражаемую интегралом от абсолютной влажности ρ_w :

$$W = \int_0^{\infty} \rho_w(z) dz. \quad (1)$$

Во многих случаях, однако, данные о вертикальном распределении абсолютной влажности (либо о других характеристиках влажности) отсутствуют, что ставит задачу оценки ИВП по имеющимся данным приземных стандартных метеорологических наблюдений. Хан [3], полагая экспоненциальную зависимость абсолютной влажности от высоты,

$$\rho_w(z) = \rho_{w0} \exp\left(-\frac{z}{h_w}\right), \quad (2)$$

получил следующую формулу для оценки ИВП,

$$W = \rho_{w0} \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{z}{h_w}\right) dz = \frac{h_w e_0}{R_w T_0} = k e_0, \quad (3)$$

где R_w – газовая постоянная водяного пара; ρ_{w0} , T_0 , e_0 – соответственно, абсолютная влажность, температура воздуха и парциальное давление водяного пара у земли; h_w – эмпирический параметр вертикального распределения водяного пара. Коэффициент k равен 1,7, если e_0 дано в гПа, W – в кг/м².

Существенный прогресс в оценке ИВП по данным наземных наблюдений был достигнут в работе Братсера, 1975 [4], где на основе предположения об экспоненциальном уменьшении с высотой температуры воздуха и абсолютной влажности, была получена следующая формула:

$$W = \int_0^{\infty} \rho_w(z) dz = \frac{1}{R_w} \int_0^{\infty} \frac{e}{T} dz \cong k_2 \frac{e_0}{T_0}. \quad (4)$$

Здесь коэффициент $k_2 = 493$. Формула (4), а также ее модификация, предложенная в работе Прата, 1996 [5], широко используются при расчетах радиационного баланса подстилающей поверхности.

Следует отметить, что методы, предложенные Братсером и Прата, а также подходы, предложенные в работах [6] и [7], далеко не всегда позволяют оценить ИВП с достаточной точностью, особенно большие ошибки имеют место при низких температурах приземного воздуха. В предлагаемой работе предложена уточненная методика оценивания ИВП по данным стандартных метеорологических наблюдений и выявлены факторы, обуславливающие изменения коэффициента k формулы Хана (3).

Рассмотрим сначала вопрос о значении ИВП в условиях насыщения. Оно называется максимально возможным или потенциальным ИВП. В этом случае

$$W = \int_0^{\infty} \frac{E[T(z)]}{R_w T(z)} dz. \quad (5)$$

Здесь $E(T)$ – насыщающее значение парциального давления водяного пара. Для политропной атмосферы этот интеграл можно вычислить точно. Следует учесть зависимость насыщающего парциального давления от температуры, воспользовавшись формулой Клаузиуса-Клапейрона:

$$E(T) = E(T_*) \exp \left[\frac{L}{R_w} \left(\frac{1}{T_*} - \frac{1}{T} \right) \right], \quad (6)$$

в которой T_* – некоторая фиксированная температура (далее будем считать ее совпадающей с температурой подстилающей поверхности T_0), а L – скрытая теплота парообразования, равная 2,5 МДж/кг (в рассматриваемом диапазоне температур зависимостью L от температуры можно пренебречь).

Учитывая линейное изменение температуры в политропной атмосфере с высотой

$$T(z) = T_0 - \gamma z \quad (7)$$

и заменив переменную интегрирования

$$x = \frac{L}{R_w T(z)}, \quad (8)$$

можно представить формулу для потенциального ИВП (5) в виде

$$W = \frac{E(T_0)e^{x_0}}{R_w} \int_0^\infty \frac{e^{-x(z)}}{T} dz = \frac{E(T_0)e^{x_0}}{R_w \gamma} \int_{x_0}^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx = \frac{E(T_0)}{R_w \gamma} e^{x_0} \Gamma(0, x_0), \quad (9)$$

где x_0 – значение переменной x при $z = 0$, $\Gamma(0, x_0)$ – неполная гамма-функция.

Для вычисления значений этой функции можно оценивать интеграл численно, либо использовать разложение в цепную дробь Лежандра [1], быстро сходящееся в диапазоне температур от -50°C до 50°C ,

$$\Gamma(0, x) \cong \frac{e^{-x}}{1 + x - \frac{1}{x + 3 - \frac{4}{x + 5 - \frac{9}{7 + x - \dots}}}}. \quad (10)$$

Более того, при вычислении интегрального влагосодержания атмосферы зависимость выражения $e^{x_0} \Gamma(0, x_0)$ от t_0 (приземной температуры в градусах Цельсия) может быть с большой точностью выражена линейной функцией приземной температуры. Разложение выражения $e^{x_0} \Gamma(0, x_0)$ в ряд Тейлора позволяет записать

$$e^{x_0} \Gamma(0, x_0) \approx 0,0001684_0 + 0,04806 \quad (11)$$

Подставляя (11) в выражение (9), получаем рабочую формулу для расчета ИВП:

$$W = \frac{100E(T_0)}{R_w 1000\gamma} \exp\left(\frac{L}{R_w T_0}\right) \Gamma\left(0, \frac{L}{R_w T_0}\right) = k(t_0, \gamma) E(t_0),$$

$$\text{где} \quad k(t_0, \gamma) = \frac{10,4}{\gamma} \left(1 + \frac{t_0}{286}\right). \quad (12)$$

здесь вертикальный градиент температуры γ выражен в K/км , W – в кг/м^2 , а E – в гПа .

При стандартных условиях в атмосфере ($t_0 = 15^\circ\text{C}$, $\gamma = 6,5$) значения $k(t_0, \gamma)$ близки к 1,7, то есть практически совпадают с эмпирически найденным коэффициентом, введенным Ханом [3], и объясняют как его числовое значение, так и формирующие его факторы. Вариации параметров приземного воздуха и термической стратификации атмосферы могут приводить к существенным изменениям в оценках ИВП (табл. 1). Изменчивость этого коэффициента отмечена при обработке данных радиозондирования в различных географических районах [8, 9].

Таблица 1

Значения коэффициента $k(t_0, \gamma)$ в зависимости от приземной температуры и вертикального градиента температуры воздуха

$t_0, ^\circ\text{C}$	$\gamma, ^\circ\text{C} / \text{км}$			
	$\gamma = 5,5$	$\gamma = 6,0$	$\gamma = 6,5$	$\gamma = 7,0$
-50	1,56	1,43	1,32	1,23
-15	1,79	1,65	1,52	1,41
0	1,89	1,74	1,60	1,49
15	1,99	1,83	1,69	1,57
50	2,22	2,04	1,88	1,75

Оценка качества формулы (12) была получена по данным двухразового ежедневного радиозондирования, собранных и обработанных в Университете Вайоминга [10], для семи пунктов (Мурманск, Архангельск, Санкт-Петербург, Казань, Воронеж, Саратов, Астрахань), расположенных в различных климатических зонах Европейской территории России. Использовались данные за июль и февраль 2009 г. На основе данных о температуре на высотах по формуле Гоффа-Греча были вычислены значения парциального давления насыщения, затем методом трапеций были вычислены значения интегрального потенциального влагосодержания в слое от подстилающей поверхности до уровня 220 гПа. Полученное значение потенциального ИВП далее считалось фактическим.

Числовые значения оценок разностей между фактическими (x_n) и рассчитанными (y_n) потенциальными ИВП показаны в табл. 2. Приведены оценки среднеквадратического отклонения:

$$S = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=N} (y_n - x_n)^2 / N}, \quad (13)$$

средней относительной ошибки

$$F = \left[\sum_{n=1}^{n=N} |y_n - x_n| / x_n \right] / N, \quad n = 1, \dots, N, \quad (14)$$

а также верхняя ($Ru_{1\%}$) и нижняя ($Rd_{1\%}$) границы коэффициента корреляции между x_n и y_n на 1 % уровне значимости.

Таблица 2

Оценка точности расчета потенциального ИВП по формуле (12)

Вид оценок	Потенциальное влагосодержание			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Формула Братсера
№	1	2	3	4
$S, \text{кг/м}^2$	3,4	7,8	14,	24,
F	0,077	0,22	0,38	0,28
$Ru_{1\%}$	0,99	0,96	0,84	0,79
$Rd_{1\%}$	0,76	0,74	0,68	0,66

При расчетах по формуле (12) использованы разные варианты задания значений t_0 и γ . В основном варианте (1) для каждого случая зондирования методом наименьших квадратов была получена линейная регрессионная зависи-

мость температуры воздуха от высоты z в слое от подстилающей поверхности до уровня 220 гПа. Угловым коэффициентом регрессионной модели был принят за вертикальный градиент температуры γ , а постоянная регрессии - за значение температуры t_0 . Во втором варианте (2) приземная температура была взята из уравнения регрессии, а вертикальный градиент был принят равным среднему по всей выборке градиенту температуры ($5,8^\circ\text{C}/\text{км}$). В третьем варианте (3) в качестве t_0 использована фактическая приземная температура, а вертикальный градиент взят из уравнения регрессии.

На рис. 1 приведены результаты сравнения значений фактического и рассчитанного по формуле (12) потенциального влагосодержания. (Чтобы не загромождать рисунки, демонстрируются расчеты по трем пунктам: Архангельск, Саратов, Астрахань.)

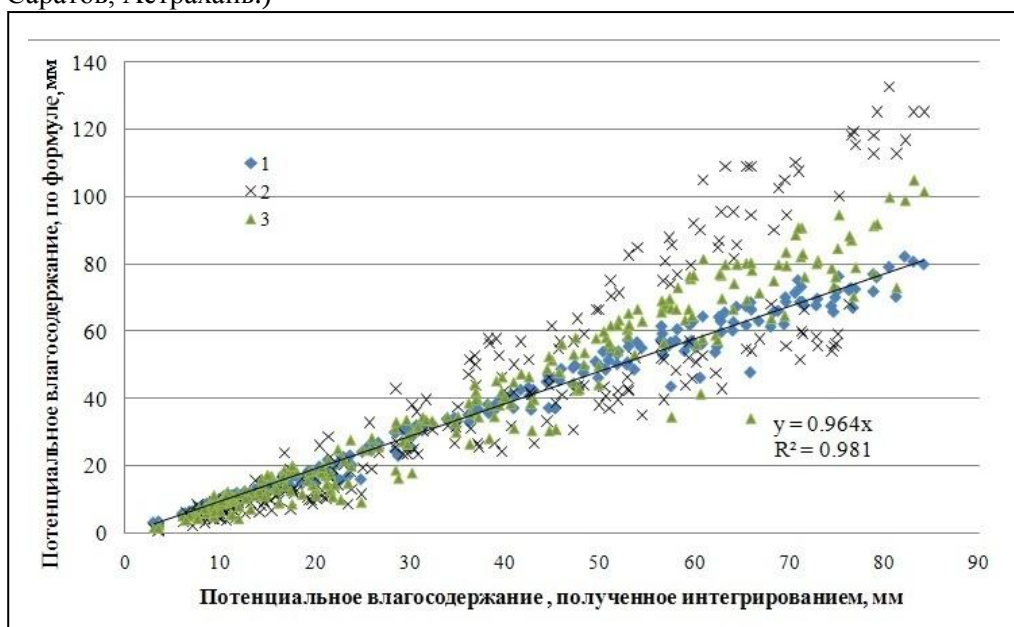


Рис. 1. Диаграмма рассеяния значений потенциального влагосодержания, рассчитанного по формуле (12), по сравнению с потенциальным влагосодержанием, полученным путем интегрирования насыщающих значений абсолютной влажности по данным радиозондирования. 1. T_0 и γ определены из уравнения линейной регрессии температуры от высоты. 2. T_0 – фактическая приземная температура, γ – коэффициент наклона регрессии. 3. T_0 получена из уравнения регрессии, $\gamma = 5,8^\circ\text{C}/\text{км}$. Уравнение регрессии и коэффициент детерминации (R^2) относятся к варианту 1

Очевидно, что первый вариант соответствует наиболее адекватным оценкам интегрального содержания водяного пара. Такой результат представляется вполне логичным, так как в этом случае используются обобщенные характеристики вертикального распределения метеорологических элементов. В случае оценки приземных значений t_0 и γ по всему профилю методом наименьших квадратов результат расчета по формуле (12) оказывается наилучшим, по срав-

нению с обычно применяемыми формулами, использующими приземные значения влажности. Понятно, что параметры, полученные путем линейной интерполяции данных, в большей степени отражают свойства господствующей над пунктом радиозондирования воздушной массы. Применение данных стандартных метеорологических наблюдений вносит в оценки ИВП искажения, вызванные, в первую очередь, реализацией ситуаций с инверсиями.

Следует отметить, что вариации вертикального градиента температуры меньше сказываются на результатах проводимой оценки, чем вариации приземных значений температуры воздуха. Это объясняет, почему при расчете влагосодержания использование единственного аргумента (приземной влажности) позволяет получать результат с приемлемой точностью. Расчеты по предложенной в работе методике с использованием в качестве параметров данных стандартных приземных метеорологических наблюдений характеризуются наибольшими ошибками, однако даже в этом случае оценки интегрального содержания водяного пара в атмосфере осуществляются с существенно меньшей среднеквадратической ошибкой, чем по традиционно применяемому методу Братсера.

Интересно, что применение в качестве t_0 не значения приземной температуры, а постоянной линейной регрессии температуры от высоты существенно улучшает качество оценки ИВП. Это значит, что существует момент времени суток, когда приземная температура наиболее близка к значению, оптимальному для оценки ИВП по формуле (12) по приземным данным. В таком случае и в формулы для расчета противоишлучения атмосферы [2] следует вводить данные о влажности приземного воздуха, запаздывающие по времени относительно данных о температуре поверхности.

Литература

1. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. – М.: Наука, 1979. – 830 с.
2. Русин И.Н. (2010) Обоснование формул для противоишлучения атмосферы при ясном небе // Уч. зап. РГГМУ, № 17, с. 32-40.
3. Hann, J.V. (1906). Lehrbuch der Meteorologie, 2nd rev. ed. Leipzig: S. Hirzel.
4. Brutsaert, W. (1975). On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies, *Water Resource Res.*, 11, 742-744.
5. Prata, A.J. (1996), A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface, *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, vol. 112, p. 1127-1151.
6. Stephens, G.L. (1990), On the relationship between water vapor over the oceans and sea surface temperature, *J. Climate*, vol. 3, pp.634-645.
7. Varmaghani, A. (2012). An analytical formula for potential water vapor in an atmosphere of constant lapse rate, *Terrestrial, Atmospheric, and Oceanic Sciences*, 23(1), 17-24.
8. Tuller S.E. (1977) The relationship between precipitable water vapor and surface humidity in new Zealand. *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. Ser. A*, 26, 197-212.
9. Abdel Wahab M., Sharif TA. (1995). Estimation of precipitable water at different locations using surface dew-point. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 51, Iss. 3, p. 153-157.
10. University of Wyoming. Department of atmospheric science. Atmospheric sounding. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

М.Е. Баранова, А.С. Гаврилов, К.Б. Чихачев

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОЙ СТРУИ
ОТ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ДЛЯ ПРОГНОЗА
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ**

M.E. Baranova, A.S. Gavrillov, K.B. Tchikhatchev

**USE OF NUMERICAL MODELS OF THERMAL JETS
FROM FOREST FIRE FOR PREDICTION
OF POLLUTION OF THE ATMOSPHERE**

Излагается технология организации расчетов с использованием численной модели подъема тепловой струи от лесного пожара применительно к интерпретации оперативных данных дистанционного зондирования из космоса лесных пожаров, а также численного прогноза загрязнения атмосферы продуктами сгорания. Представлены результаты расчетов, иллюстрирующие сложный характер взаимодействия тепловых струй от очагов пожаров друг с другом и с внешним ветровым потоком.

Ключевые слова: численное моделирование, лесной пожар, эмиссия загрязняющих веществ, прогноз загрязнения атмосферы.

We present the technology organization of calculations using a numerical model of thermal recovery of the jet by a forest fire in relation to the interpretation of operational remote sensing from space of forest fires and the numerical prediction of atmospheric pollution by combustion products. The results of calculations illustrating the complex interaction of heat from the jet fires with each other and with external wind flow.

Key words: numerical modeling, forest fire, emission of pollutants, air pollution forecast.

1. Исходные данные

Используемая в настоящей работе численная модель формирования так называемых «тепловых колонок» от очагов лесных пожаров изложена в работе [1] и основывается на полных уравнениях гидротермодинамики атмосферы глубокой конвекции с приближенным описанием турбулентного режима и особенностей теплового излучения. Модель позволяет использовать в качестве исходных данных единственную доступную в настоящее время в оперативном режиме информацию – сведения об излучении в длинноволновом диапазоне, детектируемые космическими аппаратами.

В качестве одного из самых перспективных источников такого рода оперативных данных о характеристиках лесных пожаров, имеющих глобальный характер, в настоящее время следует рассматривать данные дистанционного зондирования из космоса, в частности, стандартного набора свободно распространяемых оперативных продуктов MODIS (MODERate resolution Imaging Spectroradiometer) на борту искусственных спутников Земли (ИСЗ) NASA Aqua и Terra [2, 3, 4].

На основе этих данных в оперативном режиме можно приближенно оценивать местоположение и яркостную температуру очагов горения, причем местоположение дается с точностью до размера проекции пикселя матрицы приемника излучения на ИСЗ (около 1 км на местности). Между тем, как показывают многочисленные наблюдения на местности (например, [5]), очаг активного горения в лесном пожаре представляет сравнительно узкую полосу шириной не более 100–200 м (так называемый фронт пожара), распространяющуюся по приземному ветру. При этом, если для низовых пожаров, которые, по данным [5], наблюдаются в 98 % всех случаев, эта скорость составляет несколько метров в минуту, то верховые пожары (около 1,5 % всех случаев) имеют скорость распространения свыше 50 м/мин.

Специальный анализ спутниковых данных, проведенный в работе [6], показал, что такого рода локальные очаги горения формируются на местности в некоторые группы, связанные, вероятно, с общим источником возгорания. В этой же работе предложен и метод их группировки, основанный на процедурах кластерного анализа.

Существенно, что такого рода очаги располагаются в непосредственной близости и, безусловно, оказывают динамическое и термодинамическое воздействие друг на друга. Кроме того, дымовые шлейфы от наветренных очагов внутри одной группы приводят, в итоге, к экранированию излучения, детектируемого из космоса, от других очагов. Из вышеизложенного следует, что такого рода группы (далее – кластеры) должны рассматриваться в качестве единого источника выброса продуктов сгорания, причем разработанная в [1] модель должна применяться непосредственно ко всему кластеру.

Весьма грубая информация о местоположении и яркостной температуре очагов горения, детектируемые приемниками ИСЗ, приводит к необходимости некоторой схематизации в привязке этих очагов к местности. При этом будем исходить из предположения, что линейный размер очага горения L_F примерно совпадает с размером пикселя, фронт пожара распространяется по направлению приземного ветра, а ширина этого фронта L_N представляет собой параметр, который требуется подбирать из сопоставления результатов расчетов с экспериментом (рис. 1).

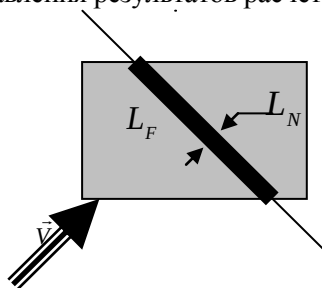


Рис. 1. Схематическое представление очага горения шириной L_N с длиной L_F , определяемой путем сечения прямоугольного пикселя прямой, ориентированной перпендикулярно направлению приземного ветра

2. Результаты расчетов для изолированного очага горения

Численные эксперименты с изолированным очагом горения преследовали, в первую очередь, цель исследовать чувствительность решения к вариациям внешних параметров. Одна из первых задач здесь состояла в оценке суммарной эмиссии от очага горения суммы твердых аэрозолей – сажевых частиц дыма. В модели [1] величина оценивается по теплотворной способности сгораемой древесины на основе расчетных значений турбулентного потока тепла от очага горения, зависящего, в свою очередь, от его температуры и скорости ветра в приземном слое. Расчетные зависимости этой величины от времени суток, скорости ветра и яркостной температуры, детектируемой приемником ИСЗ, представлены на рис. 2.

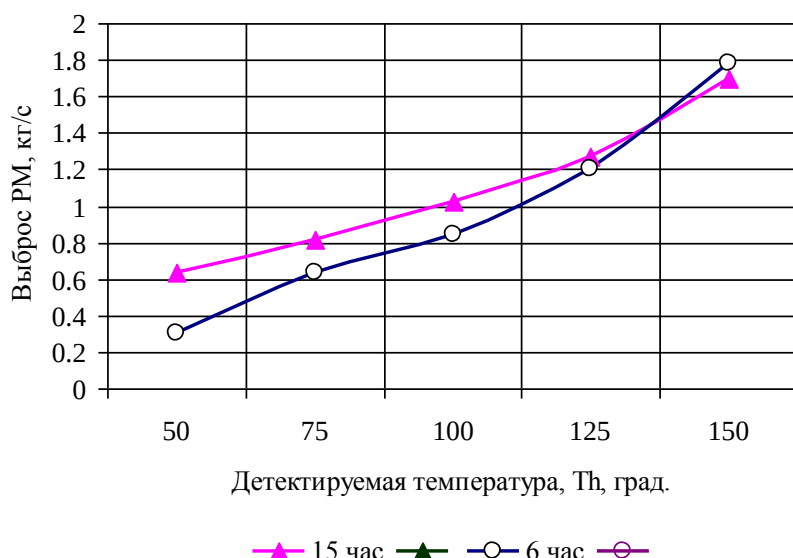


Рис. 2. Расчетные зависимости суммарного выброса (Кг/с) по группе аэрозолей PM 2.5 и PM10 от очага горения для различного времени суток и скорости ветра от яркостной температуры, детектируемой приемниками ИСЗ для $L_F = 1000$ м и $L_N = 200$ м

Пространственное распределение эмиссии аэрозолей во многом совпадает с распределением поля яркостной температуры. Примеры таких полей для условий утренней инверсии и дневной конвекции представлены на рис. 3, а на рис. 4 – вертикальные разрезы поля вертикальной скорости ветра и температуры для условий дневной конвекции.

Как можно видеть из представленных рисунков, эмиссия аэрозолей (сажевых частиц) достаточно быстро возрастает с ростом детектируемой датчиками ИСЗ яркостной температуры, увеличиваясь от значений около 0,5 кг/с при температуре 50 °C до 1,8 кг/с – при температуре 150 °C, причём максимальные значения этих величин достигаются на наветренной кромке фронта пожара.

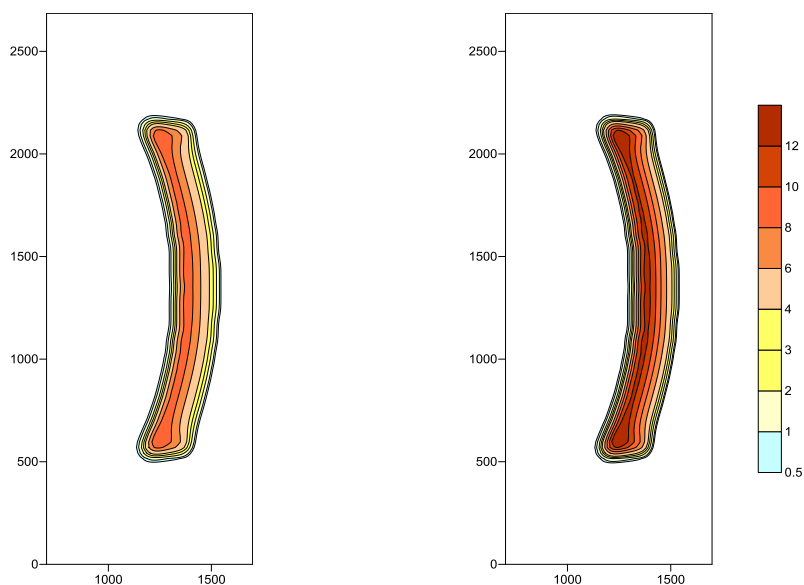


Рис. 3. Примеры расчетных полей эмиссии суммы аэрозолей РМ2.5, РМ10 ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$) для относительного перегрева очага горения 200°C в 6 ч утра (слева) и в 15 ч (справа) при скорости приземного ветра 4 м/с для $L_F = 1000$ м и $L_N = 200$ м

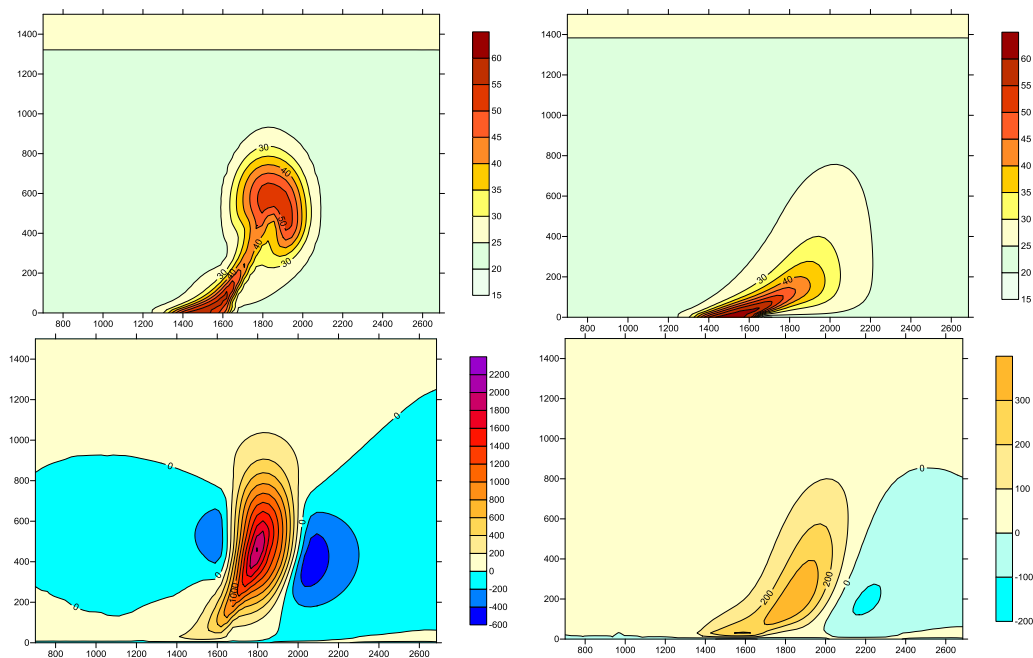


Рис. 4. Примеры расчетных полей температуры ($^\circ\text{C}$, сверху) и вертикальной скорости (см/с, снизу) в форме вертикальных разрезов через центр очага горения вдоль направления ветра: 15 ч, ветер 2 (слева) и 4 (справа) м/с, $L_F = 1000$ м и $L_N = 200$ м

Причина этого вполне очевидна: при натекании холодного воздуха на очаг возгорания наблюдаются максимальные отрицательные вертикальные градиенты температуры и, следовательно, максимальные по величине турбулентные потоки отводимого в атмосферу тепла от сгорания топлива, а значит, возрастает и эмиссия загрязняющих веществ.

Существенно, что появление аэрозольного факела от очага пожара значительно ослабляет и интенсивность уходящего теплового излучения, а значит при этом снижается и яркостная температура очага пожара, детектируемая приемником ИСЗ. На рис. 5 приведен пример расчета подобного «дефицита температуры», который для этого случая составляет около 30% от аналогичной яркостной температуры на уровне горения в приземном слое.

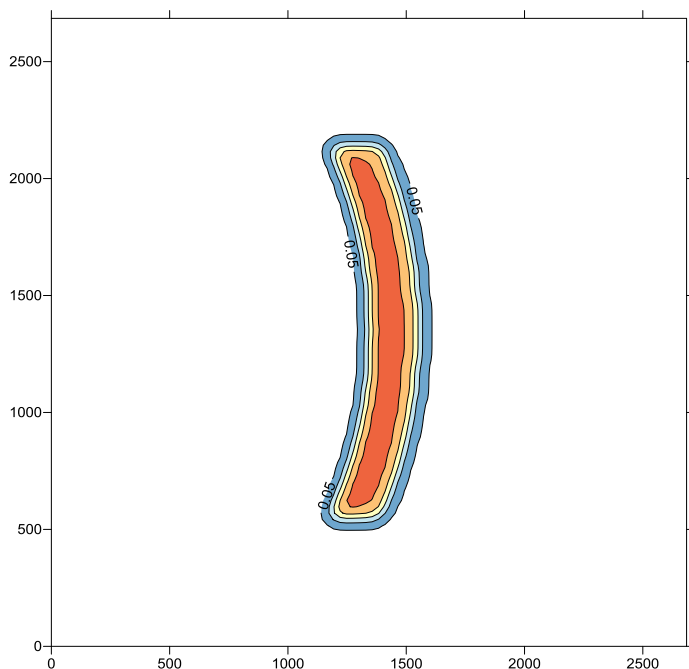


Рис. 5. Расчетное поле разности значений дефицита температуры $T_0 - T_H$, восстановленного с использованием численной модели [1] поля температуры в приземном слое T_0 и яркостной температуры уходящего излучения T_H (время 15 ч, скорость ветра 2 м/с, $T_H = 200^\circ\text{C}$)

Результаты тестовых расчетов зависимости упомянутого выше дефицита температуры от значений детектируемой приемниками ИСЗ яркостной температуры для условий утренней инверсии (6 ч) и дневной конвекции (15 ч) приведены на рис. 6. Из него, в частности, следует, что в дневное время эти величины заметно выше. Причина здесь состоит в том, в дневное время, при конвекции, оптическая толщина аэрозольного облака непосредственно над очагом горения оказывается несколько выше из-за интенсивного выноса вверх продуктов сгорания конвективными струями.

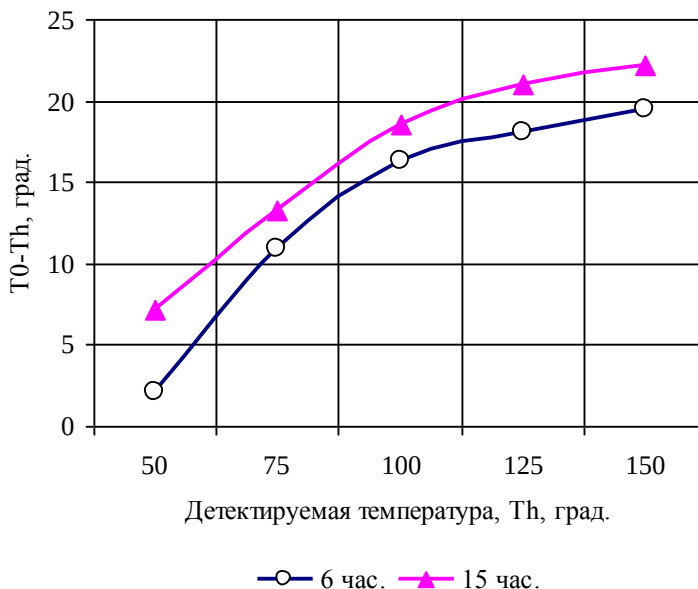


Рис. 6. Расчетная зависимость максимальных значений дефицита температуры $T_0 - T_h$ от яркостной температуры уходящего излучения T_h для утренней инверсии (6 ч) и дневной конвекции (15 ч) для скорости ветра 4 м/с, $L_F = 1000$ м и $L_N = 200$ м

3. Результаты расчетов для очагов горения, объединенных в кластер

Взаимное влияние двух соседних очагов пожаров проявляется, прежде всего, в объединении возникающих над каждым из них конвективных колонок в единую структуру, способствующую подъему факела выброса от наветренного очага каждого кластера за счет восходящих движения воздуха, формируемых другими (подветренными) очагами. Об этом наглядно свидетельствует пример расчета для двух рядом расположенных очагов с теми же параметрами, которые были рассмотрены выше (рис. 7).

Прежде всего, попадание факела от наветренного очага горения (на рисунке слева) в поле восходящих движений от подветренного очага (на рисунке — справа) приводит к значительному дополнительному подъему аэрозольного факела, тем большему, чем меньше средняя скорость ветра.

При этом одновременно, возникает дополнительная экранировка излучения такого рода подветренных очагов за счет аэрозольных факелов от очагов, расположенных вверх по потоку, так что яркостная температура уходящего излучения (рис. 8) на подветренном очаге оказывается ниже, чем на наветренном. Этот эффект подтверждается характером детектируемых датчиками ИСЗ яркостных температур отдельных очагов (пикселей) внутри одной группы (кластера), когда на фоне остальных пикселей отчетливо выделяется один из пикселей на наветренной границе этого кластера.

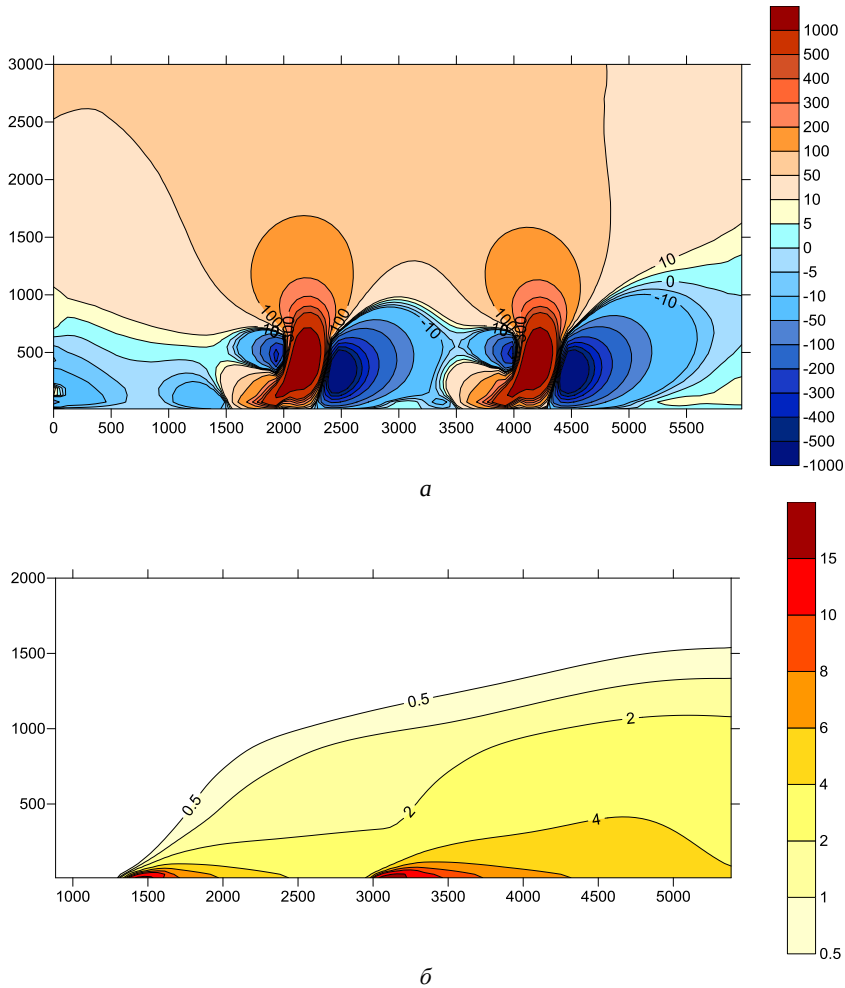


Рис. 7. Примеры расчета вертикальных сечений вдоль направления ветра для двух очагов пожаров ($L_F = 1000$ м, $L_N = 200$ м, $T_0 = 200$ °С, $U = 4$ м/с) полей вертикальной скорости ветра (а), см/с, и концентрации суммы аэрозолей 2,5,10РМ (б), мкг/м³

Как видно из рис. 8, уходящее излучение, фактически регистрируемое детекторами ИСЗ для второго (по направлению ветра) очага горения, оказывается несимметричным. Причиной этого является поворот ветра с высотой в нижней атмосфере вправо за счет действия силы Кориолиса с одновременным поворотом и аэрозольного факела от первого очага, так что его северная половина экранируется в меньшей степени, чем южная.

На рис. 9 приведен пример уже полной композиции множественной структуры очагов горения одного кластера, восстановленной указанным способом путем обработки данных ИСЗ за 17 июля 2011 г. с координатами 63,6 град. с.ш. и 122,88 град. в.д.

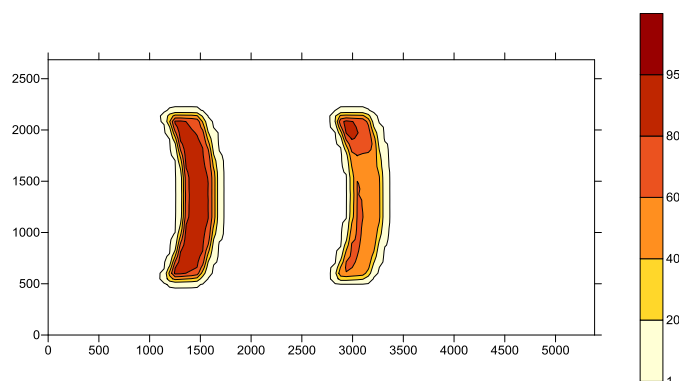


Рис. 8. Расчетное поле значений относительного дефицита температуры $(T_0 - T_H)/T_H$ (в процентах) для двух однотипных очагов горения, расположенных вдоль направления приземного ветра (для условий рис. 7)

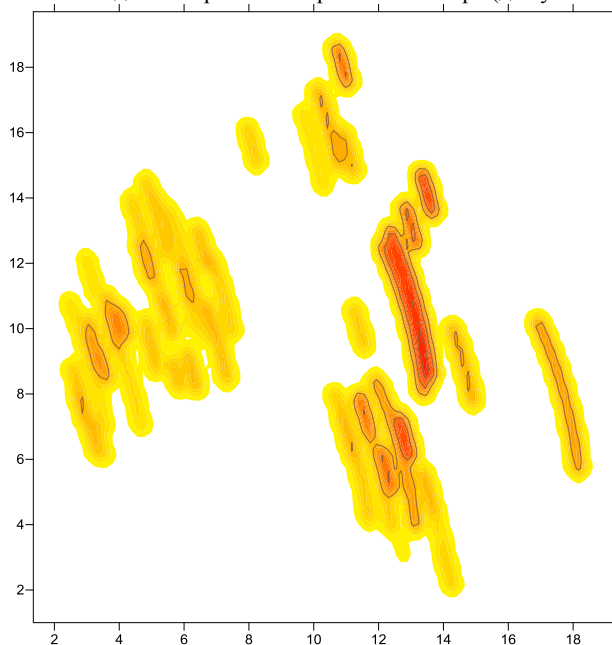


Рис. 9. Пример яркостной температуры кластера очагов горения по данным ИСЗ (63,6 с.ш. 122,88 в.д.) по данным на 17 июля 2011 г.

Цифры по осям – значения расстояний по горизонтали в километрах

Пример суммарного расчетного поля концентрации суммы аэрозолей $PM_{2.5}$, 10 (дымовый факел) от нескольких естественных кластеров очагов горения приведен на рис. 10.

Таким образом, предложенная технология оказывается весьма эффективной для решения проблемы интерпретации оперативных данных дистанционного зондирования из космоса лесных пожаров и последующего краткосрочного численного прогноза загрязнения атмосферы продуктами сгорания.

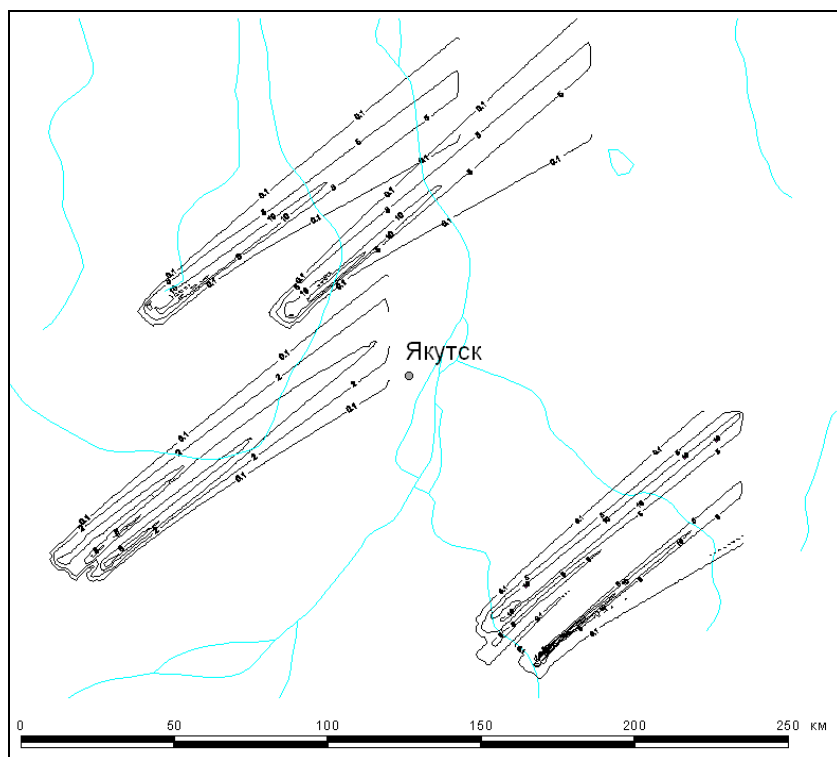


Рис. 10. Поле приземной концентрации суммы аэрозолей PM2.5, 10 (мкг/м³) от нескольких естественных кластеров очагов горения в районе г. Якутска по данным на 17 июля 2011 г.

Литература

1. L. Giglio, et al. Algorithm Technical Background Document. MODIS fire products. Version 2.3, [Text] / L. Giglio 1 October 2006.
2. Ichoku C., and Y.J. Kaufman. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements IEEE [Text] / Ichoku C., and Y.J. Kaufman. Trans. on Geosc. & Rem. Sens. 2005 (11), 43, 2636-2649.
3. Sofiev, M., Vankevich, R., Lotjonen, M., Prank, M., Petukhov, V., Ermakova, T., Koskinen, J., and Kukkonen, J.: An operational system for the assimilation of the satellite information on wild-land fires for the needs of air quality modelling and forecasting, [Text] / M. Sofiev, R. Vankevich, M. Lotjonen, M. Prank, V. Petukhov, T. Ermakova, J. Koskinen, and J. Kukkonen, Atmos. Chem. Phys., 9, 6833-6847, doi:10.5194/acp-9-6833-2009, 2009.
4. Щетинский Е.А. Охрана лесов от пожаров. Ч. 1. Лесные пожары и охрана лесов, Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства, г. Пушкино, 1998.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по теме: «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области технологий мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы при лесных и торфяных пожарах» (контракт № 16.515.11.5029 от 12 мая 2011 г.).

А.С. Гаврилов

**ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОДЪЕМА ТЕПЛОВОЙ СТРУИ
ОТ ЛЕСНОГО ПОЖАРА С УЧЕТОМ ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ВНЕШНИМ ПОТОКОМ**

A.S. Gavrilo

**NUMERICAL MODEL FOR LIFTING JET HEAT FROM FOREST
FIRES IN VIEW OF INTERACTION WITH EXTERNAL STREAM**

Предложена 3D численная модель атмосферы в окрестности очагов горения лесных пожаров на основе системы уравнений глубокой конвекции применительно к расчету полей температуры, скорости ветра, влажности, водности, а также интенсивности эмиссии газообразных и аэрозольных продуктов сгорания. В качестве исходных данных привлекаются детектируемые искусственными спутниками Земли поля яркостной температуры на верхней границе дымового шлейфа. Модель предназначена для включения в качестве составной части в создаваемую в настоящее время численную модель загрязнения атмосферы продуктами сгорания от лесных пожаров.

Ключевые слова: численное моделирование, лесной пожар, эмиссия загрязняющих веществ, прогноз загрязнения атмосферы.

3D numerical model of the atmosphere in the vicinity of forest fires based on the equations of deep convection in relation to the calculation of temperature fields, wind speed, humidity, water content, as well as the intensity of the emission of gaseous and particulate products of combustion is proposed. The initial data are involved in artificial satellites detected field brightness temperature at the top of the smoke plume. The model is intended to be included as an integral part of the current created by the numerical model of atmospheric pollution by combustion products from forest fires.

Key words: numerical modeling, forest fire, emission of pollutants, air pollution forecast.

1. Постановка вопроса

Вопрос о создании современной технологии оперативного прогноза загрязнения атмосферы продуктами выбросов от лесных пожаров стал актуальным в последние годы в связи катастрофическими последствиями от пожаров в средней полосе России в 2010 г. Создание подобной технологии упирается в две основные проблемы: получение оперативной и достоверной информации о характеристиках очагов горения и создание соответствующих математических моделей, синтезирующих всю доступную информацию на этот счет и способных оперативно прогнозировать последствия подобных явлений.

Следует учитывать, что наиболее интенсивные процессы выноса продуктов сгорания в более высокие слои атмосферы реализуются возникающими в случаях интенсивного перегрева в зоне сгорания так называемыми «конвективными колонками» (например, [1]), формируемыми в результате взаимодействия возникающих над очагами горения тепловых струй с натекающим ветровым пото-

ком. Эти явления являются существенно локальными и требуют для своего численного моделирования высокого пространственного разрешения (десятки метров), в то время как перенос продуктов сгорания в атмосфере, который, собственно, и нужно прогнозировать, является явлением регионального масштаба (сотни километров).

За основу построения модели прогноза в настоящем исследовании взята численная микрометеорологическая модель [2], разработанная ранее для моделирования тепловых явлений и фазовых переходов в окрестности градирен. Данная модель основана, в свою очередь, на традиционно используемой в мезометеорологии системе уравнений в отклонениях от фона и приближении Буссинеска (например, [3]).

2. Основные уравнения

Запишем систему осредненных уравнений динамики атмосферы для отклонений от своих фоновых значений компонент вектора скорости ($u_1 = u$, $u_2 = v$, $u_3 = w$), а также отклонений потенциальной температуры (ϑ) и массовой доли водяного пара (q) от своих фоновых значений ($\bar{\vartheta}$, $\bar{q}$), удельной водности (δ) и произвольной примеси от очага горения (s) на вращающейся Земле в системе декартовых координат x_i , направив ось $x_1 \equiv x$ для определенности на восток, ось $x_2 \equiv y$ на север, а $x_3 \equiv z$ вертикально вверх [формулы (1) – (16)]:

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_1}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_1} + l(u_2 - V_G) - \frac{\partial R_{1\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_2}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_2} - l(u_1 - U_G) - \frac{\partial R_{2\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_3}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial u_3}{\partial x_\alpha} = -\frac{\partial \pi}{\partial x_3} + \sigma \pi - g \frac{\rho - \bar{\rho}}{\rho} - \frac{\partial R_{3\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_\alpha} + \delta_{\alpha 3} \gamma_\vartheta \right) = \frac{L}{C_p} \varepsilon - \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial F_\alpha}{\partial x_\alpha} + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\alpha} \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_\alpha} + \delta_{\alpha 3} \gamma_\vartheta \right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \left(\frac{\partial q}{\partial x_\alpha} + \delta_{\alpha 3} \gamma_Q \right) = -\varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\alpha} \left(\frac{\partial q}{\partial x_\alpha} + \delta_{\alpha 3} \gamma_Q \right), \quad (5)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + (\tilde{u}_\alpha - W_\delta \delta_{\alpha 3}) \frac{\partial \delta}{\partial x_\alpha} = \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\alpha} \frac{\partial \delta}{\partial x_\alpha}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + (\tilde{u}_\alpha - W_s \delta_{\alpha 3}) \frac{\partial s}{\partial x_\alpha} = \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\alpha} \frac{\partial s}{\partial x_\alpha}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\alpha} = \sigma u_3, \quad (8) \quad U_G = -\frac{1}{\bar{\rho} l} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_2}, \quad (9) \quad V_G = \frac{1}{\bar{\rho} l} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_1}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial z} = -\bar{\rho}g, \quad (11) \quad \bar{\theta} = \bar{T} \left(\frac{P_0}{\bar{P}} \right)^{R/C_p} \quad (12), \quad \bar{P} = \bar{\rho}R\bar{T} \quad (13)$$

$$P = \rho RT, \quad (14) \quad \sigma = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_3}, \quad (15) \quad \gamma_{\theta,Q} = \frac{\partial(\bar{\theta}, \bar{q})}{\partial x_3}, \quad (16)$$

где $\pi = (P - \bar{P})/\rho$ – отклонение давления воздуха P от своей средней величины $\bar{P}$, нормированное на его плотность ρ ; $R_{ij} \equiv \langle u'_i u'_j \rangle$ – тензор напряжений Рейнольдса (угловые скобки – признак осреднения); g – ускорение свободного падения; l – параметр Кориолиса ($l = 2\omega \sin \varphi$, ω – угловая скорость вращения Земли, φ – широта); L – удельная теплота парообразования; C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; F_i – компоненты вектора длинноволнового радиационного потока тепла, формируемого перегретой конвективной колонкой; R – газовая постоянная для сухого воздуха; ε – интенсивность конденсации; $K_{11} \equiv K_x, K_{22} \equiv K_y, K_{33} \equiv K_z$ – компоненты тензора коэффициентов турбулентного обмена по соответствующим осям; W_δ и W_s – скорости седиментации, соответственно, для образующихся при конденсации капель воды и аэрозольных частиц примеси (для газовых примесей $W_s = 0$); $P_0 = 1000$ гПа, $\tilde{u}_1 = u_1 + U_G$, $\tilde{u}_2 = u_2 + V_G$, $\tilde{u}_3 = u_3$.

По индексу α производится суммирование, а δ_{ij} – единичный тензор (символ Кронекера): $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$ и $\delta_{ij} = 1$ при $i = j$.

Уравнения (1) и (2) получены путем вычитания из исходных уравнений Рейнольдса для горизонтальных компонент скорости соответствующих геострофических соотношений (10) и (9), в предположении о независимости плотности воздуха от горизонтальных координат, а уравнение (3) – вычитанием из уравнения Рейнольдса для вертикальной скорости уравнения статики (11), которому, как обычно предполагается, удовлетворяет среднее давление $\bar{P}$ при средней (фоновой) потенциальной температуре воздуха (12) и соответствующей ей молекулярно-кинетической температуре воздуха $\bar{T}$.

Компоненты геострофической скорости ветра U_G, V_G играют здесь роль компонентов фоновой горизонтальной скорости ветра и приняты, для простоты, не меняющимися с высотой, что, впрочем, несколько не ограничивает общность, поскольку в противном случае (например, при температурной адвекции в свободной атмосфере) их изменение с высотой совсем нетрудно учесть. То же относится и к фоновым значениям вертикальной скорости и влажности, которые предполагается еще и равными нулю.

Все фоновые величины предполагаются известными, поскольку определяются синоптическими процессами на масштабах сотни и тысячи километров и

должны, таким образом, должны браться из соответствующих крупномасштабных моделей.

Аналогично получено и уравнение (4) для переноса в турбулентной атмосфере величин отклонения потенциальной температуры от фоновых своих значений (12), где для простоты учтен только вертикальный градиент фоновой потенциальной температуры (15), который, как известно, существенно превосходит аналогичные горизонтальные градиенты.

Особенностью записи исходной системы уравнений для глубокой конвекции является появление в правых частях уравнений (3) и (8) функции (15), учитывающей падение плотности с высотой, причем, как нетрудно показать:

$$\sigma = \frac{1}{R\bar{T}} \left(g + \frac{\partial \pi}{\partial x_3} \right) + \frac{1}{\bar{T}} \left(\gamma_0 - \gamma_A + \frac{\partial \vartheta}{\partial x_3} \right), \quad (17)$$

где $\gamma_A = g / C_p$ – сухоадиабатический градиент.

Еще одной важной особенностью полученной системы уравнений является отказ от часто используемого приближения Буссинеска, т.е. представления отклонений в плотности воздуха в правой части уравнения (3) только через соответствующие отклонения в температуре (пренебрегая аналогичными отклонениями в давлении). Действительно, если вычесть из уравнения состояния в полной форме (14) уравнение (13), то легко можно получить:

$$g \frac{\rho - \bar{\rho}}{\rho} = -\beta \left(\vartheta - \frac{\pi}{R} \right), \quad (18)$$

где $\beta = g / \bar{T}$ – параметр плавучести.

Если возмущения температуры ϑ и, следовательно, соответствующие возмущения π , невелики, что имеет место в естественном конвективном турбулентном потоке, то вторым членом в скобке левой части (18) по сравнению с первым можно пренебречь и, таким образом, перейти к использованию приближения Буссинеска. Между тем, особенностью развития конвективных колонок при лесных пожарах является отнюдь не малые значения ϑ (сотни градусов Цельсия), что препятствует использованию здесь столь удобного при расчетах приближения.

Таким образом, отказ от приближений мелкой конвекции с одной стороны и от приближения Буссинеска с другой, приводит к усилению общей нелинейности системы уравнений по сравнению с той, которая использовалась как в работе [6], так и подавляющем числе работ на эту тему, что, разумеется, является ни чем иным, как математическим отражением сложности такого физического явления, как интенсивное тепловое воздействие на атмосферу.

Система уравнений (1)-(18) является, однако, не замкнутой, поскольку пока не определен способ расчета компонент тензора турбулентных напряжений Рейнольдса R_{ij} , коэффициентов турбулентного обмена K_x, K_y, K_z , длинноволнового радиационного потока F_i и интенсивности конденсации ε .

3. Методы замыкания исходной системы уравнений

Физика процессов формирования турбулентного режима в конвективных колонках лесных пожаров остается в настоящее время практически не исследованной. Можно лишь с уверенностью говорить о том, что главной особенностью подобных интенсивных тепловых воздействий на атмосферу является их существенная пространственная неоднородность и анизотропность, что делает весьма проблематичным использование в этом случае достаточно хорошо зарекомендовавших себя методов замыкания уравнений атмосферного пограничного слоя (например, [4]), ориентированных на те или иные уравнения для одноточечных моментов турбулентных пульсаций или диссипации. Все эти подходы остаются здесь, вероятно, делом будущего, поскольку требуют высококачественных экспериментальных данных для определения многочисленных эмпирических констант.

Не является здесь перспективным и использование упрощенных способов расчета коэффициентов турбулентности, связывающих эти величины с локальными градиентами средней скорости и температуры, весьма популярные при 3D моделировании турбулентных течений (например, [5]), в силу исключительно интенсивных в этом случае процессов упорядоченного и турбулентного переноса в том числе и характеристик турбулентности.

Для замыкания исходной системы уравнений в данной работе используется некоторый промежуточный путь, основанный на использовании известного уравнения баланса средней удельной кинетической энергии турбулентности $b^2 = 0,5R_{\alpha\alpha}$ в следующей форме:

$$\frac{\partial b^2}{\partial t} + \tilde{u}_\alpha \frac{\partial b^2}{\partial x_\alpha} = -R_{\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\beta} - \beta K_Z \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x_3} + \gamma_\theta \right) - c_\varepsilon \frac{b^3}{L} + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} K_{\alpha\alpha} \frac{\partial b^2}{\partial x_\alpha}, \quad (19)$$

где $c_\varepsilon \approx 0,04$ так называемая «константа диссипации», а $L = (L_X L_Y L_Z)^{1/3}$ – некоторый средний линейный масштаб анизотропных турбулентных образований, с характерными масштабами L_X, L_Y, L_Z вдоль соответствующих осей координат. Здесь первый член в правой части описывает генерацию энергии за счет динамического фактора, второй – за счет термического фактора, а третий – диссипацию энергии турбулентности в тепло, причем для компонент тензора напряжений Рейнольдса $R_{ij} \equiv \langle u'_i u'_j \rangle$ применяется некоторое «квазиизотропное» представление через тензор деформации Ψ_{ij} [4]:

$$R_{ij} = -K \Psi_{ij} + \left(\frac{2}{3} b^2 + K \sigma u_3 \right) \delta_{ij}, \quad \Psi_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (20)$$

где $K = (K_X K_Y K_Z)^{1/3}$.

Нетрадиционная форма (20) определяется особенностью записи уравнения неразрывности (8) для глубокой конвекции, поскольку в любом случае для суммы диагональных компонент этого тензора должно выполняться: $R_{\alpha\alpha} = 2b^2$.

Далее, по образцу традиционной гипотезы А.Н.Колмогорова [4], описывающей связь коэффициента турбулентного обмена с энергией турбулентности и масштабом, предполагается выполнение следующих соотношений:

$$K_X = L_X b, \quad K_Y = L_Y b, \quad K_Z = L_Z b. \quad (21)$$

Наконец, следует сформулировать способы расчета собственно масштабов турбулентности L_X, L_Y, L_Z .

Следует отметить, что для расчета вертикального масштаба L_Z даже применительно к термическим колонкам вполне допустимо использование подходов, достаточно хорошо апробированных применительно к атмосферному пограничному слою, поскольку характер его формирования определяется все теми же факторами: ограничительным влиянием подстилающей поверхности и энергетикой процесса. В этой связи вполне пригодным представляется привлечение для этой цели гипотезы Блекедара [6]:

$$L_Z = \frac{\kappa z}{1 + \frac{\kappa z}{L_H}}; \quad L_H = C_z \frac{\int_0^\infty z b dz}{\int_0^\infty b dz}, \quad (22)$$

где $\kappa \approx 0,4$ – постоянная Кармана, а $C_z \approx 0,2$ – эмпирическая константа. Формула (22) обеспечивает необходимую асимптотику при $z \rightarrow 0$ и выход масштаба на некоторое постоянное значение L_H при $z \rightarrow \infty$.

На горизонтальные масштабы L_X и L_Y ограничительное воздействие поверхности уже никак не влияет, но вполне допустимо предположить, что эти величины должны быть пропорциональны соответствующему пространственному масштабу всей тепловой колонки от изолированного очага пожара в целом, мерой которого может быть упомянутый выше масштаб L_H , так что для простоты полагалось: $L_X = L_Y = L_H$.

При расчете компонентов вектора длинноволнового радиационного потока F_i в (4) целесообразно ограничиться рассмотрением лишь его вертикальной составляющей, поскольку наиболее мощный источник подобного излучения с температурой T_F находится в слое горения в приземном слое:

$$F_3(m) = \sigma T_F^4 D(m) + \int_0^\infty \sigma T^4(u) dD(|m - u|), \quad (23)$$

где $D(m)$ – интегральная функция пропускания для аэрозольного облака частиц дыма от горения с оптической массой m , вычисляемой на основе расчетных значений плотности аэрозольных частиц s [уравнение (7)]:

$$m(z) = \int_0^z s(\eta) d\eta.$$

В качестве $D(m)$ привлекалась аппроксимация, предложенная в работе [7] для облачных условий.

В заключение укажем способ расчета интенсивности конденсации ε в уравнениях (4)–(6). Эта величина определяется из условия полной конденсации избытка водяного пара по отношению к насыщающим его значениям при данной температуре, так что справедливо:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0 \text{ при } q \leq q_{\max}(T), \\ \varepsilon &= q - q_{\max}(T) \text{ при } q > q_{\max}(T), \end{aligned} \quad (24)$$

где $q_{\max}$ – максимальное значение массовой доли водяного пара при заданной температуре.

4. Краевые условия

Удобством использования системы уравнений для отклонений от фона является возможность максимально широкого применения однородных краевых условий, что, как известно, значительно упрощает численное моделирование.

В качестве начальных условий принимается равенство всех отклонений от фона нулю:

$$u_3 = \vartheta = q = \delta = s = 0 \text{ при } t = 0 \quad (25)$$

Горизонтальные скорости ветра задаются при $t = 0$, исходя из соотношений:

$$u_1(x_3) = U(x_3) - U_G, \quad u_2(x_3) = V(x_3) - V_G, \quad b^2(x_3) = B^2(x_3), \quad (26)$$

где $U, V, B^2(x_3)$ – вертикальные профили горизонтальных компонент скорости ветра и средней кинетической энергии турбулентности, получаемые на основе стационарных решений уравнений (2), (3) и (19) при условии (24).

Наконец, входящие в уравнения (4) и (19) $\gamma_\theta(x_3)$ и в уравнение (5) $\gamma_q(x_3)$ задаются на основе соответствующих фоновых вертикальных профилей температуры и влажности из крупномасштабной модели.

В качестве расчетной области рассматривается параллелепипед с размером основания $\Lambda_X \times \Lambda_Y$, высотой верхней границы Z_H и расположением нижней границы Z_1 на высоте, превышающей зону очага горения (выше «языков пламени»).

На верхней границе расчетной области Z_H все отклонения от фона, равно как и энергия турбулентности, полагаются равными нулю, а на боковых гранях расчетной области принимаются равными нулю все нормальные к соответствующей границе производные от всех искомым величин:

$$\begin{aligned} u_i = \vartheta = q = \delta = s = 0 \text{ при } x_3 = Z_H, \\ \frac{\partial u_i}{\partial n} = \frac{\partial \vartheta}{\partial n} = \frac{\partial q}{\partial n} = \frac{\partial \delta}{\partial n} = \frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad i = (1, 2, 3), \end{aligned} \quad (27)$$

при $x_1 = 0, \Lambda_X$ и $x_2 = 0, \Lambda_Y$.

Наиболее сложной проблемой является задание нижних граничных условий на уровне Z_1 .

Для этого следует предварительно выделить область очага пожара, которую мы определим как множество точек внутри криволинейной плоской фигуры, для идентификации которой вводится специальный индексный массив $I(x_1, x_2)$, элемент которого равен единице внутри данной области и нулю – за ее пределами. При этом справедливо:

$$\vartheta_H \equiv \vartheta(x_1, x_2, Z_H) = \Delta I(x_1, x_2), \quad (28)$$

где Δ – перегрев области пожара относительно окружающего пространства, определяемый по интенсивности излучения приемников ИСЗ (яркостная температура), а Z_H – некоторая условная высота, заведомо превышающая высоту верхней границы формируемого за счет очага пожара аэрозольного (дымового) облака. Для установления связи определенной таким образом величины перегрева Δ с температурой на уровне горения $T_F = T(Z_F)$ приземном слое следует воспользоваться уравнением (23), записанного в следующей форме:

$$[\tilde{T}(Z_H) + \vartheta_H]^4 = T_F^4 D(m) + \int_0^{Z_H} T^4(u) dD(|m - u|), \quad (29)$$

причем во всех случаях полагается $Z_1 > Z_F$.

В связи со значительными отрицательными вертикальными градиентами температуры непосредственно над пожаром, в этой области наблюдаются условия свободной конвекции, так что справедливо [4]:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial z} = -A_\theta H_0^{2/3} \frac{z^{-4/3}}{\beta^{1/3} \kappa^{4/3}}, \quad \frac{\partial V}{\partial z} = A_V u_*^2 \frac{z^{-4/3}}{(\beta H_0)^{1/3} \kappa^{4/3}}, \quad (29)$$

где A_θ, A_V – известные из эксперимента константы; H_0 – нормированный на объемную теплоемкость воздуха вертикальный турбулентный поток тепла в приземном слое; $V = [(u + U_G)^2 + (v + V_G)^2]^{1/2}$ – модуль скорости ветра; u_* – динамическая скорость.

Интегрируем градиент температуры в (29) последовательно для промежутков (z_2, z_1) и (z_1, Z_F) , а градиент скорости ветра – для (z_2, z_1) и (z_1, Z_0) , где Z_0 – шероховатость подстилающей поверхности, так что $V(Z_0) = 0$, а z_i – уровни вычислительной сетки по вертикали. Исключая далее в полученных системах уравнений все входящие в (29) коэффициенты, можно в итоге записать следующие граничные условия для ϑ, u, v, w и влажности δ в области пожара непосредственно в конечно-разностной форме:

$$\begin{aligned} \vartheta_1 &= \frac{1}{1+A} \vartheta_2 + \frac{A}{1+A} \Delta, \\ u_1 &= \frac{1}{1+A_v} u_2 - \frac{A_v}{1+A_v} U_G, \quad v_1 = \frac{1}{1+A_v} v_2 - \frac{A_v}{1+A_v} V_G, \\ A &= \frac{z_2^{-1/3} - z_1^{-1/3}}{z_1^{-1/3} - Z_F^{-1/3}}, \quad A_v = \frac{z_2^{-1/3} - z_1^{-1/3}}{z_1^{-1/3} - Z_0^{-1/3}}, \quad w_1 = \delta_1 = 0, \end{aligned} \quad (30)$$

где нижнее граничное условие для вертикальной скорости соответствует очевидному условию непротекания воздуха через земную поверхность, а влажность равна нулю, поскольку над очагом пожара водяной пар вследствие высоких температур может находиться только в парообразной форме.

Для задания нижнего граничного условия для средней кинетической энергии турбулентности также воспользуемся предельными соотношениями, вытекающими для условий свободной конвекции в приземном слое из уравнения (19), когда главными компенсирующими друг друга членами этого уравнения становятся диссипация и генерация энергии за счет термического фактора, откуда следует:

$$b^2(z_1) = -\frac{\beta}{c_\varepsilon} L_z L \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial z} + \gamma_\theta \right). \quad (31)$$

Обратимся теперь к заданию граничных условий для массовой доли водяного пара q и произвольной примеси s как продуктам сгорания лесного покрова. Для вычисления соответствующих потоков массы свяжем эти величины с интенсивностью сгорания топлива с единицы площади $M, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ и содержанием соответствующих примесей в топливе: воды f_Q , химических веществ или аэрозолей – f_s (в долях единицы). В этом случае справедливы следующие выражения для соответствующих турбулентных потоков, которые и используются далее в качестве нижних граничных условий в зоне горения:

$$M = -\frac{1}{E_F} \rho C_p K_z \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial z} \right|_{z=z_1},$$

$$\left. \frac{\partial q}{\partial z} = -\frac{f_Q M}{\rho K_z} \right|_{z=z_1}, \quad \left. \frac{\partial s}{\partial z} = -\frac{f_S M}{\rho K_z} \right|_{z=z_1}, \quad (32)$$

где E_F – средневзвешенная по породам деревьев теплотворная способность (например, для соснового леса эта величина согласно [8] составляет около 15 Мдж/кг для сухой древесины). Обычной влажностью древесины при пожаре по данным [9] являются значения $f_Q = 0,05–0,25$ (для более высокого увлажнения возгорания не происходит). Характерные экспериментальные значения коэффициентов f_S для различных эмитируемых пожаром загрязняющих веществ представлены в работе [10]: для хвойных лесов коэффициент суммарного выброса для суммы аэрозолей 2,5 и 10 РМ составляет около 0,025, а для угарного газа – 0,09.

Задание нижнего граничного условия за пределами очага пожара не представляет трудностей: все величины за исключением горизонтальных компонент скорости полагаются на нижнем уровне расчетной сетки совпадающими со своими фоновыми значениями, а именно:

$$u_3 = v_3 = q = \delta = s = 0 \quad \text{при } z = z_1$$

$$u(z_1) = U(z_1) - U_G, \quad v(z_1) = V(z_1) - V_G, \quad b^2(z_1) = B^2(z_1). \quad (33)$$

4. Численная реализация

Интегрирование (1)–(7), (19) производится численно с использованием метода расщепления и явной численной схемы типа Лакса-Вендрофа [11] с шагом по времени Δ_t до момента установления процесса обтекания участка территории с очагом (или очагами) пожаров. Величина Δ_t выбирается на каждом временном шаге с учетом требований обеспечения вычислительной устойчивости для явных схем.

Для численного интегрирования (1)–(3) используется метод расщепления [5], где на первом полушаге (перенос и диффузия) интегрировалось конечно-разностное уравнение:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = F_i^n, \quad (34)$$

а на втором полушаге (адаптация поля ветра и давления) использовалось следующее представление:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1} - u_i^{n+1/2} \right) = -\frac{\partial \pi^{n+1}}{\partial x_i} + G_i^n, \quad (35)$$

где для простоты приняты обозначения:

$$F_i = -u_\alpha \frac{\partial u_i}{\partial x_\alpha} - \frac{\partial R_{i\alpha}}{\partial x_\alpha}, \quad (36)$$

$$G_i = l(u_2 - V_G)\delta_{i1} + l(U_G - u_1)\delta_{i2} + \left[\sigma\pi + \beta\left(9 - \frac{\pi}{R}\right) \right] \delta_{i3}. \quad (37)$$

На первом полушаге используется явная трехмерная конечно-разностная схема типа Лакса-Вендрофа в ее двухслойной интерпретации, которая в наших обозначениях имеет следующий вид:

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(\hat{u}_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = F_i^n, \quad (38)$$

$$\frac{1}{\Delta_t} \left(u_i^{n+1/2} - u_i^n \right) = \hat{F}_i^{n+1/2}. \quad (39)$$

На первом этапе по (38) определяется поле-предиктор скорости ветра $\hat{u}_i^{n+1/2}$, задаваемое в узлах вспомогательной сетки, сдвинутых относительно основной на полшага по всем направлениям. По этому полю, далее, по (36) вычислялось уточненное значение $\hat{F}_i^{n+1/2}$. На втором этапе поле корректируется по (39) с определением, в итоге, скорости после первого полушага в узлах основной сетки.

Для адаптации полей ветра и давления на втором полушаге применим оператор дивергенции к (35) и получим:

$$\frac{\partial^2 \pi^{n+1}}{\partial x_\alpha^2} = \frac{1}{\Delta_t} (D^{n+1/2} + \sigma^n u_3^{n+1/2}) + \frac{\partial G_\alpha^n}{\partial x_\alpha}, \quad D^{n+1/2} = \frac{\partial u_\alpha^{n+1/2}}{\partial x_\alpha} \quad (40)$$

так называемое уравнение Пуассона для давления (диагностическое уравнение эллиптического типа), где $D^{n+1/2}$ – дивергенция скорости $u_i^{n+1/2}$, причем (40) записано с учетом выполнения уравнения неразрывности (8) на шаге $n + 1$. В связи с увеличением общего порядка системы дифференциальных уравнений после получения (40), необходимо сформулировать дополнительные граничные условия для этого уравнения, в качестве которых привлекаются следующие: $\pi^{n+1} = 0$ на верхней границе и боковых гранях расчетной области и нижнее граничное условие, вытекающее из уравнения (3) при условии $w_1 = 0$ из (30) и соотношения (18):

$$-\frac{\partial \pi^{n+1}}{\partial z} + \pi^{n+1} \left(\sigma^n - \frac{\beta}{R} \right) + \beta \vartheta^n = 0. \quad (41)$$

В используемом нами варианте численной модели для интегрирования (40) привлекается известный итерационный метод последовательной верхней релаксации [8]. После расчета поля давления с учетом граничных условий (41) осуществляется окончательный расчет поля скорости ветра на шаге $n + 1$ по (35).

Аналогичным образом производилось интегрирование уравнений для скалярных искомым величин (4)–(7). Отличие состояло лишь в том, что на первом полушаге с использованием упомянутой выше схемы Лакса-Вендрофа рассчитывался упорядоченный перенос, а на втором полушаге – турбулентная диффузия. Упрощенная структура соответствующих членов в этих уравнениях, описывающих турбулентную диффузию, позволяла в этом случае осуществлять дополнительное расщепление по направлениям и использовать для интегрирования на втором полушаге известный метод прогонки.

Таким образом, предложенная система уравнений позволяет описывать все сколько-нибудь значительные физические процессы при формировании высокотемпературных конвективных колонок над очагами лесных пожаров и ориентирована на использование достаточно стандартного для настоящего времени потока исходных данных: результатов зондирования из космоса уходящего теплового излучения от пожаров и данных крупномасштабного прогноза (анализа) метеорологических характеристик.

Автор признателен Р.Е. Ванкевичу за полезные консультации.

Литература

1. Гостинцев Ю.А., Суханов Л.А. Аэродинамика среды при больших пожарах. Линейный пожар. – Препринт Ин-та химической физики АН СССР, Черноголовка, 1977. – 51 с.
2. Баранова М.Е., Гаврилов А.С., Чихачев К.Б. Численное моделирование воздействия башенных испарительных градиентов на окружающую среду // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 17, с. 8-17.
3. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. – Л.: Гидрометеониздат, 1969. – 293 с.
4. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, т. 1. – СПб.: Гидрометеониздат, 1992. – 695 с.
5. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
6. Blackadar A.K. The vertical distribution of the wind and turbulent exchange in a neutral atmosphere. I. Geophys. Res., 1962, vol. 67, №80, p.3095-3102.
7. Градус Л.М., Нийлиск Х.Ю., Фейгельсон Е.М. Интегральная функция пропускания для облачных условий // Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1968, т. 4, № 4, с. 397-413.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике. Изд. 2-е. – М.: Мир, 1985. – 519 с.
9. Щетинский Е.А. Охрана лесов от пожаров. Ч. 1. Лесные пожары и охрана лесов, Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства, г. Пушкино, 1998.
10. Yokelson, R. J., D. E. Ward, R. A. Susott, J. Reardon, and D. W. T. Griffith, Emissions from smoldering combustion of biomass measured by open path Fourier transform infrared spectroscopy, J. Geophys. Res., 102,18,865 – 18,877, 1997.
11. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по теме: «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области технологий мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы при лесных и торфяных пожарах» (контракт № 16.515.11.5029 от 12 мая 2011 г.).

К.Б. Чихачев

**МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ
ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

K.B. Tchikhatchev

**SEATS OF FIRE CLUSTERIZATION METHOD
WITH RESPECT TO COSMIC EXPLORATION DATA**

Предлагается метод выделения очагов пожаров по данным космического зондирования для последующего решения задач численного моделирования состояния атмосферы при лесных и торфяных пожарах. Дается краткий обзор основных применяемых методов кластеризации, применяемых метрик и критериев оптимальности. Приводится описание принципа работы двух алгоритмов кластеризации. Предложен метод нахождения оптимальных настроечных параметров и критерий оценки качества работы одного из алгоритмов применительно к поставленной задаче.

Ключевые слова: лесные пожары, численное моделирование атмосферы, методы кластеризации.

Seats of fire allocation method with respect to cosmic exploration data is proposed for future solving problems of numerical modeling of the atmosphere during forest and peat fires. A brief overview of the main applied clusterization methods, applied metrics and optimality criteria provides. A description is given for the principle of the two algorithms for clustering. Method is proposed for finding the optimal tuning parameters and criteria for assessing the quality of one of the algorithms applied to the task.

Key words: forest fires, numerical modeling of the atmosphere, clustering techniques.

Наиболее активные процессы выноса продуктов сгорания от лесных и торфяных пожаров в более высокие слои атмосферы реализуются возникающими в случаях интенсивного перегрева в зоне сгорания вертикальными струями от некоторой совокупности очагов горения, которые взаимодействуют как между собой, так и с внешним потоком [1].

На основе данных зондирования с искусственных спутников Земли (ИСЗ) в оперативном режиме оказывается возможным приближенно оценивать местоположение и яркостную температуру очагов горения, причем местоположение дается с точностью до размера проекции пикселя матрицы приемника излучения на ИСЗ (около 1 км на местности).

При обработке этих данных применительно к информационному обеспечению последующих расчетов с использованием моделей, возникает задача оптимальной группировки одиночных очагов пожаров. Общее требование здесь состоит в том, чтобы, с одной стороны, выделенные области (кластеры очагов горения) не были слишком велики и допускали последующее 3D моделирование с высоким пространственным разрешением, а с другой – не взаимодействовали динамически и термодинамически друг с другом.

Поскольку данные ИСЗ дают нам весьма разнообразные по яркостной температуре пиксели, как активному горению, так и угасающим участкам очагов пожара, то при кластеризации возникает необходимость использовать не только координаты точек, но и зафиксированную в них температуру, поскольку интерес представляют, в первую очередь, именно участки активного горения. Для этого при кластеризации целесообразно применять не обычную евклидову метрику расстояния между пикселями, а метрику, использующую помимо взаимного положения пикселей еще и разность зафиксированных в них температур. В рамках данной работы использовалась следующая метрика взаимного положения пикселей $p = (p_x, p_y, p_t)$ и $q = (q_x, q_y, q_t)$:

$$|p, q| = \left((p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 \right)^{1/2} + k |p_t - q_t|, \quad (1)$$

где k – размерный коэффициент увязки влияния температуры точек, индексами x и y обозначены координаты пикселя (прямоугольные или географические), а индексом t – температура.

Существует значительное количество алгоритмов для решения задач такого типа кластеризации, которые ищут оптимальное разбиение точек на кластеры по разным нормам и разным показателям оптимальности (например, [2, 4, 5]). Некоторые из них накладывают дополнительные ограничения на применяемую норму. В большинстве случаев – это требование выполнения неравенства треугольника. Нетрудно видеть, что в нашем случае это условие выполнено.

В качестве критерия оптимальности может применяться диаметр кластера, средняя удаленность от центра кластера, среднее попарное расстояние, размеры окаймляющего кластер прямоугольника, количество кластеров. Для целей решаемой нами задачи критериями оптимальности будут отклонение от желаемого количества кластеров и размеры окаймляющего прямоугольника, поскольку основные ограничения задачи моделирования – это целостность очага пожара и ограниченность области моделирования.

Наиболее подходящим для нашей задачи следует признать алгоритм [6], основанный на выделении ровно m центров кластеров и дальнейшем отнесении оставшихся точек к ближайшему центру. Задача выделения m центров является NP -полной, т.е. построение точного алгоритма, который находил бы оптимальное решение за полиномиальное от количества точек время, является в настоящее время неразрешимой задачей. Таким образом, для значительных по размерам входных данных возможно использование лишь приближенных алгоритмов. Предложенный приближенный алгоритм находит решение не более чем в 2 раза худшее, чем оптимальное. Суть самого алгоритма заключается в последовательном нахождении очередной точки, которая будет добавлена последней при применении алгоритма Дейкстры [3] из уже найденных точек.

Распространение очага пожара зависит от многих факторов, поэтому является неравномерным по направлениям. Вследствие этого очаги пожара зача-

стую могут иметь неправильную форму. По этой причине применение описанного алгоритма кластеризации не дает желаемых результатов, поскольку строит выпуклые кластеры наименьшего диаметра, а не в форме очагов пожаров. Для решения этой проблемы предлагается алгоритм кластеризации на основе построения скелета (остовного дерева) точек с последующим его разделением на кластеры.

Рассмотрим полный граф на множестве всех точек зондирования с весами на ребрах, равными расстоянию между точками в метрике (1). Используя алгоритм Прима [3], выделим основное дерево, т.е. минимальный по сумме длин набор ребер при котором граф остается связным.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Алгоритм заключается в следующем. Будем строить дерево, последовательно добавляя в него ребра. На каждом следующем шаге выбираем из вершин еще не принадлежащих дереву ту вершину, у которой длина кратчайшего ребра до вершин уже построенного дерева минимальна. Добавим ее в дерево с ее кратчайшим ребром. Поскольку изначальный граф связный (в нашем случае он полный), то данную операцию возможно проводить до тех пор пока в дерево не будут добавлены все вершины. Также следует заметить, что поиск вершины для добавления можно производить не перебором всех вершин и всех ребер из нее, а сохранив для каждой вершины, не принадлежащей дереву, кратчайшее ребро до вершин дерева. Блок-схема алгоритма показана на рис. 1.

При добавлении очередной вершины в дерево кратчайшее ребро для какой-то другой вершины может измениться только в том случае, если ребро до вновь добавленной вершины короче сохраненного. Время обновления массива кратчайших

ребер пропорционально количеству вершин, в то время как непосредственное его вычисление – квадрату количества вершин. Работа алгоритма проиллюстрирована на рис. 2, а. Текущее дерево выделено черными ребрами, кратчайшие ребра для остальных вершин – серыми. На очередном шаге будет взято наименьшее серое ребро и добавлено в дерево.

Как показали проведенные эксперименты, построенный таким образом остов содержит в основном ребра, лежащие внутри очагов пожара, соединяя кроме этого лишь ближайшие очаги единичными ребрами большой длины. После исключения ребер с длиной большей порогового значения $d_{\max}$, граф распадается на компоненты связности, которые и соответствуют очагам пожаров (или группам близкорасположенных очагов).

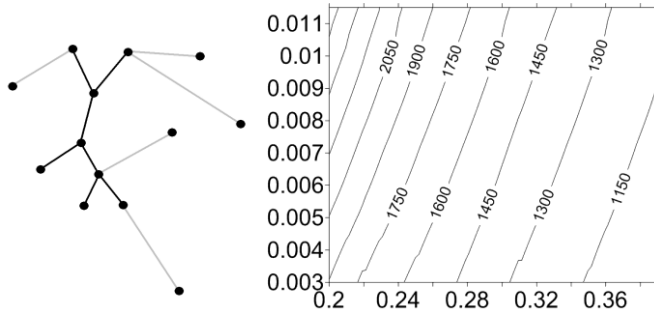


Рис. 2. *а* – пример построенного фрагмента остова дерева и кратчайшие ребра до него;
б – расчетная зависимость количества кластеров от порогового значения $d_{\max}$ и коэффициента k

Следует заметить, что поскольку данный алгоритм использует в метрике расстояние между точками на всем наборе точек зондирования, т.е. на поверхности всего земного шара, то логичнее было бы в формуле (1) использовать вместо выражения $\left[(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2\right]^{1/2}$, которое соответствует расстоянию в проекции Меркатора, расстояние между точками на эллипсоиде. Однако в этом нет необходимости, поскольку результат работы алгоритма Прима существенно зависит только от соотношения расстояний близкорасположенных точек, которое несущественно различается из-за достаточной густоты расположения точек зондирования в районах пожаров.

Для определения наилучших значений порогового значения $d_{\max}$ и коэффициента увязки k был проведен комплекс расчетов кластеров по архиву данных космического зондирования за лето 2011 г. для широкого диапазона значений параметров. Данные включают в себя следующие поля: географические координаты точки, размеры прямоугольника, на котором зафиксировано превышение температуры, дата, температура и выброс. Исследование показало, что наилучший результат в смысле решения поставленной в начале данной работы задачи достигается при количестве кластеров близком к 1700. Зависимость количества кластеров от порогового значения $d_{\max}$ и коэффициента k показана на рис. 2, *б*.

Из рисунка видно, что значение 1700 задает нам лишь изолинию взаимозависимости параметров, однако по смыслу понятно, что ни расстояние, ни разность температур не могут превалировать в определении метрики, поэтому следует использовать такое значение k , при котором расстояние и разность температур вносят одинаковый вклад в определение метрики. Взяв в качестве такого значения $0,0075^\circ/\text{K}$ получает значение $d_{\max}$ равным $0,15^\circ$.

В случае если на каком-либо наборе данных эти значения дают неудовлетворительный результат, то возможно их определение с использованием экспертной оценки. При этом настроечным параметром будет количество кластеров, а оцениваться будет качество разбиения на кластеры при вычисленных значениях $d_{\max}$ и k .

Пример использования предложенного алгоритма применительно к данным на 7 октября 2011 г. приведен на рис. 3. Очаги представлены черными квадратами и обрамлены прямоугольниками кластеров.

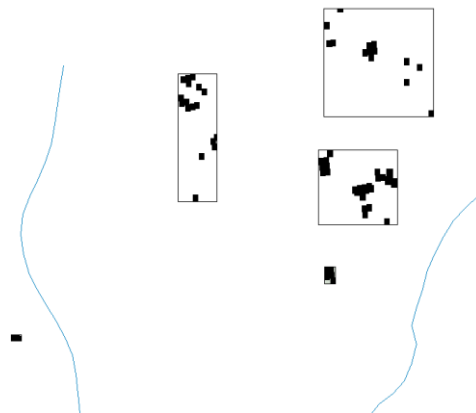


Рис. 3. Очаги пожара, выделенные при помощи алгоритма

Отдельные точки, выделенные алгоритмом в самостоятельные кластеры, являются точками с низкой температурой и интереса для моделирования не представляют.

Таким образом, предложенный алгоритм оказывается весьма надежным инструментом для автоматического выделения локальных областей территории с группами очагов лесных или торфяных пожаров для последующего численного моделирования переноса и рассеяния в атмосфере продуктов сгорания.

Автор признателен Р.Е. Ванкевичу за предоставление архива спутниковых наблюдений и А.С. Гаврилову за руководство работой.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по теме: «Проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований в области технологий мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы при лесных и торфяных пожарах» (контракт № 16.515.11.5029 от 12 мая 2011 г.).

Литература

1. Гаврилов А.С. Численная модель подъема тепловой струи от лесного пожара с учетом ее взаимодействия с внешним потоком // Уч. зап. РГГМУ, 2012, № 26, с. 130-142.
2. Rui Xu, Donald C. Wunsch, *Clustering*, IEEE Press, 2009.
3. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р. Алгоритмы: построение и анализ / Пер. с англ. / Под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
5. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
6. Dasgupta S., Papadimitriou C. H., Vazirani U. V. *Algorithms*, 2006.

ОКЕАНОЛОГИЯ

В.А. Царев, М.В. Шаратунова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИДОННЫХ ВОД
В ОБЛАСТИ ЗАПРИПАЙНОЙ ПОЛЫНИИ

V.A. Tsarev, M.V. Sharatunova

FEATURES OF BOTTOM WATER FORMATION
IN A FLAW POLYNYA

С помощью численного моделирования анализируются формирования придонной воды за счет интенсивного ледообразования в области заприпайной полыни. Исследование проводится на мелководной области моря Бофорта к западу от пролива в залив Амундсена. Используется трехмерная нестационарная гидростатическая модель. Начальное распределение солёности принимается однородным. Приток соли задается в виде однородно распределенного в по глубине источника. Показано, что с течением времени под влиянием экмановских процессов происходит расширение придонной линзы у дна. Под влиянием наклона дна формируется перемещение придонной воды преимущественно вдоль изобат. На участке расположения пролива происходит поворот траектории перемещения придонной воды в сторону залива Амундсена, что может явиться одним из источников образования придонных вод в заливе.

Работа выполнялась в рамках международного научного проекта «Изучение системы арктических полыней», руководитель проф. Барбер Д. (Канада).

Ключевые слова: заприпайная полыня, придонная вода, море Бофорта, залив Амундсена.

The formation of bottom water due to intensive ice formation in the flaw polynya is investigated by numerical simulation. Research is conducted for the shallow area of the Beaufort Sea to the west of the Strait of the Amundsen Gulf. Three-dimensional time-dependent hydrostatic model is used. The initial salinity distribution is taken uniform. The salt influx is specified as a homogeneously distributed in the depth source. It is shown that with time a bottom lens is enlarged at the bottom under the influence of Ekman processes. Under the influence of a bottom inclination the movement of the bottom water is formed primarily along the isobaths. On a site of the strait location trajectory of the bottom water is rotated in the Amundsen Gulf side, which may be one of the sources for the formation of bottom waters in the Gulf.

The work was performed under the international research project "Circumpolar flaw lead system study," head prof. D. Barber (Canada).

Key words: Flaw polynya, bottom water, the Beaufort Sea, the Amundsen Gulf.

В морях Арктического бассейна под влиянием ветра систематически возникают обширные области чистой воды между припаем и плавучим ледяным покровом [1, 2, 3, 4, 5], называемые заприпайными полынями. Их ширина мо-

жет достигать более ста километров, а протяженность – сотни километров. В зимний период в заприпайных полыньях из-за интенсивного ледообразования формируется значительный приток соли. На мелководных участках некоторых морей с относительно однородным вертикальным распределением плотности воды это приводит к формированию придонной воды повышенной солености. Попадая на наклонное дно, придонная вода под влиянием силы тяжести может перемещаться вдоль наклонного дна на значительное расстояние и опускаться на глубину, большую глубины ее образования. В данной работе указанный процесс рассматривается на примере мелководного участка моря Бофорта, расположенного к западу от пролива в залив Амундсена. В течение зимнего периода в выбранной области достаточно близко к береговой черте систематически образуются протяженные (более 100 км) и относительно узкие (около 10 км) полыньи. К моменту проявления конвективных процессов в полынье вертикальная плотностная стратификация в области полыньи становится однородной. Распределение глубины в этой области характеризуется ее плавным увеличением с расстоянием от берега, что прерывается вдающимся в берег глубоководным проливом в залив Амундсена, как видно на рис. 1.

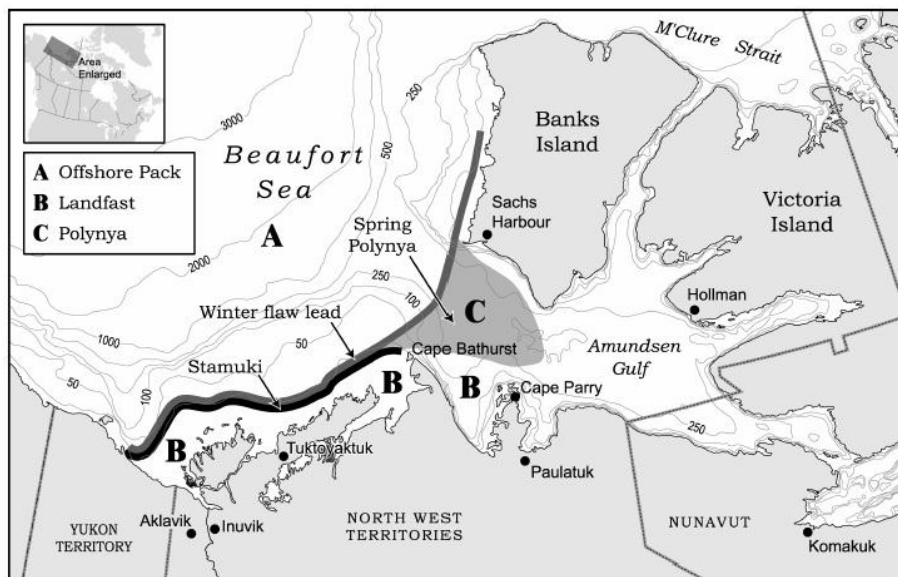


Рис. 1. Расположение расчетной области (показано точками) [6]

Процесс формирования придонной воды повышенной плотности и ее перемещение вдоль дна исследуется с помощью численной модели, включающей следующие уравнения.

Нестационарные трехмерные уравнения движения:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - fv - k_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - k_l \nabla_l^2 u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_0^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz',$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + fu - k_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - k_l \nabla_l^2 v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_0^z \frac{\partial \rho}{\partial y} dz'. \quad (2)$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Уравнение переноса соли:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) S = \frac{F_s}{H} + k_z \frac{\partial S}{\partial z} + k_l \nabla_l^2 S. \quad (4)$$

Уравнение состояния, в котором учитывается зависимость плотности воды лишь от ее солёности:

$$\rho = \rho_0 + \alpha_s S, \quad (5)$$

где u, v, w – составляющие скорости течений вдоль осей x, y, z , соответственно; f – параметр Кориолиса; ξ – возмущение уровня свободной поверхности; ρ, ρ_0 – плотность и стандартная плотность морской воды соответственно; g – ускорение силы тяжести; S – солёность; k_z, k_l – вертикальный и горизонтальный коэффициенты турбулентной диффузии и вязкости; α_s – коэффициент халинного сжатия; $\nabla_l^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$; F_s – интенсивность притока соли.

Процесс формирования придонных вод в области заприпайной полыньи исследовался на примере области расположения заприпайной полыньи в мелководной прибрежной зоне моря Бофота. В рассматриваемом районе, расположенном к западу от залива Амундсена, по направлению к морю, глубина возрастала в среднем от 20 до 80 м, что видно из рис. 2. У правой боковой границы глубина в том же направлении увеличивалась с 200 до 250 м, что связано с расположением здесь пролива в залив Амундсена.

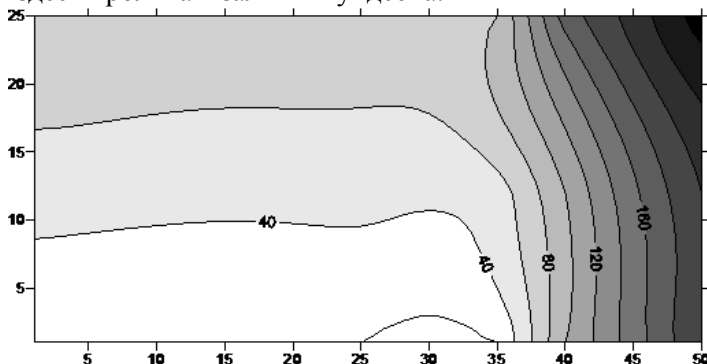


Рис. 2. Распределение глубины моря в области моделирования (м)

Расчетная область имела горизонтальные размеры 150×75 км. На поверхности области задавалось расположение полыньи размером 50×15 км, расположенной вдоль береговой боковой границы на расстоянии от нее в 20 км. Приток

соли F_s задавался равным величине, соответствующей потоку соли, выделяющемуся при нарастании ледяного покрова со скоростью 3 см с^{-1} . Для остальной части расчетной области приток соли считался равным нулю.

Граничные условия на свободной поверхности, $z = 0$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial s}{\partial z} = 0, \quad (7)$$

$$w = -\frac{\partial \xi}{\partial t}. \quad (8)$$

Граничные условия на дне, $z = H$

$$u = 0, \quad v = 0, \quad w = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial s}{\partial z} = 0. \quad (10)$$

Все боковые границы рассматривались как открытые. В этом случае горизонтальный поток соли, направленный по нормали к боковой границе, принимался равным нулю:

$$\frac{\partial s}{\partial n} = 0, \quad (11)$$

где n – нормаль к боковой границе.

В качестве начального условия задавалось однородное распределение солёности 33 ‰.

Для волновых возмущений уровня принималось условие свободного излучения:

$$Un = \xi \sqrt{\frac{g}{H}}, \quad (12)$$

где

$$U = i \frac{1}{H} \int_0^H u dz + j \frac{1}{H} \int_0^H v dz. \quad (13)$$

Для входящих в модель коэффициентов задавались следующие значения: $k_z = 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$, $k_l = 100 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$, $f = 14 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, $\alpha_s = 8 \cdot 10^{-4} \text{ кг м}^{-3} \text{ ‰}^{-1}$.

Возмущения уровня рассчитывались из уравнений движения и неразрывности, проинтегрированных по глубине, которые затем решались с помощью методов конечных разностей по явной схеме. Вертикальное распределение горизонтальных составляющих скорости течений рассчитывались из уравнений движения, которые также решались методами конечных разностей по явной схеме. Вертикальная составляющая скорости находилась из уравнения неразрывности. При решении исходные уравнения преобразовывались путем замены

вертикальной координаты z на $\sigma = \frac{z}{H}$. Использовалась смещенная сеточная область с квадратными ячейками со стороной 3 км. По вертикали шаг ячейки составил 0,025 от глубины.

По результатам расчетов под влиянием притока соли на начальном этапе под полыней формируется область повышенной солёности, в горизонтальной плоскости близко соответствующая форме полыни. Из-за однородного распределения по вертикали интенсивности притока соли формирующееся вертикальное распределение солёности вначале также однородно. Повышение солёности вызывает формирование отрицательного возмущения уровня над линзой, что вызывает образование поверхностных течений, имеющих циклонический характер и направленных по контуру полыни. С глубиной из-за роста влияния бароклинной составляющей горизонтального градиента давления происходит изменение направления течений на противоположное. В результате придонные течения имеют антициклонический характер (рис. 3).

Под влиянием придонного трения у дна формируется экмановский поток, направленный в сторону от центра линзы. Под влиянием придонных экмановских потоков отмечается растекание плотностной линзы у дна. В результате в области линзы образуется неоднородность в вертикальном распределении солёности, что видно на рис. 4.

Из-за наклона дна в формирующемся распределении поля солёности образуется соответствующий наклон изохалин, что приводит к формированию направленного вдоль наклона дна градиента солёности, что вызывает движение линзы вдоль изобат (рис. 4).

В результате придонная вода выходит за область полыни и движется преимущественно вдоль изобат (рис. 5).

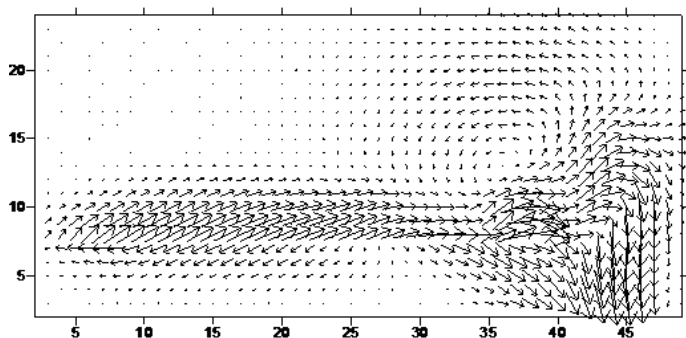


Рис. 3. Рассчитанная на 25-е сутки скорость придонных течений (максимальная скорость течений равна 10^{-1} мс^{-1})

При достижении у правого края расчетной области участка с резким увеличением глубины, соответствующего положению пролива в залив Амундсена, происходит отклонение направления движения на 90° вправо, в результате чего вода начинает перемещаться внутрь залива. Результаты моделирования позволяют предположить, что в течение зимнего периода на мелководье моря Бофорта в придонном слое образуется значительный объем вод повышенной солёности, часть которой переносится в залив Амундсена.

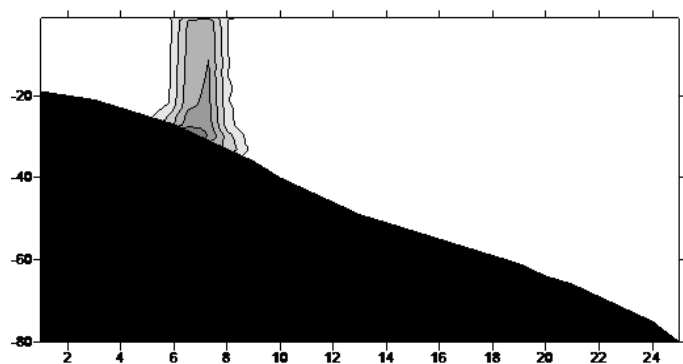


Рис. 4. Рассчитанная на 25-е сутки солёность на сечении АВ

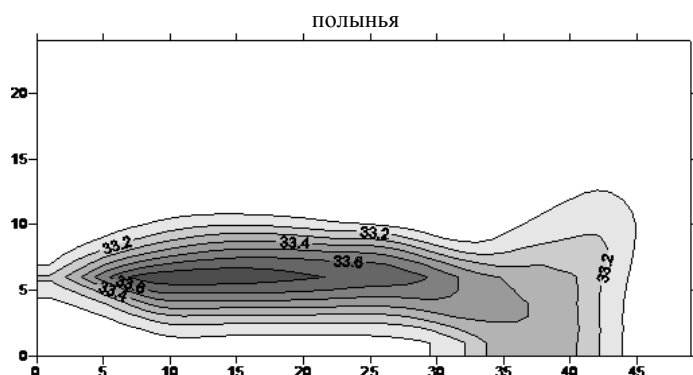


Рис. 5. Придонная солёность воды (‰), рассчитанная на 25-е сутки

Литература

- Попов А.В., Карелин И.Д., Рубченя А.В. Роль заприпайных полыней в формировании ледовых и гидрометеорологических условий в морях Сибирского шельфа в летний период // Метеорология и гидрология, 2007, № 9, с. 65-73.
- Головин Н.П. Термохалинная изменчивость и гравитационные течения конвективной природы в районе существования заприпайных полыней в море Лаптевых // Океанология, 2002, п. 43, № 2, с. 174-186.
- Каган Б.А., Романенков Д.А., Софьина Е.В. Модельная оценка приливного леодообмена между Центральной Арктикой и Сибирским континентальным шельфом // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 8, с. 110-113.
- Cavalieri D, Martin S. The contribution of Alaskan, Siberian and Canadian coastal polynyas to cold halocline layer of Arctic Ocean // J. Geophys. Res., 1994, Vol. 99, p. 18343-18362.
- Winsor P., Bjork G. Polynya activity in the Arctic Ocean from 1958 to 1997 // J. Geoph. Res., 2000, vol. 105, P. 8789-8803.
- Mundy, C.J. and Barber, D.G. On the relationship between spatial patterns of sea ice type and the mechanisms which create and maintain the North Water (NOW) polynya // Atmosphere-Oceans, 2001, vol. 39, P. 327-341.

Работа выполнялась в рамках международного научного проекта «Изучение системы арктических полыней», руководитель – проф. Барбер Д. (Канада).

В.Ю. Чанцев, А.В. Даньшина

**СУБ-МЕЗОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА ДИНАМИКИ
ПРИБРЕЖНЫХ ВОД В РАЙОНЕ ТУАПСЕ**

V.Yu. Chantsev, A.V. Danshina

**SUB-MEZOSCALE STRUCTURE OF COASTLE WATERS
DYNAMICS IN TUAPSE REGOIN**

На основании натурных наблюдений, проведенных в августе 2009 г., рассматривается структура динамики прибрежных вод в районе Туапсе. Выявлено существование субмезомасштабных неоднородностей в поле течений. Причем такие неоднородности обнаруживаются не только в горизонтальных структурах, но и в вертикальных.

Ключевые слова: динамика прибрежных вод, структура течения, динамические неоднородности.

The structure of the dynamics of coastal waters in the Tuapse region is considered on the basis of natural observations made in August 2009. The existence of sub-mesoscale irregularities in the currents field is identified. Moreover, such heterogeneity are found not only in horizontal structures, but also in the vertical.

Key words: dynamics of coastal waters, the currents structure, the dynamic heterogeneities.

Введение

Краснодарское причерноморье в последние годы играет все большую роль в развитии инфраструктур в прибрежной зоне Черного моря. От Новороссийска до Сочи идет интенсивное освоение береговой полосы как со стороны суши, так и со стороны моря. На побережье развиваются туристические комплексы, создаются новые и расширяются уже существующие транспортные предприятия по перевалке различных грузов морским путем и другие промышленные структуры, что влечет за собой увеличение антропогенного прессинга на прибрежные морские воды. Дополнительные нагрузки на прибрежные морские экосистемы оказывает и интенсификация использования прибрежных морских ресурсов. Немаловажную роль в увеличивающемся давлении на прибрежные воды оказывает и прокладка различных нефте- и газопроводов.

В этой связи возникают вопросы о роли самоочищения прибрежных вод под действием гидродинамических процессов. Возможно ли возникновение ситуаций, когда сформировавшееся движение прибрежных вод начинает препятствовать свободному водообмену прибрежной зоны с открытым морем. Могут ли гидродинамические неоднородности, формирующиеся в мелководной части морского шельфа и имеющие пространственно-временной масштаб меньше масштаба Россби, блокировать или, наоборот, прорывать блокаду прибрежных вод, вызванную интенсификацией струйного прибрежного черноморского течения.

Динамика вод над шельфом Черного моря, по данным проведенных исследований (см. [Зацепин А.Г. и др., 2002, Титов В.Б., 2002]), поддерживается процессами с масштабами, не превышающими масштаб Россби. Такие процессы вызываются крупномасштабной циркуляцией вод, ветровым воздействием и зависят от топографии континентального склона. В Черном море прибрежное вихреобразование связано с меандрированием Основного черноморского течения (ОЧТ). Мезомасштабные вихри в виде антициклонических круговоротов на периферии ОЧТ известны давно [Блинков В.А. и др., 2002]. В последние годы с использованием специальных дистанционных и контактных методов на периферии таких вихрей с пространственными размерами порядка 50–100 км обнаруживается развитие вихрей меньших масштабов [Гинзбург А.И. и др., 2008, Митягина М.И. и др., 2008, 2009]. Основным механизмом формирования малых вихрей по мнению отдельных исследователей [Каменкович В.М. и др., 1987, Монин А.С. и др., 1979] является гидродинамическая неустойчивость среднего состояния вод. Обычно в качестве благоприятных для развития динамической неустойчивости параметров выделяют пространственную неоднородность течений, плотностную стратификацию, наклон дна, рельеф берега и многое другое. Чаще всего наблюдается совокупная роль всех этих характеристик при формировании вихревых структур, но иногда удается выделить доминирующие факторы.

Для выявления механизмов формирования динамических неоднородностей малого масштаба необходимо сначала детализировать основные характеристики вихревых структур. В первую очередь, целесообразно определить пространственные масштабы наблюдаемых неоднородностей и продолжительность их жизни, что вызвано интересами экологического контроля вод прибрежной мелководной зоны Краснодарского причерноморья.

Материалы наблюдений и результаты исследования

В качестве исходных материалов для исследования использовались данные наблюдений за течениями в прибрежной зоне Черного моря возле Туапсе в августе 2009 г.

В состав натурных наблюдений вошли данные вертикального распределения составляющих скорости течения, полученных с помощью доплеровского профилографа течений ADCP. Наблюдения проводились на сети станций, расположенных на семи равноудаленных разрезах, направленных по нормали к берегу до границы, по которой проходила 100 м изогипса. На каждом разрезе располагалось по 8 станций. Общие размеры полигона составили 12×10 км. Размеры полигона, частота расположения станций и наличие скоростного маломерного судна позволили проводить полный объем наблюдений в течение светлой части суток (10–12 ч). Для оценки временной изменчивости общего характера движения прибрежных вод в районе исследования устанавливались два измерителя течения марки «Вектор-2». Приборы размещались на притопленных буйковых станциях на глубине 10 м от поверхности в центральной части поли-

гона и на его границе. В результате экспедиционных исследований были получены последовательные данные для нескольких дней.

Накопленная информация позволила описать структуру и локальные особенности динамики вод шельфа в районе Туапсе [Карлин Л.Н. и др., 2010]. Важным элементом описания динамической структуры вод является оценка пространственной и временной изменчивости. В первую очередь возникает необходимость оценки временной изменчивости динамических процессов в прибрежной зоне моря. Опираясь на такую оценку, можно получить информацию, необходимую для проведения осреднения данных наблюдения по времени.

Как было отмечено выше, период суточных наблюдений за течениями на прибрежном полигоне не превосходил 10–12 ч. При анализе результатов наблюдений нужно хорошо понимать насколько правдоподобной будет динамическая картина, которую мы представляем как мгновенное наблюдение. Для обеспечения наиболее реального представления о динамической структуре прибрежных вод время выполнения наблюдений на одной станции вместе с межстанционным переходом не превышал 15 мин. Этому способствовало использование скоростного судна. В результате появилась возможность оценить степень достоверности проводимых оценок.

Наблюдения за скоростью и направлением течения с помощью «Вектор-2» проводились в фиксированной точке полигона на глубине, где течения, как и на морской поверхности, обладали максимальной изменчивостью. Интервал времени, с которым проводилось приборное осреднение параметров течения, составлял 30 с. Такая частота фиксирования данных позволяет рассмотреть влияние периода осреднения на характер фиксируемой изменчивости параметров течения.

Для оценки временной изменчивости параметров течения рассмотрим повторяемость степени изменчивости скорости (ΔV) и направления ($\Delta \theta$) течения для различных временных сдвигов (Δt) при 2- и 10-минутном осреднении исходных данных. Изменчивость направления течения бралась с 10° интервалом, а изменчивость скорости рассматривалась как: < 2 см/с, > 2 см/с, > 5 см/с, > 10 см/с, > 15 см/с и > 20 см/с. Необходимо отметить, что скорость течения по данным «Вектор-2» достигала 50 см/с, и это хорошо согласовывалось с данными доплеровского профилографа течений.

Характер повторяемости изменчивости скорости и направления течения при 2-минутном осреднении данных представлен на рис. 1. Причем, все изменения лежат в близкой от нуля области. Так, изменения скорости на периодах до 4 ч не превышают 10 см/с, а изменения направления не превосходят 30° . Наибольшая повторяемость изменчивости течения наблюдается для $\Delta V < 2$ см/с (рис. 1, а). Снижение повторяемости имеет плавный ход при временных сдвигах Δt , лежащих в диапазоне от 2 до 300 мин. При этом изменчивость направления течения $\Delta \theta$ не превышает 20° .

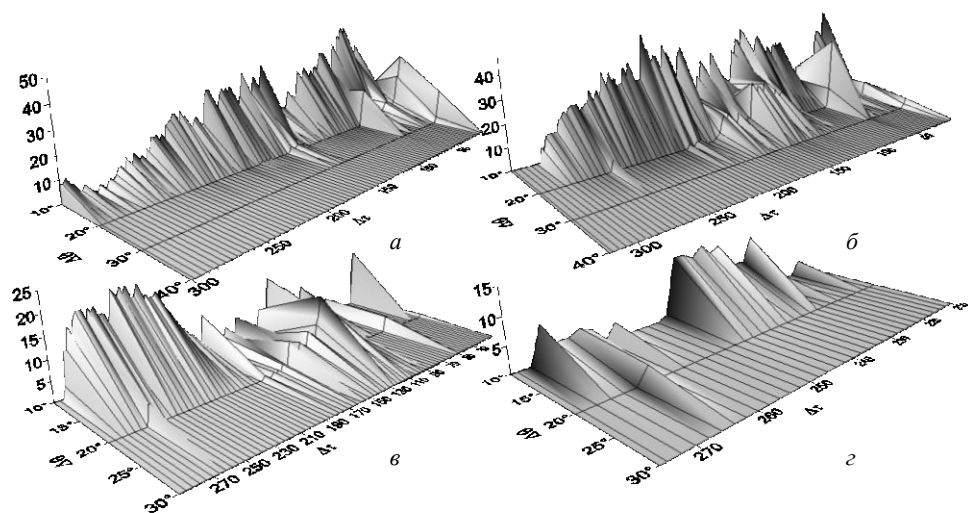


Рис. 1. Повторяемость распределения изменчивости течения при $\Delta V < 2$ см/с (а), $\Delta V > 2$ см/с (б), $\Delta V > 5$ см/с (в) и $\Delta V > 10$ см/с (з) для 2-минутного осреднения данных

Локальная длиннопериодная изменчивость характера течения ($3 \text{ ч} < \Delta t < 5 \text{ ч}$) проявляется только для $\Delta V > 5$ см/с, и изменчивость направления течения не превосходит 20° . На этих частотах повторяемость изменений течения не превышает 50 % от изменчивости для $\Delta V < 2$ см/с (рис. 1, в). На частотах $1\text{--}1,5 \cdot 10^{-4}$ Гц изменчивость течения прослеживается для $\Delta\theta \leq 30^\circ$, и повторяемость не превышает 10. Изменчивость скорости $\Delta V > 10$ см/с имеет небольшую повторяемость, не превосходящую 10 и не выходящую за $\Delta\theta = 20^\circ$ на частотах $1\text{--}1,5 \cdot 10^{-4}$ Гц (рис. 1, з).

Из рис. 1 видно, что течение на рассмотренных периодах Δt практически имеет слабую изменчивость по направлению, и основная изменчивость по скорости наблюдается только в интервале от 0 до 2 см/с. Эта изменчивость при 10-часовой работе на полигоне характерна для пространственных масштабов, не превышающих 100 м.

Изменчивость параметров течения при 10-минутном осреднении исходных данных представлена на рис. 2.

Такое осреднение данных наблюдений в совокупности со скоростью проведения наблюдений позволяет говорить о возможности получения практически одновременного отображения динамической структуры прибрежных вод в районе Туапсе. Повторяемость изменений параметров течения не превышает 10, да и только при $\Delta V < 2$ см/с (рис. 2, а). Изменчивость $\Delta V > 5$ см/с прослеживается только на частотах $5,5\text{--}9,0 \cdot 10^{-5}$ Гц (рис. 2, в), и повторяемость этой изменчивости можно считать незначительной. При таком осреднении исходных данных изменчивость $\Delta V > 10$ см/с полностью отсутствует.

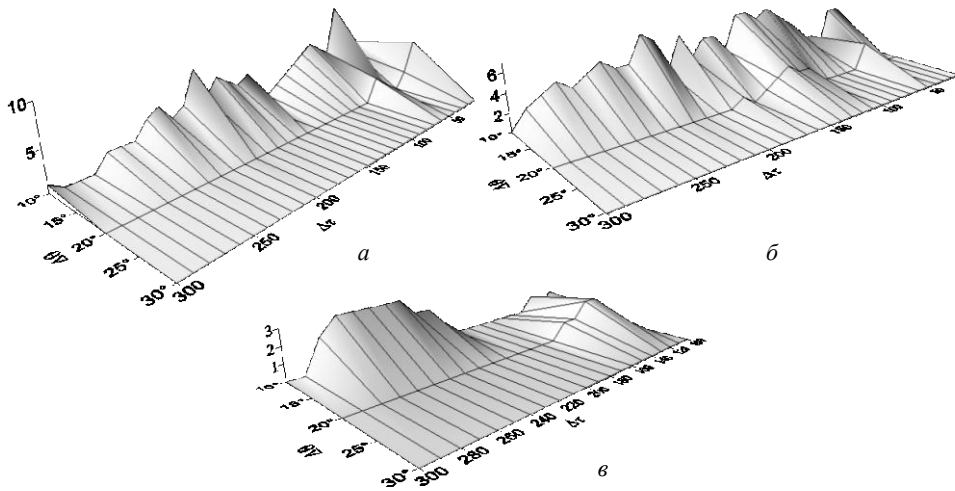


Рис. 2. Повторяемость распределения изменчивости течения при $\Delta V < 2$ см/с (а), $\Delta V > 2$ см/с (б) и $\Delta V > 5$ см/с (в) для 10-минутного осреднения данных

Проведенный анализ позволяет говорить о том, что 10-минутное осреднение данных наблюдений профилей скорости течения дает возможность оценивать пространственные масштабы динамических неоднородностей, возникающих в поле течения, и говорить о времени существования этих образований.

Построенные поля течений, основанные на данных наблюдений, проведенных с помощью доплеровского профилографа скорости, позволяют судить о характере динамической структуры вод прибрежной зоны Туапсе и оценить пространственно-временные масштабы формирующихся неоднородностей. Характер и масштабы динамических неоднородностей в поле течения практически не изменяются на протяжении всего периода наблюдений. Поэтому для анализа динамических образований представляются данные наблюдений, полученные 14.08.2009 при выполнении половины исследуемой площади прибрежной зоны. Эти наблюдения проводились в течение 4 ч, что позволяет рассматривать данные с 10-минутным осреднением как полученные на один момент времени.

Вдольбереговой разрез № 1 со средней глубиной 40 м удален от берега на 4 км (рис. 3, а). Вдольбереговая компонента скорости (u) до глубины 25 м направлена на северо-запад, увеличивая интенсивность к поверхности до 30 см/с. При этом в районе ст. 12м09 на глубине 15 м и ст. 3м09 на глубине 20 м прослеживаются аномалии скорости до 40 см/с. Вертикальные размеры этих аномалий составляют 5 м, а их горизонтальная протяженность варьирует от 1 до 2 км. В слое от 25 до 38 м наблюдается слабое обратное вдольбереговое движение со скоростью до 12 см/с. А в придонном слое движение опять имеет северо-западное направление.

На разрезе № 2, удаленном от берега на 7 км (рис. 3, б), в верхнем 20 м слое характер движения повторяется, как и на разрезе № 1. В слое от 25–30 м до 60 м

наблюдается обратный знак составляющей u . Причем в этом промежуточном слое в районе ст. 22м09 прослеживается ядро обратного вдольберегового движения, а на северной окраине разреза составляющая u имеет положительный знак, как и во всем придонном слое. Вертикальное разделение составляющей u по знаку в пределах данного разреза свидетельствует о присутствии завихренности с вертикальным расположением оси.

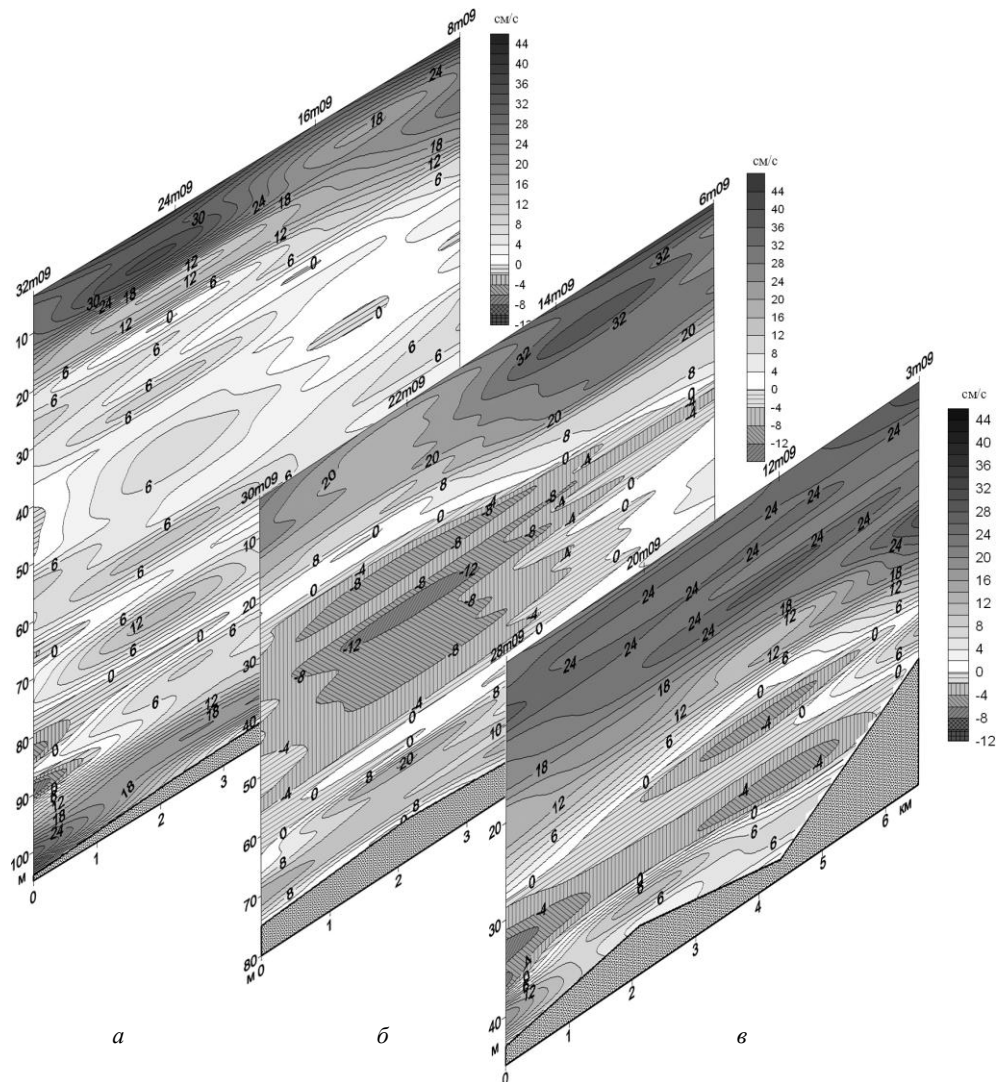


Рис. 3. Распределение компоненты течения u на вдольбереговых разрезах: № 1 (а), № 2 (б) и № 3 (в)

При удалении от берега на расстояние 10 км (разрез № 3) по всей глубине прослеживается только положительный знак вдольбереговой составляющей те-

чения (u), свидетельствующий о наличии внешней границы вихревого образования с горизонтальным масштабом менее 10 км (рис. 3, в).

Отмеченная неоднородность в структуре течений наиболее явно выявляется в распределении ортогональной составляющей течения (v). Из рис. 4, а видно, что глубже 20 м практически на всем разрезе № 1 движение воды направлено в сторону берега, и центром такого движения является ст. 12м09, где движение к берегу прослеживается и до поверхности моря.

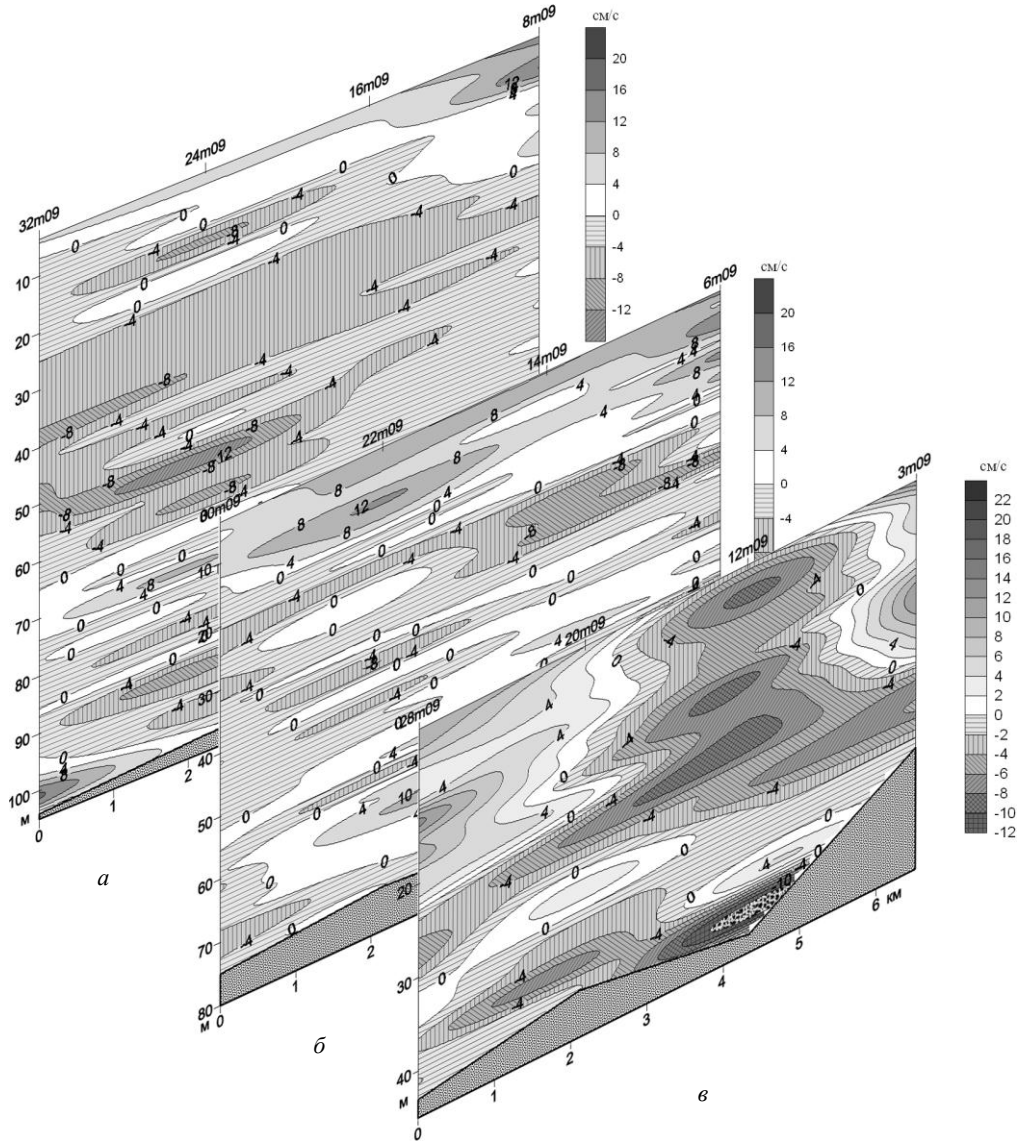


Рис. 4. Распределение компоненты течения v на вдольбереговых разрезях: № 1 (а), № 2 (б) и № 3 (в)

Именно в районе этой станции наблюдается интенсификация v -компоненты течения до 10 см/с, а у дна – до 15 см/с. В поверхностном слое до глубины 20 м в районах ст. 28m09 и ст. 3m09 компонента v имеет обратный знак и достигает величины 20–25 см/с. При удалении от берега, в пределах 10 км прибрежной зоны, характер движения вод свидетельствует о преимуществе движения в сторону берега. Только в тонком поверхностном слое, который на внешней границе исследуемой области уменьшается до 3–5 м, компонента v имеет положительный знак. На общем фоне движения вод в ту или иную сторону формируются более мелкие динамические неоднородности с горизонтальными масштабами 2–4 км и вертикальным развитием не более 20 м.

Вертикальные масштабы динамических образований в водах прибрежной зоны Туапсе оценивались с помощью расчета повторяемостей вертикального сдвига скорости течения (ΔV) для слоев различной толщины (Δz). Расчет повторяемостей $P(\Delta V, \Delta z)$ проводился интегрально для всех станций полигона и всех дней проведения исследований по формуле

$$P(\Delta V, \Delta z) = \frac{\Delta z}{MN(H - z_0)} \sum_{i=1}^M \sum_{\Delta z=1}^N \sum_{z_0}^{H-\Delta z} \delta_i(\Delta V_i, \Delta z) 100\%, \quad (1)$$

где M – количество интервалов ΔV_i ; N – количество интервалов Δz ; H – глубина места; z_0 – начальная глубина определения составляющих скорости течения. Величина $\delta_i(\Delta V_i, \Delta z)$ определялась с помощью выражения

$$\delta_i(\Delta V_i, \Delta z) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta V_i < |v(z + \Delta z) - v(z)| \leq \Delta V_{i+1} \\ 0, & \text{если } \Delta V_i \geq |v(z + \Delta z) - v(z)| > \Delta V_{i+1} \end{cases}. \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет оценить только степень изменчивости составляющих течения по вертикали. В то же время оно не дает информации о присутствии завихренностей. Для выявления наличия вихревых структур различного масштаба необходимо определить меняется ли знак в вертикальном сдвиге компонент скорости течения. Для этого величина $\delta_i(\Delta V_i, \Delta z)$ должна зависеть не только от величины сдвига скорости ΔV , но и от смены знака соответствующей составляющей скорости течения. В этом случае $\delta_i(\Delta V_i, \Delta z)$ должна определяться по формуле

$$\delta_i(\Delta V_i, \Delta z) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta V_i < |v(z + \Delta z) - v(z)| \leq \Delta V_{i+1} \text{ и} \\ & \text{sign}(v(z + \Delta z)) \neq \text{sign}(v(z)) \\ 0, & \text{если } \text{sign}(v(z + \Delta z)) = \text{sign}(v(z)) \end{cases} \quad (3)$$

Результаты расчета повторяемостей $P(\Delta V, \Delta z)$ для составляющих скорости течения u и v представлены на рис. 5. Распределение $P(\Delta V, \Delta z)$ демонстрирует практически одинаковую изменчивость вертикального сдвига скорости течения как для компоненты u , так и для компоненты v . Наиболее часто повторяющийся сдвиг скорости наблюдается в диапазоне от 5 до 20 см/с (рис. 5, а, в). Такой

сдвиг прослеживается в слоях толщиной от 1 до 10 м, не меняя своей повторяемости. Если говорить о вертикальных масштабах вихревых неоднородностей, формируемых в поле течений, то большинство динамических образований имеют вертикальное развитие в пределах до 4 м, хотя часть вихрей имеют развитие и до 10 м (рис. 5, б, з). Пока трудно судить о времени их жизни, но интенсивность движения в этих неоднородностях характеризуется существенным перепадом скорости, лежащим в диапазоне от 5 до 30 см/с. Наибольший перепад скорости прослеживается исключительно для вихрей малого вертикального развития. При увеличении вертикального масштаба таких динамических образований перепад скорости располагается в диапазоне от 5 до 20 см/с (рис. 5, б).

Пространственная неоднородность в поле течений прибрежной зоны в районе Туапсе обнаруживается и в распределении касательных и нормальных составляющих скорости течения на разрезах, расположенных по нормали к береговой линии (рис. 6). На таких разрезах более наглядно проявляется вертикальная дифференциация динамических неоднородностей при удалении от берега.

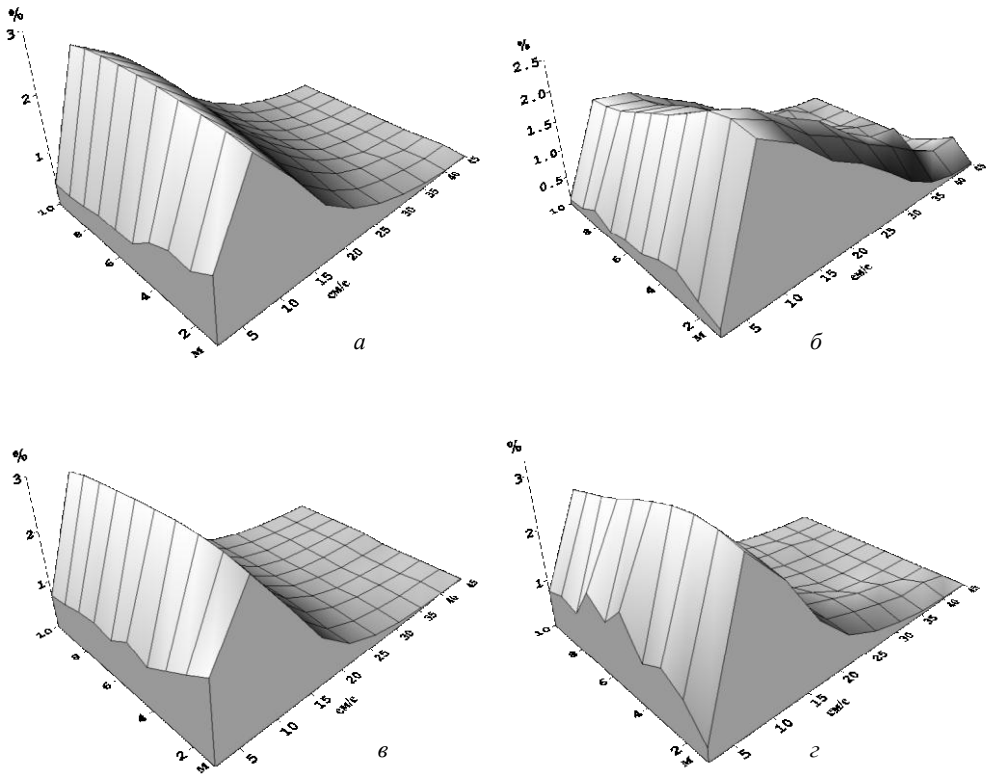


Рис. 5. Распределение повторяемостей $P(\Delta V, \Delta z)$ для компоненты течения u без учета знака (а) и с учетом знака (б), и для компоненты течения v без учета знака (в) и с учетом знака (з)

В распределении компоненты скорости течения u на нормальных к берегу разрезах наблюдается хорошо выраженная фоновая расслоенность. Верхние два слоя 0–20 м и 20–50 м характеризуются противоположной направленностью движения водных масс. На севере рассматриваемой области максимальные скорости проявляются на глубинах 10 и 35 м на удалении 7 км от берега. При смещении на юг на расстояние 4 км ядра максимальной скорости смещаются в сторону берега на 5 км, как в верхнем 20-метровом слое, так и в слое от 20 до 50 м, сохраняя свою интенсивность.

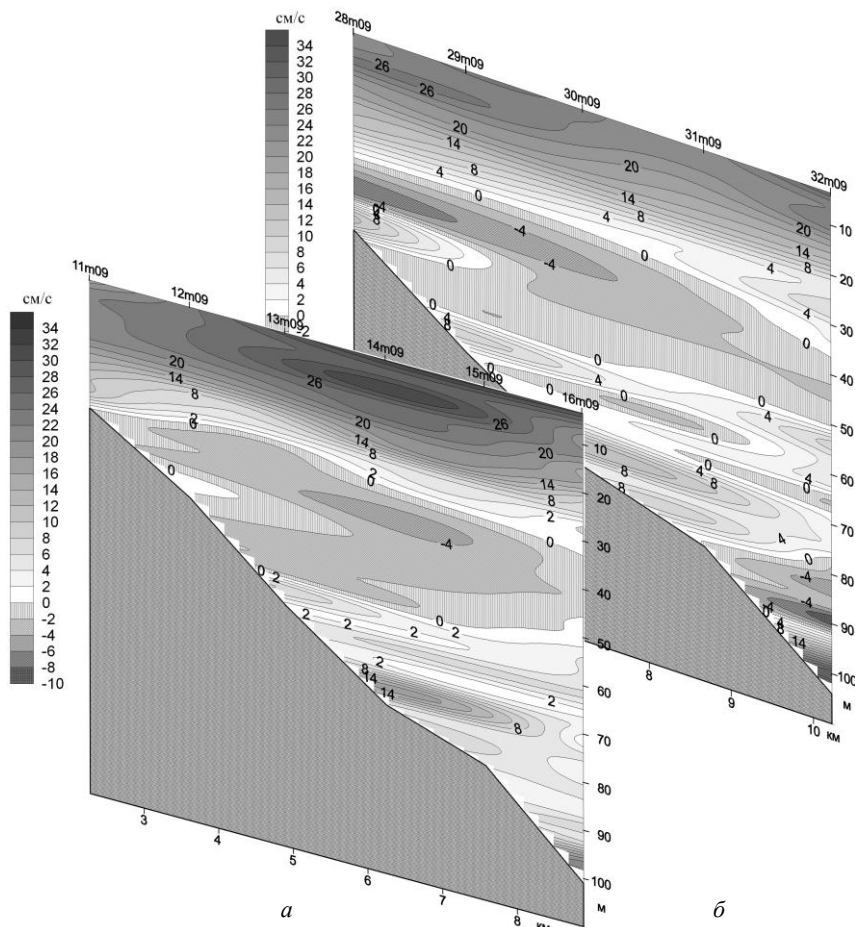


Рис. 6. Распределение компоненты течения u на нормальных к береговой линии разрезах: № 1 (а) и № 2 (б)

В придонном 50-метровом слое прослеживается более частая вертикальная перемежаемость знака вдольбереговой составляющей скорости течения. Горизонтальная протяженность выявленных динамических неоднородностей в слое от 50 до 100 м несколько меньше, чем в верхних слоях, и не превышает 2 км.

Выводы

Полученная информация о распределении течений позволила описать структуру и локальные особенности динамики вод шельфа в районе Туапсе. Для описания динамической структуры вод проведена оценка пространственной и временной изменчивости прибрежных течений. Выполнен анализ временной изменчивости динамических процессов в прибрежной зоне моря. На основе полученной оценки проведено осреднение данных наблюдения по времени. Осреднение вертикальных профилей скорости течения с 10-минутным периодом позволило рассматривать пространственное распределение течений, полученное в течение 4-5 ч наблюдений как одномоментное поле динамической структуры одного из районов прибрежной зоны вблизи Туапсе.

В поле прибрежных течений была выявлена пространственная неоднородность. По глубине прибрежные воды четко разделялись по характеру и направлению движения водных масс на три слоя. Верхний 20-метровый слой и слой от 20 до 50 м характеризовались противоположной направленностью фоновое движения, а придонный 50-метровый слой обладал более мелкой дифференциацией.

Оценки повторяемости вертикального сдвига скорости течения в рассматриваемой области показали, что основные вертикальные масштабы динамических неоднородностей лежат в пределах 10 м. Причем наибольший сдвиг скорости прослеживался в вихревых образованиях с вертикальной протяженностью менее 5 м.

Выявленная структура динамических неоднородностей свидетельствует о том, что в данном районе прибрежной зоны формируются вихри разного знака с горизонтальной протяженностью 2–4 км и вертикальным развитием до 20 м.

Литература

1. Блинков В.А., Дулов В.А., Станичный С.В. Грибовидные течения под свалом глубин северо-западной части Черного моря: дистанционные и контактные измерения / Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2002, с. 406-412.
2. Гинзбург А.И., Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б. Мезомасштабная динамика вод Черного моря / В кн.: Океанология на старте XXI века. – М.: Наука, 2008, с. 11-42.
3. Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А. Вихревые структуры и горизонтальный обмен в Черном море. Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. – М.: Наука, 2002, с. 55-81.
4. Каменкович В.М., Кошляков М.И., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 509 с.
5. Карлин Л.Н., Чанцев В.Ю., Хаймина О.В., Даньшина А.В., Исаев А.В. Особенности динамической структуры вод прибрежной зоны Туапсе // Уч. зап., 2010, № 11, с. 23-31.
6. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Вихревые структуры и волновые процессы в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря, выявленные в ходе спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008, вып. 5, т. 2, с. 155-164.
7. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Спутниковые наблюдения вихревых и волновых процессов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Исследования Земли из космоса, 2009, № 5, с. 72-79.
8. Монин А.С., Кошляков М.И. Синоптические вихри и волны Россби в океане // Нелинейные волны. – М.: Наука, 1979, с. 258-291.
9. Титов В.Б. Характеристики Основного черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в Российском секторе Черного моря // Океанология, 2002, т. 42, № 5, с. 668-676.

Работа выполнена по госзаданию вузам (Рег. № НИР 5.924.2011).

В.А. Белязо, А.А. Дмитриев

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ
ЮЖНОГО ОКЕАНА И ФАКТОРЫ, ИХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ**

V.A. Belyazo A.A. Dmitriev

**THE CYCLICAL FLUCTUATIONS OF THE SOUTHERN OCEAN
SEA ICE EXTENT AND FACTORS, WHICH DETERMINE THEM**

В работе рассматривается изменчивость ледового режима различных районов Южного океана, обусловленная миграцией центров действия атмосферы под влиянием гравитационной ритмики планет Солнечной системы.

Ключевые слова: ледовитость, центры действия атмосферы, ритмика планет.

The variability of ice regime of various regions of the Southern Ocean determined by migration of the centers of the atmosphere action under the influence of gravitational rhythmicity of the planets of the solar system is considered in the work.

Key words: sea ice extent, centers of atmosphere action, rhythmicity of the planets.

В последние годы, с увеличением рядов гидрометеорологических наблюдений в Антарктическом регионе, появляется все больше работ, посвященных анализу изменчивости ледовитости морей Южного океана.

Изучение трендов ледовитости Южного океана свидетельствует о том, что в сезон наибольшего распространения ледяного покрова не наблюдается уменьшения площади распространения льдов. Скорее наоборот, есть небольшая тенденция к увеличению их площади. В летний период в тихоокеанском секторе и в целом по Южному океану скорее наблюдается тенденция к уменьшению площади льдов. Отступление кромки льда в районе морей Беллинсгаузена и Амундсена компенсировалось распространением кромки льда к северу в море Уэдделла и в западном секторе моря Росса [6].

В работе [5] было показано, что связь межгодовой изменчивости ледовитости в отдельных районах и сезонах Южного океана неоднозначна. Так, наиболее отчетливо ледовитость всего океана соответствует ледовитости морей Содружества и Росса, а наиболее слабо она проявляется с ледовыми условиями района, прилегающего к Земле Уилкса. В ходе изменчивости ледовитости выявляются периоды 3–4 года, 6–7 лет и около 10–12 лет.

Нами [1, 2, 3] было установлено, что как длительные тренды, так и короткопериодические колебания гидрометеорологических характеристик Южного полушария обусловлены миграцией основных центров действия атмосферы под влиянием внешних факторов, в частности гравитационным влиянием планет Солнечной системы.

Произведя анализ характера связи природных процессов с относительно короткими циклами планеты Юпитер, нами было рассмотрено влияние и более длительных циклов. Так, по данным, рассчитанным по долготным интервалам планеты Уран (период обращения 84 года), индекс Южного колебания имеет

также два максимума, приходящихся на годы нахождения планеты в точках весеннего и осеннего равноденствия ($\lambda = 0^\circ$ и 180°) и два периода пониженных значений индекса в периоды, близкие к долготам летнего и зимнего солнцестояния. Продолжительность этих периодов равна длине полуцикла орбиты 42 года [3].

При низких значениях Южного колебания, когда в Тихом океане наблюдается Эль-Ниньо, в полярных регионах, как правило, наблюдается повышенный фон атмосферного давления, отрицательный индекс зональности и пониженная ледовитость. При высоких же значениях Южного колебания, когда в Тихом океане наблюдаются процессы Ла-Нинья, в полярных регионах преобладает пониженный фон давления, положительный индекс зональности и повышенная ледовитость.

Продолжая исследование изменчивости погодного режима циркумполярной зоны Южного полушария, было сосредоточено внимание на рассмотрении колебаний температурного и ледового режимов, обусловленного более короткопериодными планетными циклами, в частности 12-летним циклом обращения Юпитера, а также циклом парных соединений Уран–Юпитер (14 лет).

Для этой цели нами были использованы данные по температурному режиму по российским антарктическим станциям и данные по ледовитости за период 1978–2009 гг. Национального центра данных по снегу и льду США (<http://iup.physik.uni-bremen.de:8084/amsr/amsre.html>).

Группы лет, приходящиеся на последовательные интервалы долгот Юпитера в 12-летнем цикле, представлены в табл. 1.

Первоначально были рассмотрены средние годовые значения ледовитости в целом по всей Антарктике в сопоставлении с индексом Южного колебания. Из рис. 1, на котором помещены эти данные, очевидно, что в 12-летнем цикле обращения выявляется двойная волна максимумов и минимумов ледовитости (по 6 лет), причем минимумы близки к годам прохождения планетой долгот весеннего (0°) и осеннего (150° – 180°) равноденствия. В эти годы отмечаются максимальные значения индекса SOI, характеризующиеся как явлением Ла-Нинья, так и повышенным фоном давления в южной части Тихого океана.

Таблица 1

Группы лет по однородным долготам орбиты Юпитера (в градусах)

Гелиодолготы Юпитера											
0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022

Как ранее было показано [2], в эти годы южно-тихоокеанский циклон смещается в более высокие широты, что обуславливает в прибрежных районах более высокий фон температуры и уменьшение ледовитости.

Максимальные же значения общей ледовитости отмечаются в годы нахождения Юпитера выше ($30-60^\circ$) или ниже плоскости небесного экватора ($210-240^\circ$).

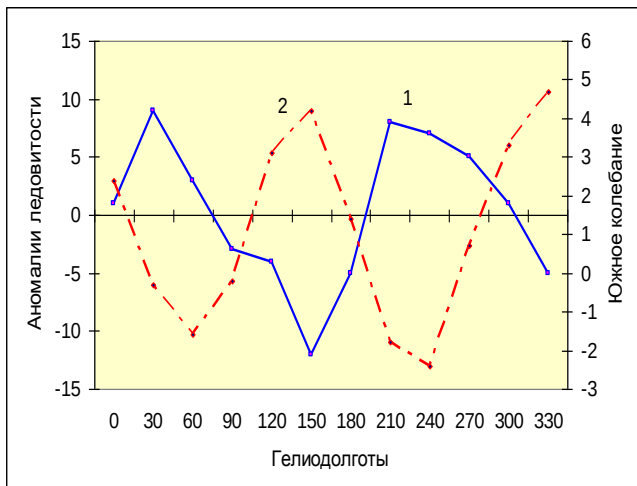


Рис. 1. Средние аномалии годовых значений ледовитости морей Антарктиды (1) и индекса Южного колебания (2) по годам долгот Юпитера

Таким образом, общая среднегодовая ледовитость Южного океана имеет обратный характер связи с индексом Южного колебания и, как было показано в работе [2], с отклонением координаты Хп полюса Земли.

Однако здесь следует заметить, что такой характер связи ледовитости с Южным колебанием отмечается не для всех морских акваторий Южного океана. Наиболее ярко и для всех сезонов такой характер связи отмечается для районов моря Росса (рис. 2), где видно, что в годы малой ледовитости давление в Южно-Тихоокеанском центре (ЮТЦ) растет (февраль).

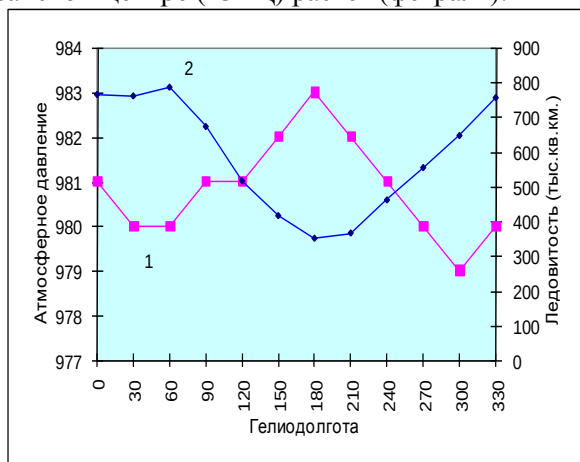


Рис. 2. Средняя величина атмосферного давления Южно-Тихоокеанского циклона (1) и ледовитость моря Росса в феврале для группы лет по интервалам долгот Юпитера (2)

В отличие от общей ледовитости Южного океана для района моря Росса (февраль) отмечается 12-летняя волна максимальных значений ледовитости в годы прохождения Юпитером долгот, близких к периодам весеннего равноденствия (0°), а минимальные – к долготам осеннего равноденствия ($180-210^\circ$).

В летний период (декабрь–февраль) индекс Южного колебания также выявляет 12-летнюю волну (сглаженные значения) с максимумами (рис. 3) в годы пересечения орбитой Юпитера плоскости небесного экватора на долготах близких к весеннему равноденствию (0°), а минимальные значения SOI отмечаются в годы близкие к прохождению долгот осеннего равноденствия ($180-210^\circ$).

Давление в центре южно-тихоокеанского циклона растет по мере смещения его в сторону экватора и понижается при его смещении в более высокие широты. Индекс Южного колебания имеет большие значения при смещении ЮТЦ к полюсу по широте и наоборот.

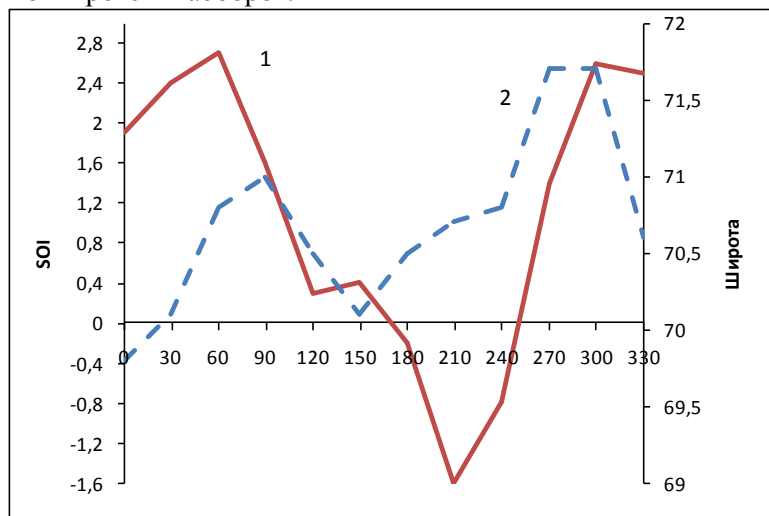


Рис. 3. Изменение индекса SOI (1) и широты южно-тихоокеанского минимума (2) по группам лет однородных интервалов долгот Юпитера

Таким образом, в море Росса в 12-летнем цикле ледовитость летом (декабрь–февраль) больше в период роста значений индекса SOI (Ла-Нинья) и меньше в период низких значений SOI (Эль-Ниньо).

В то же время с ростом давления в центре южно-атлантического циклона (ЮАЦ) в годы прохождения планетой долготы осеннего равноденствия (180°) ледовитость в море Беллинсгаузена увеличивается (рис. 4).

Такое различие объясняется тем, что в эти годы активизируется атмосферная циркуляция Mb формы. При ней блокирующий гребень в южной части Тихого океана обуславливает вынос теплых масс в прибрежные районы моря Росса, а в море Беллинсгаузена в тыловой части гребня происходит заток более холодного воздуха с континента.

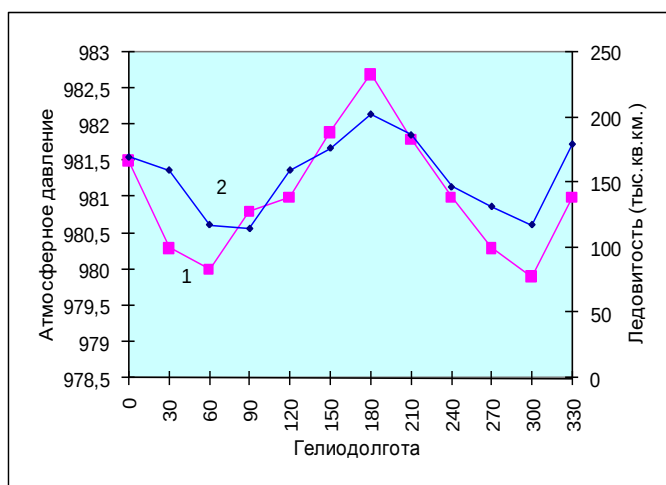


Рис. 4. Средняя величина атмосферного давления ЮАЦ и ледовитость моря Беллингаузена в феврале для группы лет по интервалам долгот Юпитера

Температура воздуха в этом районе в феврале этих лет ниже нормы, что обуславливает также в эти годы ранние сроки образования ледяного покрова, большую продолжительность ледового периода, большие толщины льда.

В качестве подтверждения высказанных соображений нами специально были исследованы ледовые условия в бухте Ардли в Антарктиде (у ст. Беллингаузен) за период с 1968 по 2009 г. и аномалий температуры воздуха на близлежащей антарктической ст. Фарадей. Все эти материалы были взяты из составляемых РАЭ ААНИИ ежегодников.

Характер изменчивости этих данных с одновременным сопоставлением с атмосферными характеристиками были рассмотрены по 12-летнему циклу Юпитера.

Из рис. 5 следует, что раннее замерзание бухты Ардли и соответственно продолжительность ледового периода (апрель–сентябрь), как отмечалось ранее, происходят в годы преобладания зональных форм циркуляции по 12-летнему периоду Юпитера.

Эти годы приходятся на моменты прохождения планетой гелиодолгот 150–240°.

Кроме того, изменения сроков замерзания бухты Ардли хорошо согласуются с ходом аномалий температуры воздуха с ближайшей станцией Фарадей. Это дополнительно подтверждает, что преобладание зональной циркуляции формирует более холодный температурный фон в данном регионе Южной Атлантики.

К сожалению, ограниченность рядов наблюдений ледовитости по Южному океану не позволяет получить достоверные данные по циклам парных соединений, которые, как было показано в работе [3], выявляют определенную временную характеристику экстремальных аномалий циркуляции и ледовитости в годы соединения и противостояний, а также углового момента (+/–90°).

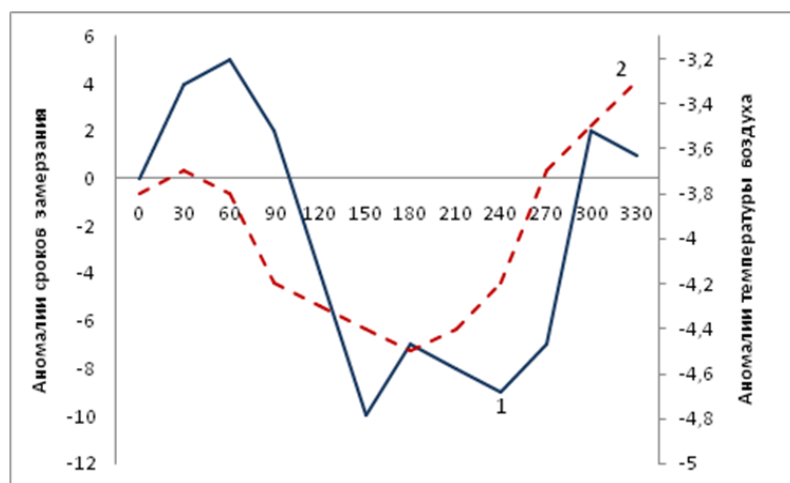


Рис. 5. Сглаженные (по трехлетиям) аномалии сроков образования ледяного покрова в бухте Ардли (1) и аномалии температуры воздуха на ст. Фарадей (2) для лет, приходящихся на последовательность гелиодолгот Юпитера

Однако по данным табл. 2 были подсчитаны средние значения ледовитости морей Беллинсгаузена и Росса, а также индекса SOI по 14-летнему периоду соединений Урана и Юпитера.

Таблица 2

Группы лет, приходящиеся на последовательные разности долгот Уран–Юпитер (в градусах)

Разности долгот													
0	25	50	75	100	125	150	-175	-150	-125	-100	-75	-50	-25
1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010

Полученные характеристики (рис. 6) указывают, что минимальные значения ледовитости моря Беллинсгаузена, также как и средние значения индекса SOI, приходятся на годы соединения и противостояния (0° и 180°), а максимальные их значения приходятся на годы их углового момента $\pm 90^\circ$. В эти годы отмечаются также положительные значения координаты Хп вращения мгновенного полюса Земли.

Таким образом, внутри этого цикла выявляется двойная волна колебаний с периодом 6–7 лет, связанная с определенными взаимными положениями планет.

Аналогичные значения ледовитости по 14-летнему циклу были просчитаны по данным ледовитости моря Росса (февраль), что позволило составить опытный прогноз с учетом двух составляющих по 12- и 14-летним циклам на ближайшие два десятилетия без учета трендовой составляющей (рис. 6).

Очевидно, что основные пики колебаний ледовитости фактических и прогностических значений (с 1985 по 2010 г. на зависимом материале) достаточно хорошо совпадают. Эти обнадеживающие результаты позволили использовать

установленную связь для составления прогноза до 2020 г. Как видно из рис. 7, до 2013 г. должно наблюдаться увеличение ледовитости в море Росса, а в последующие годы до 2020 г. постепенное уменьшение.

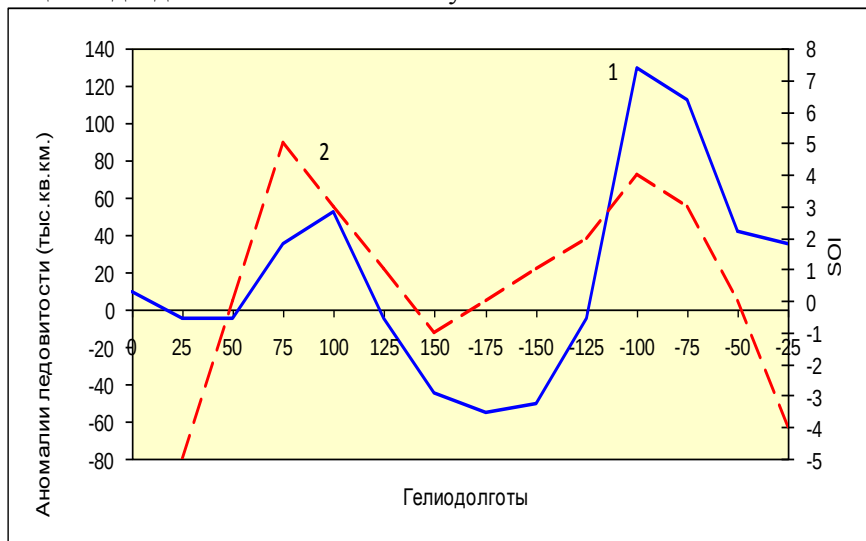


Рис. 6. Средние аномалии ледовитости (1) моря Беллинсгаузена (февраль) и аномалии индекса Южного колебания SOI (2) по годам разности долгот Уран–Юпитер

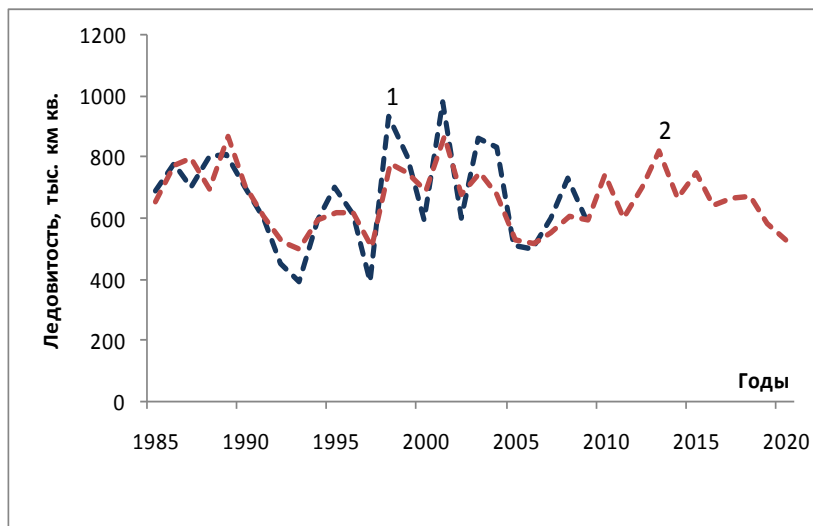


Рис. 7. Оценка прогноза ледовитости моря Росса (февраль) на зависимом (1) и независимом (2) материалах за период 1985–2020 гг.

Исходя из выявленных особенностей связи ледовитости различных районов Южного океана с индексом Южного колебания SOI, можно уточнить ранее представленный [Дмитриев, 2011] фоновый прогноз с учетом векового цикла

Урана (84 года), который указывал на постепенное уменьшение значений индекса SOI до конца 40-х годов текущего столетия и сохранение в море Росса некоторого повышенного фона ледовитости с последующим ослаблением во второй половине столетия.

В районе моря Беллинсгаузена (февраль) характер изменения ледовитости будет иметь обратный характер: до 40-х годов сохранится пониженный фон ледовитости с последующим ее увеличением.

В итоге можно отметить, что проведенное исследование выявило причины изменчивости атмосферной циркуляции, обусловленной миграцией ЦДА под воздействием внешних факторов, что позволило объяснить характер временной изменчивости ледовитости различных районов Южного океана.

Выявленные зависимости позволили представить сценарий как длительных тенденций изменчивости процессов, так и прогностические результаты по регионам на ближайшие годы.

Пополнение гидрометеорологических рядов в дальнейшем позволит выявить большее число прогностических связей, что будет способствовать уточнению прогностических рекомендаций.

Литература

1. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – 358 с.
2. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Многолетняя изменчивость атмосферных процессов Тихого океана и прилегающих к нему регионов Арктики и Антарктики и факторы ее определяющие // Труды ААНИИ, 2009, т. 450, с. 222–240.
3. *Дмитриев А.А., Белязо В.А., Гудошников Ю.П.* Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2011. – 231 с.
4. *Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 19, с. 86–100.
5. *Косенко А.В., Смирнов Н.П.* Многолетняя динамика ледового покрова морей южной полярной области и ее связь с атмосферной циркуляцией // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 7, с. 81–91.
6. *Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В.* Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата: Монография. – СПб.: РГГМУ, 2004. – 217 с.

В.В. Дроздов, Г.Т. Фрумин, А.В. Косенко, А.С. Боев

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАНСГРАНИЧНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
БАЛЛАСТНЫМИ ВОДАМИ СУДОВ ЭКОСИСТЕМЫ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

V.V. Drozdov, G.T. Frumin, A.V. Kosenko, A.C. Boev

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF INDICATORS OF CROSS-
BORDER OF BIOLOGICAL POLLUTION OF THE BALLAST
WATERS OF SHIPS OF THE BALTIC SEA ECOSYSTEM**

Рассмотрены особенности трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов морских экосистем. Выполнен анализ направлений расселения и форм негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в морские экосистемы Европы. Разработаны и проанализированы показатели трансграничного биологического загрязнения для экосистемы Балтийского моря на основе комплексной характеристики чужеродного вида: относительной его численности среди представителей той же таксономической категории; степени распространения в конкретной водной акватории; способности к быстрому воспроизводству в новых условиях; степени и характере воздействия на местные сообщества; степени и характере видоизменения местообитания и влияние на функционирование морской экосистемы в целом. Установлены районы Балтийского моря, в наибольшей степени подверженные биологическому загрязнению в настоящее время и в ближайшем будущем.

Ключевые слова: Балтийское море, биологическое загрязнение, балластные воды крупнотоннажных судов, чужеродные виды.

Considered are the peculiarities of cross-border biological pollution of the ballast water of large-tonnage vessels. The analysis of directions of the settlement and forms of the negative effects of alien species entering the marine ecosystems of Europe. Developed of indicators transboundary biological pollution to the Baltic sea ecosystem on the basis of the integrated characteristics of an alien species – a relative of the population among the representatives of the same taxonomic category; the degree of distributions in a particular water area; the ability to rapid reproduction in the new conditions; the extent and nature of the impact on the local community; the extent and nature of the transformation and impact on the functioning of the marine ecosystem as a whole. Established areas of the Baltic sea in the most vulnerable to biological contamination in the present and in the near future.

Key words: the Baltic sea, biological pollution, ballast water of large-tonnage vessels, alien species.

Введение

Биологическое загрязнение определяется как влияние чужеродного инвазивного вида, достаточное для того, чтобы нарушить экологическое качество среды воздействием на индивидуум, которое проявляется через внутреннее биологическое загрязнение паразитами и болезнетворными микробами; популяцию через генетические изменения и гибридизацию; сообщество, вызывая в нем структурные изменения видового разнообразия; местообитание в процессе влияния на изменение физико-химических условий существования и экосистему в целом за счет трансформации потоков вещества и энергии [2, 4, 5, 17, 26, 27, 29, 30]. Чужеродные виды, которые преднамеренно или случайно были перенесены за пределы своих естественных ареалов в результате человеческой деятельности и успешно прошли стадии акклиматизации и натурализации, расширяют таким образом свой ареал и способны вызвать экологические и/или экономические проблемы. Перемещение чужеродных морских организмов в новые для них природные условия с балластными водами судов, в том числе транспортирующих нефть и газ. Глобальный экологический фонд (ГЭФ) определил в качестве одной из четырех наиболее существенных угроз для Мирового океана. Чужеродные водные организмы вызывают токсичное цветение воды из-за массового развития водорослей, интенсивное обрастание и коррозию гидротехнических и водозаборных сооружений, распространение паразитирующих и болезнетворных организмов (в том числе возбудителей эпидемий и эпизоотий), иногда полное опустошение рыбохозяйственных запасов. Только за последние несколько десятилетий зарегистрировано около 70 крупных случаев переноса экзотических водных организмов в результате судоходства. Интенсивность вселения чужеродных организмов в различные районы Мирового океана за последние 200 лет характеризуется следующей динамикой: прибрежная зона и эстуарии Атлантического и Тихоокеанского побережья Северной Америки – 298 видов, Средиземное море – 240 видов, прибрежная зона Австралии – 210 видов, Балтийское море – 105 видов, Черное море – 75 видов [1, 6, 18, 19, 30, 31, 33, 35]. Значительные масштабы межрегионального переноса чужеродных видов с балластными водами крупнотоннажных судов и существенный экономический ущерб, которые способны приносить интродуцированные виды в новых для них экосистемах, требует искать эффективные методы противодействия.

Дипломатическая конференция, проходившая с 9 по 13 февраля 2004 г., приняла международную конвенцию по Контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями. Это новая международная конвенция принята с целью предотвращения потенциально разрушительных эффектов распространения вредных водных организмов, переносимых балластными водами судна. Конвенция требует, чтобы все суда составляли и следовали Плану управления балластными водами и отложениями. Конвенция будет введена в действие через 12 месяцев после подписания ее 30 государствами, которые перевозят 35 % мировых торговых грузов. Предполагается, что в регионах, где

объемы перевозки балластных вод составляют от 3 до 5 млрд т в год, деятельность чужеродных морских видов, которые выпускаются в новую среду обитания, может привести к экологической катастрофе [32, 34].

Целью работы является разработка эффективных показателей биологической загрязненности морской среды балластными водами крупнотоннажных судов на примере Балтийского моря как одной из наиболее подверженных влиянию чужеродных организмов водных экосистем Мира.

Направления расселения и формы негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в моря Европы

Вселение новых видов в экологические системы – широко распространенный естественный процесс, происходивший во все геологические эпохи существования жизни. Однако благодаря глобализации хозяйственной деятельности человека он стал происходить более интенсивно. Особенно заметными эти воздействия стали со второй половины XX столетия, когда расширения ареалов и проникновение живых организмов в новые сообщества происходили на фоне общих климатических и антропогенных изменений. Способы и направления расселения чужеродных (инвазивных) видов подразделяются на естественные и антропогенные. Естественные обеспечивают самопроизвольное распространение популяций чужеродных видов, приводящее к относительно медленному, постепенному освоению ими биотопов внутри уже колонизированных водоемов или проникновению из одного водоема в другой, при наличии между ними непосредственной связи. К антропогенным способам и направлениям расселения относится человеческая активность, связанная с перемещением воды (например, балластных вод, содержащих планктон, включая пелагические личиночные стадии донных гидробионтов) или погруженных объектов (с прикрепленными к ним взрослыми особями или молодью организмов – обрастателей) внутри или между бассейнами. Влияние морехозяйственной деятельности во много раз ускоряет процесс расселения видов по планете, в том числе и способных оказывать негативное воздействие на местные биоценозы, системы технического и питьевого водоснабжения, здоровье людей. В отличие от большинства загрязняющих веществ антропогенного происхождения, которые в природных экосистемах в ходе процессов самоочищения обычно разрушаются и поддаются эффективному контролю со стороны человека, успешно вселившиеся чуждые организмы могут размножаться и распространяться в окружающей среде часто с непредсказуемыми и необратимыми последствиями.

В качестве ярких примеров могут быть названы проникновение в начале 1990-х гг. с балластными водами судов, транспортирующих нефть, и расселение американского гребневика мнемииопсиса (*Mnemiopsis leidyi*) сначала в Черное, Азовское, Каспийское, а затем и в Балтийское море по Волго-Балтийскому водному пути, а также распространение во многом с балластными водами крупнотоннажных судов понто-каспийского моллюска дрейссены (*Dreissena poly-*

morpha) в регион Балтийского моря и в Великие Североамериканские озера [2, 6, 15, 29, 33]. В обоих случаях экономический ущерб от влияния данных чужеродных видов на местные экосистемы оценивается сотнями миллионов долларов в год. Нерегулируемый сброс балластных вод в Балтийское море также привел к вселению в него более 100 чужеродных видов, значительная часть которых занесена судами из бассейнов Каспийского, Черного, Азовского морей и Северной Америки. Всего же в морях Северо-Запада России насчитывается не менее 120 видов-вселенцев из различных районов Мирового океана, но в наибольшей степени биологическому загрязнению подвержено Балтийское море. При этом особое в этом отношении положение Балтики объясняется тем, что на его берегах находится наибольшее количество морских и речных портов – более 150. Одним из основных регионов-доноров биологических инвазий в восточную часть Финского залива можно считать Понто-Каспийский регион. Так, 42 % видов-вселенцев Балтийского моря и 50 % чужеродных видов в восточной части Финского залива имеют понто-каспийское происхождение [29, 30, 35]. Вероятность их заноса непосредственно из Северного Каспия и Волги по Волго-Балтийскому пути достаточно велика. На рис. 1 представлены основные направления распространения чужеродных видов в морях Европы.

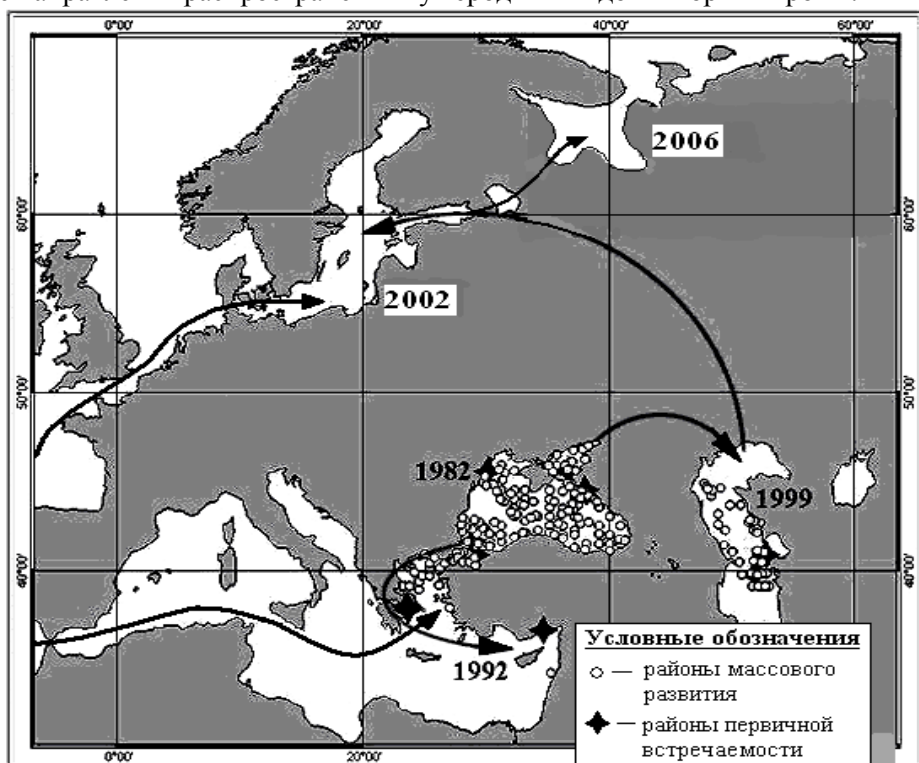


Рис. 1. Основные направления распространения чужеродных видов в морях Европы. Указаны даты первичной встречаемости организмов *Cercopagis pengoi* и *Mnemiopsis leidyi*

В целом, представляются очевидными следующие формы негативного воздействия чужеродных инвазивных видов на местные виды и их разнообразие.

- инвазийные виды могут существенно изменить среду обитания аборигенных видов (особенно в случаях, когда инвазийные виды являются «ключевыми видами» сообщества) путем изменения структуры и функции экосистемы;

- инвазийные виды могут стать конкурентами аборигенных видов и способствовать их вытеснению;

- инвазийные виды могут стать хищниками по отношению к аборигенным видам и также способствовать их вытеснению;

- инвазийные виды могут являться переносчиками возбудителей заболеваний аборигенных видов или сами вызывать их заболевания.

Оказавшись в новой среде, где нет обычных для них паразитов и хищников, чужеродные виды часто размножаются в огромных количествах. В результате конкуренции или выедания они могут подавлять или полностью вытеснять местные виды, что приводит к упрощению структуры сообщества и снижению его устойчивости к внешним воздействиям. Вселение чужеродных видов может способствовать ухудшению качества воды, распространению паразитов и болезней, в том числе опасных для человека. Экономические потери от вселения некоторых инвазивных чужеродных видов в ряде случаев могут исчисляться сотнями миллионов долларов в год [3, 17]. Вселение чужеродных видов негативно влияет на биологическое разнообразие, структуру и функционирование водных экосистем, а патогенные организмы и токсические виды водорослей представляют собой прямую угрозу здоровью человека. В особенности эта проблема актуальна для России и для Северо-Западного региона в частности, по причине наличия многочисленных гидросооружений, широкой сетью водных коммуникаций, большими внутренними водоемами. Все это способствует более свободному обмену фауной и флорой между различными, прежде изолированными водными системами. В настоящее время проблема проникновения чужеродных видов на территорию России является важнейшим аспектом обеспечения экологической безопасности страны, так как балластными водами судов могут перемещаться и патогенные для человека организмы, в том числе и такие опасные, как холерный вибрион *Vibrio cholerae* [32, 33].

Согласно Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными водами и отложениями [32], наиболее нежелательными видами, способными распространяться с балластными водами судов, применительно к Европейскому региону являются следующие: хищный планктонный рачок *Cercopagis pengoi*, китайский мохнаторукий краб *Eiocheir sinensis*, зеленый европейский краб *Carcinus maenus*, двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha*, гребневик *Mnemiopsis leidyi*, токсичные водоросли, среди которых некоторые красные, коричневые и сине-зеленые группы видов.

Предполагают, что китайский мохнорукий краб был случайно завезен в Европу с балластными водами судов. В 1912 г. он был обнаружен в эстуариях не-

которых рек Германии. Отсюда он начал быстро распространяться, проник в эстуарные районы Северного моря и широко распространился в Балтийском море. С 1970-х гг. данный вид в значительном количестве начал встречаться в реках Тайн и Темза, к 1990-х гг. достиг Великих американских озер, а в начале XX в. – Калифорнии. В Черном и Азовском морях первое появление китайского мохнорукого краба было отмечено в 1998 г. [33]. В Волге он уничтожает прибрежную флору и фауну, разрушает берега и угрожает прибрежным коммуникациям с начала 2000-х гг. Единичные экземпляры обнаружены и в Белом море, в устье Северной Двины. Китайский краб очень плодовит. Взрослая самка в состоянии отложить до 1 млн икринок [4].

Моллюск дрейссена полиморфная в настоящее время распространен в пресных и солоновато-водных районах Азово-Черноморского, Каспийского и Аральского бассейнов, далее расселилась по всей Западной и Северной Европе, включая Ирландию и Балтийское море, западной части Северной Америки. Обычна в опресненных участках Азовского и Черного морей: Таганрогский залив, лиманы северо-западной части Черного моря. Обитает также в Днепровско-Бугском лимане, Южном Буге, недавно расселился по водохранилищам Днестра. Образует плотные колонии на различных твердых поверхностях, в том числе в трубах систем технического водоснабжения. Вытесняет местные виды. Изменяет условия обитания, систему цепей питания местных видов. Может повлиять на местную рыболовную промышленность [1, 2, 3, 4, 5, 29, 31, 35].

Гребневик мнемипсис имеет первичный ареал восточное побережье Северной и Южной Америки, проникает в настоящее время в Черное, Азовское, Каспийское и Балтийское моря. Способен быстро размножаться благодаря наличию гермафродитов в благоприятных условиях. Питается зоопланктоном, нарушая всю экосистему и систему морского питания. Сильно повлиял на рыболовную промышленность в Черном и Азовском морях [19, 27, 28, 33].

В отличие от достаточно холодных Белого и Баренцева морей, Балтийское море представляет собой хорошо прогреваемый летом водоем, в особенности в южных, центральных и восточных районах, с весьма различными соленосными условиями [20, 21, 22]. Это способствует акклиматизации в Балтике относительно теплолюбивых чужеродных видов азиатского происхождения, которые к тому же получают возможность найти для себя оптимальные соленосные условия существования. В юго-западных районах моря, по причине близости к зоне Датских проливов и Северному морю, соленость вблизи поверхности составляет от 10 до 15 ‰, а в придонных горизонтах доходит до 20 ‰. Вблизи балтийского побережья Германии и Дании, в силу достаточно высокой температуры воды, причем не только летом, но и в переходные сезоны, а также зимой, и высокой солености, становится возможным акклиматизация чужеродных теплолюбивых морских видов, в частности гребневика мнемипсиса (*Mnemiopsis leidyi*) [4, 5, 6]. В центральных районах Балтики соленость на поверхности снижается до 7–8 ‰, а у дна не превышает 13–14 ‰ [7, 8, 9, 10, 12, 21]. Темпе-

ратура воды в этих районах несколько ниже, чем в южных и юго-западных, зимой прибрежные воды Польши и Прибалтики могут покрываться льдом. В таких условиях становится возможным акклиматизация чужеродных видов умеренного бореального происхождения – моллюска дрейссены полиморфной, зоопланктонного рачка церкопагиса. Восточные и северные районы Балтики (Финский и Ботнический заливы) являются наиболее опресненными. Соленость воды в них на поверхности составляет от 5–6 до 1 ‰ [9, 13, 21, 22]. При этом именно здесь сосредоточены основные мелководные акватории, с каменистым или песчано-каменным дном, благоприятные для обитания крупных чужеродных ракообразных, таких как китайский мохнорукий краб. Данный вид является эвригалльным и способен легко адаптироваться к низкой солености воды.

В Балтийском море мало эндемических видов – его флора и фауна состоит из видов различного экологического и биогеографического происхождения. Они включают в себя эвригалльные виды, которые пережили природное расширение ареала из Северной Атлантики и уцелели в течение предыдущих периодов истории моря, виды, обитающие в соленой и пресной воде, а также виды недавно вселенные человеком. Будучи ранее озером послеледниковой эпохи, Балтийское море стало объектом как спонтанного, так и антропогенного вселения фауны и флоры на протяжении более 10 000 лет [21, 22, 24]. Современные пресноводно-солонатоводные условия Балтийского моря не способствуют успешному вселению чужеродных видов. Морская экосистема подвергается влиянию со стороны пресноводной биоты мира благодаря разрушению крупномасштабных географических барьеров, связанному с развитием морского транспорта, приводящего к обмену видами. На берегах Балтики расположено около 150 портовых комплексов, большинство из которых располагаются в устьях и эстуариях рек. Таким образом, Балтийское море характеризуется сложной, трехмерной (т.е. физической, химической и биологической) сетью резких градиентов окружающей среды. Это разнообразие может благоприятствовать усилению вторжения неэндемичных видов, предоставляя широкий спектр благоприятных условий для большого разнообразия форм жизни [5, 6, 15, 16, 18, 23].

В таблице представлен список видов, оказывающих в настоящее время наиболее выраженное негативное влияние, на основе анализа списка 100 неэндемических видов, зарегистрированных в Балтийском море, с указанием первоначального происхождения и времени обнаружения [35].

Наиболее опасные для экосистемы чужеродные виды-вселенцы, получившие распространение в Балтийском море

Вид (общепринятое название)	Происхождение	Время вселения в Балтийское море	Причина вселения
1	2	3	4
<i>Dreissena polymorpha</i> двустворчатый моллюск	Понто-Каспийское	начало XIX в.	Судоходство
<i>Cercopagis pengoi</i> планктонное ракообразное	Понто-Каспийское	1990-е	Судоходство

Окончание табл. 1

1	2	3	4
<i>Balanus improvisus</i> донное колониальное рако- образное	Северная Америка	1840-е	Судоходство
<i>Elodea canadensis</i> канадская водоросль	Северная Америка	1870-е	Аквариумистика, судоходство
<i>Sargassum muticum</i> японская водоросль	Северо-Восточная Азия	1980-е	Аквариумистика, судоходство
<i>Ficopomatus enigmaticus</i> трубчатый червь	Южное полушарие	1950-е	Судоходство
<i>Styela clava</i> кожистая морская асцидия	Тихоокеанское	1990-е	Судоходство
<i>Mnemiopsis leidyi</i> планктоноядный гребневик	Северо-американ- ское побережье	начало XX в.	Судоходство
<i>Eiocheir sinensis</i> китайский мохнорукий краб	Тихоокеанское	начало XX в.	Аквариумистика, судоходство

Методы оценки и анализа показателей трансграничного биологического загрязнения морских экосистем

Оценка вызываемых чужеродными видами экологических следствий в новых для них экосистемах, а также в процессе натурализации, является сложной комплексной задачей, поскольку сам характер воздействий весьма многообразен. Как правило, чужеродные виды, преимущественно их личиночные стадии, выдержавшие жесткие условия транспортировки вместе с балластными водами судов, обладают повышенной выносливостью к воздействию факторов среды как естественных, так и антропогенных. Попадая в новые для них сообщества, многие чужеродные вступают в жесткую конкуренцию с местными видами, что часто приводит к количественному доминированию интродуцентов, перестройке пищевых сетей, заметному изменению физико-химических свойств местообитания. Таким образом, количественные показатели биологической загрязненности водных экосистем должны отражать многие стороны воздействия чужеродных видов на местный биоценоз и параметры неживой среды [22, 26, 30, 33].

Для эффективной комплексной оценки влияния трансграничного биологического загрязнения морских экосистем на состояние водных акваторий, и в частности в Балтийское море, по нашему мнению, должны быть учтены четыре главных показателя биологической загрязненности:

- относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории
- степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте, мера способности к быстрому воспроизводству в новых условиях.

– степень и характер воздействия чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества.

– степень и характер видоизменения местообитания (влияние на физико-химический состав воды, механические характеристики субстрата и т.п.) и влияние на функционирование экосистемы в целом.

При этом для каждого параметра следует установить количественные характеристики. Так, применительно к относительной численности чужеродного вида следует вводить оценки: «*очень низкая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 1 % от суммы особей всех видов данного таксона); «*низкая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 10 % от общей численности всех взрослых особей всех видов данного таксона в конкретном сообществе); «*умеренная*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии не превосходит 25 % от суммы особей всех видов данного таксона); «*высокая*» (численность особей чужеродного вида во взрослом состоянии превосходит 25 % от суммы особей всех видов данного таксона). Например, моллюск дрейссена полиморфная достаточно часто в пределах Восточной и Южной Балтики может по своей численности во взрослом состоянии достигать не менее 10 % от общей численности всех видов моллюсков на данном участке морского дна.

К степени распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте следует вводить следующие оценки: вид «очень слабо распространен» (заняты единичные местообитания до 1 % от общей площади водного биоценоза); вид «слабо распространен» (заняты несколько местообитаний до 10 % от общей площади водного биоценоза); вид «умеренно распространен» (заняты много местообитаний до 30 % от общей площади водного биоценоза); вид «сильно распространен» (заняты очень много местообитаний более 30 % от общей площади водного биоценоза). Меру способности к быстрому воспроизводству в новых условиях следует оценивать исходя из конкретной биологической специфики вида. В данном случае возможными критериями оценок воспроизводства могут быть такие показатели, как выживаемость эмбрионов или личинок, способность к размножению единично или многократно за год, степень увеличения удельной плодовитости в процессе акклиматизации и натурализации и т.д.

Определение оценок первого показателя биологического загрязнения (*N*) – «относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории» производится путем определения *частоты встречаемости* вида, т.е. отношением численности данного чужеродного вида в пробах к общей численности всех видов той же таксономической категории. Для оценки численности интродуцентов относительно численности других групп организмов той же таксономической категории правомерно использовать *индекс доминирования Симпсона*. При этом следует равномерно и с достаточно большой дискретностью размещать станции наблюдений на полигоне исследо-

ваний, включая как районы с потенциально повышенной численностью интродуцентов (портовые зоны), так и малопреобразованные человеком участки акваторий.

Определение оценок второго показателя биологического загрязнения (*D*) – «степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте» возможно производить с использованием *показателей видового сходства сообществ*: мера Уиттекера и мера Ратледжа. Для данной задачи возможно также применять индексы общности Жаккара и Серенсена-Чекановского. Эти коэффициенты равны 1 в случае полного совпадения видов сообществ и равны 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов. На основе полученных данных о сходстве сообществ при условии относительно однородности абиотических условий можно выявить зоны (фронты) текущего распространения чужеродных видов.

Определение оценок третьего показателя биологического загрязнения (*I*) – «степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества» может производиться с использованием показателей *видовой плотности* и индексов видового богатства Маргалефа и Менхиника. Кроме того, данный показатель биологического загрязнения возможно оценить по воздействию чужеродного вида на характерные кормовые объекты типичных местных видов. Если спектр питания интродуцированного вида во многом или полностью совпадает со спектрами питания местных доминирующих видов, то в случае успеха его акклиматизации и формирования многочисленных самовоспроизводящихся популяций, интродуцированный вид (или виды) может подорвать кормовую базу местных видов, в том числе обладающих экономической ценностью.

Определение оценок четвертого показателя биологического загрязнения (*M*) – «степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом» производится комплексно, с использованием данных о первых трех показателях биологического загрязнения, а также данных отражающих изменение важнейших гидрохимических параметров (компоненты минерального состава воды, концентрации растворенных газов, биогенных веществ и др.), прозрачности воды, изменения характера естественного субстрата и т.д. На основе обобщения сведений делается заключение об интегральной оценке влияния чужеродного вида на местную экосистему, вплоть до значительного ее преобразования или разрушения.

Анализ показателей трансграничного биологического загрязнения Балтийского моря крупнотоннажными водами морских судов

На основании обобщения имеющихся данных о численности, распределении и характере влияния чужеродных видов из списка наиболее нежелательных организмов, присутствующих в балластных водах судов согласно Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными водами и отложениями, на местную фауну и состояние экосистем Балтийского моря [1,

2, 3, 6, 11, 14, 15, 16, 24, 25, 29, 33, 35] было произведено зонирование акваторий моря и географический анализ показателей биологической загрязненности, представленный на рис. 2, 3, 4.

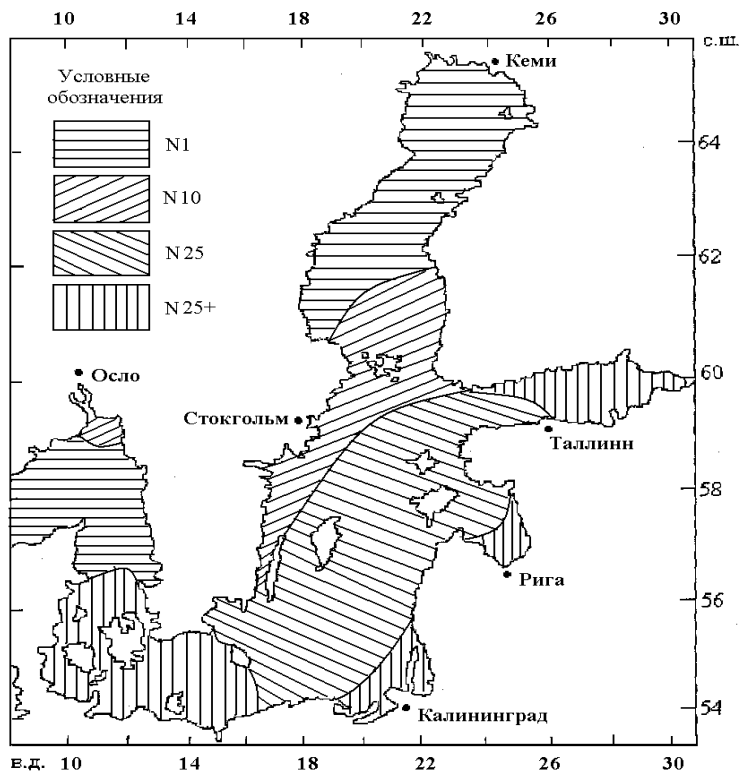


Рис. 2. Значения показателя биологической загрязненности N (относительная численность чужеродных видов среди представителей той же таксономической категории) в Балтийском море. $N1$ – очень низкое; $N10$ – низкое; $N25$ – умеренная; $N25+$ – высокая

Значения показателя биологической загрязненности N , как видно из рис. 2, достигают минимальных значений в центральной и северной частях Ботнического залива Балтийского моря и в пр. Каттегат и Скагеррак, соединяющих Балтику с Северным морем. Очень низкая численность чужеродных видов в Ботническом заливе объясняется его удаленностью от основных транспортных магистралей, малым количеством портов, низкой соленостью и температурой воды. Причем низкие значения солености воды, которые в северной части залива не превышает 2–3 ‰, формируются не только за счет большой удаленности от зоны проливов и ослабленным водообменом с Центральной Балтикой по причине обширных мелководий вокруг Аландских островов, но и большим объемом пресного речного стока рек Швеции и Финляндии в эту акваторию. В пр. Каттегат и Скагеррак очень низкая численность чужеродных видов, способных создавать самовоспроизводящиеся популяции, объясняется во многом

за счет наиболее высоких значений солености воды в Балтийском море, которые могут составлять в поверхностных водах от 20 до 25 ‰. Высокая численность чужеродных видов характерна для Финского, Рижского, Куршского, Калининградского заливов моря, а также для устьевой зоны р. Одер, зоны Датских проливов. В этих районах значения факторов среды, и прежде всего солености воды и типа субстрата, достигают наибольшей неоднородности, что приводит к формированию множества различных экологических ниш, наиболее подходящие из которых с успехом занимаются чужеродными видами.

Как видно из рис. 3, значения показателя биологической загрязненности I , отражающего степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества, в Балтийском море также меняются весьма значительно. Чужеродные виды оказывают весьма значительное влияние на местные виды в районах Восточной части Финского залива, Калининградского и Куршского заливов, а также вдоль балтийского побережья Германии. Районы с несущественным влиянием в настоящее время располагаются в пределах большей части Ботнического залива и пр. Каттегат и Скагеррак.

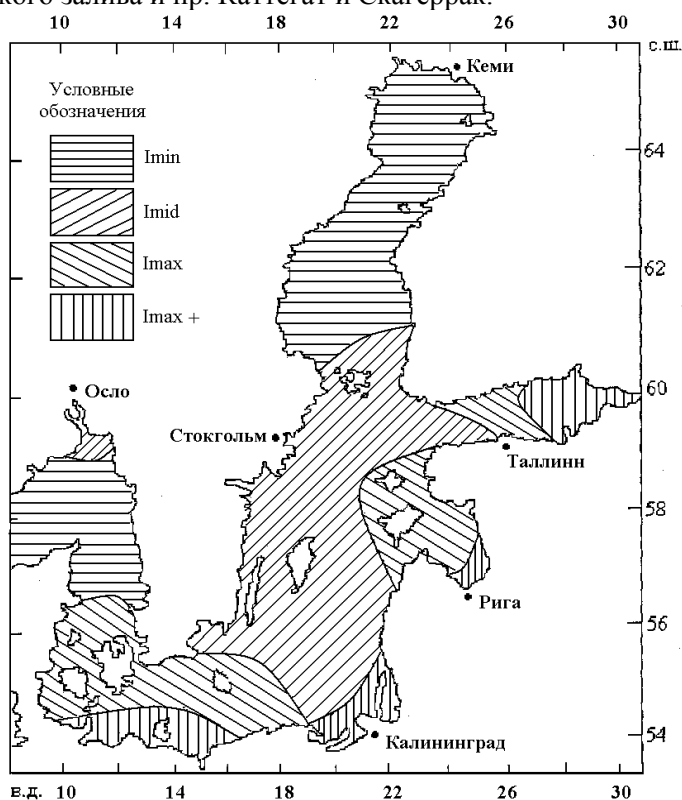


Рис. 3. Значения показателя биологической загрязненности I (влияние чужеродного вида на местные (аборигенные виды) и сообщества в Балтийском море. 10 – влияние не существенно; I_{min} – влияние существенно; I_{max} – влияние значительно; I_{max+} – влияние весьма значительно)

Значительное влияние чужеродных видов на местные сообщества характерно для Западной части Финского залива, побережий островов Сааремма и Хийумма, побережья о. Борнхольм и Рюген в юго-западной Балтике, а также побережья Дании [26, 30, 35]. Значения показателя биологической загрязненности M , отражающего видоизменения местообитания чужеродными видами и их влияние на функционирование экосистемы в целом, показаны на рис. 4.

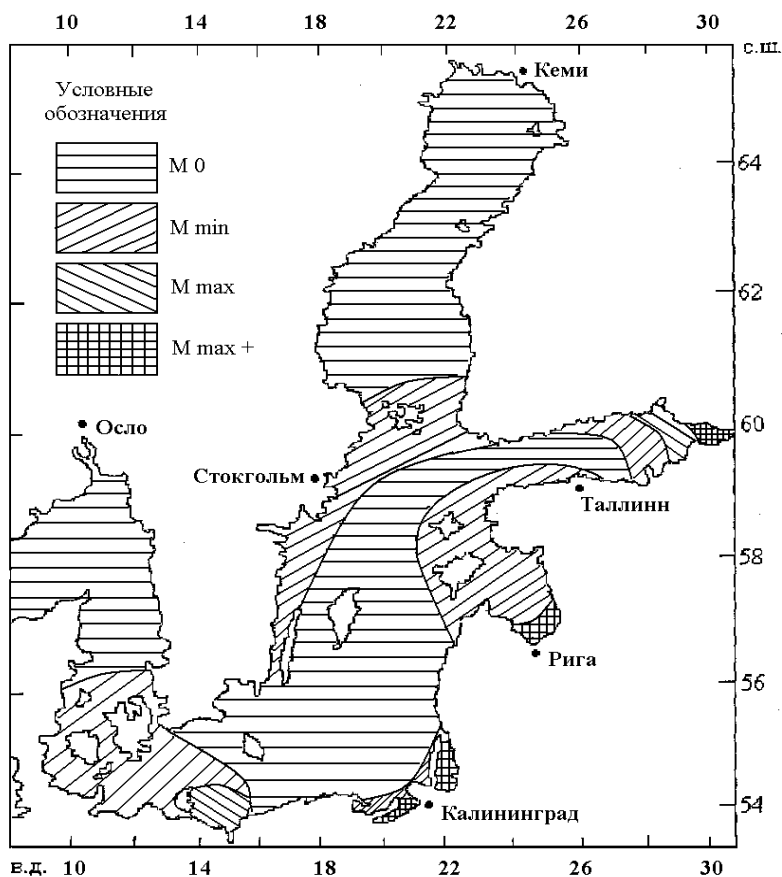


Рис. 4. Значения показателя биологической загрязненности M (степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом).

$M 0$ – влияние на среду не существенно; $M \min$ – влияние на среду существенно;

$M \max$ – влияние на среду значительно; $M \max +$ – влияние на среду очень значительно

Как видно из данного рисунка, центральная глубоководная часть моря не испытывает какого-либо негативного влияния со стороны чужеродных видов (влияние на среду не существенно). Аналогичную оценку имеют акватории Ботнического залива и пр. Каттегат и Скагеррак. Значительное и очень значительное влияние чужеродных видов на параметры водных экосистем наблюдается в Восточной части Финского залива, в Выборгском заливе, в устьевой зоны

р. Даугавы (Рижский залив), в устье р. Одер, вдоль балтийского побережья Германии [28, 29, 33]. В этих районах чужеродные виды, за счет своей высокой численности и доминирующего положения осуществляют преобразование абиотических и биотических компонентов экосистем, путем изменения циклов обмена веществ и энергии в пищевых цепях, некоторых химических параметров окружающей среды и физико-механических свойств субстрата. Из всех разработанных показателей биологической загрязненности самым информативным является показатель *M*, способный отражать итоговое совокупное воздействие на окружающие природные условия. Показатель *D*, характеризующий степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте, менее информативен и полезен на практике, так как не каждый даже широко распространенный и даже акклиматизировавшийся чужеродный вид способен оказывать существенное или значительное влияние на местные биоценозы. Качественные и количественные характеристики показателя биологической загрязненности *D*, также малоинформативны, так как в большинстве случаев они отражают принципиальную встречаемость особей данного вида в конкретной акватории, но при этом не дают оснований судить о роли данного вида в сообществе.

В целом, эстуарии Балтийского моря выполняют роль плацдармов, которые содействуют ассимиляции неэндемичных видов. Куронийская, Вистульская и Сзечинская лагуны, Немецкий Бодден и эстуарий Невы являются местом обитания большого числа акклиматизирующихся чужеродных видов и могут считаться «центрами чужеродного разнообразия» вдоль Балтийского Побережья. На основании опубликованных результатов работ российских и иностранных авторов [1, 2, 3, 26, 31, 35] минимальный темп вторичного распространения дрейссены полиморфной и сходного с ней по особенностям экологии прикрепленного усонного рачка *Balanus improvisus* и внутри бассейна оценивается следующим образом: *Balanus improvisus* распространялся из Кенигсберга (теперешнего Калининграда) (1844) до Турку (1868) со скоростью 30 км в год [14, 18, 35]. Во многом такое быстрое распространение объясняется наличием у обоих видов в жизненном цикле свободно плавающей планктонной личинки. В восточной части Финского залива в последнее десятилетие происходит интенсивное строительство новых крупных портовых сооружений (Усть-Луга, Приморск, Высоцк и др.). Поэтому следует ожидать дальнейшего распространения чужеродных видов, привносимых с балластными водами судов в этом районе.

Заключение

На основе рассмотрения особенностей трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов морских экосистем, анализа направлений расселения и форм негативного воздействия чужеродных видов, проникающих в морские экосистемы Европы, разработаны и проанализированы значения показателей трансграничного биологического загрязнения экосистемы Балтийского моря.

Установлено, что значения показателя биологической загрязненности N , (относительная численность чужеродного вида среди представителей той же таксономической категории) оцениваются как «очень низкие» в северной частях Ботнического залива и в пр. Каттегат и Скагеррак, соединяющих Балтику с Северным морем (N от 1 до 5 %); «низкие» в южной части Ботнического залива (N от 5 до 10 %); «умеренные» в центральных районах Балтики (N от 10 до 25 %); «высокие» для Финского, Рижского, Куршского и Калининградского заливов, устьевой зоны р. Одер, зоны Датских проливов значения (N от 25 до 35 %).

Значения показателя биологической загрязненности D (степень распространения чужеродного вида в конкретном водном объекте), оцениваются как «очень слабое распространение» в северной частях Ботнического залива и в пр. Скагеррак (D от 1 до 5%); «слабое распространение» в южной части Ботнического залива (N от 5 до 10 %); «умеренное распространение» в центральных районах Балтики (N от 10 до 30 %); «сильное распространение» в восточной части Финского залива, в Выборгском и Куршском заливах (D от 30 до 40 %).

Значения показателя биологической загрязненности I (степень и характер воздействия чужеродного вида на местные виды и сообщества) оцениваются как «влияние не существенно» в северной частях Ботнического залива и в пр. Скагеррак (I не более 5 %); «влияние существенно» в центральных районах Балтики (I от 5 до 15 %); «влияние значительно» в районе о. Борнхольм и в зоне Датских проливов (I от 15 до 30 %); «влияние весьма значительно» в восточной части Финского залива, Рижском заливе, Куршском и Калининградском заливах, в устьевой зоны р. Одер (I от 30 до 50 %).

Значения показателя биологической загрязненности M (степень и характер видоизменения местообитания и влияние на функционирование экосистемы в целом), оцениваются как «влияние не существенно» в северной и центральной частях Ботнического залива, в центральных районах Балтики, в пр. Скагеррак и Каттегат (M от 0 до 5 %); «влияние существенно» в южной части Ботнического залива, в западной части Финского залива, в центральной части Рижского залива, в районе Датских проливов (M от 5 до 10 %); «влияние значительно» в восточной части Финского залива, в устье р. Одры (M от 10 до 15 %); «влияние очень значительно» в Невской губе, устье р. Даугавы, Калининградском и Куршском заливах (M от 15 до 20 %).

Успех акклиматизации многих чужеродных видов, распространяющихся в процессе трансграничного переноса за счет судоходства, и высокие оценки параметров производимых ими биологических загрязнений, во многом зависят от специфики местных океанологических и гидрологических условий. Родиной большинства нежелательных видов моллюсков и ракообразных, способных распространяться с балластными водами судов (моллюск дрейссена полиморфна, китайский мохнорукий краб, рачок церкопагис и др.), являются эстуарии и устья рек. Так как в таких районах наблюдаются существенные изменения значений солености воды – от почти пресной непосредственно в устье рек (1–2 ‰)

до солоноватой (от 2 до 10 ‰), с наличием тенденции к дальнейшему возрастанию по мере отдаления от побережья, то для видов-интродуцентов из многих районов Мира мелководные южные и восточные заливы Балтийского моря, устьевые зоны оказались по своим океанологическим условиям наиболее подходящими для акклиматизации, массового развития и натурализации. В наибольшей степени этому будут способствовать условия эстуариев и устьев рек Финского, Рижского, Куршского и Калининградского заливов. Наименее подверженным биологическому загрязнению следует в настоящее время признать Ботнический залив, в особенности его центральную и северную часть, где под влиянием пониженной температуры воды значительную часть года и постоянно низкой солености благоприятное течение жизненного цикла, в том числе воспроизводство, весьма затруднено или невозможно. Основным экологическим фактором, лимитирующим развитие и распространение гидробионтов, в том числе и чужеродных, в Балтийском море является соленость воды, далее по значимости следуют температура воды и концентрация кислорода в придонных горизонтах. Имеются основания говорить о возможности выработки чужеродными видами новых эффективных адаптаций, позволяющих постепенно расширять свое присутствие и воздействие в районах, ранее считавшихся неблагоприятными для их жизнедеятельности [23, 29, 35]. Тем не менее, полученные результаты [7, 8, 9, 11, 13, 20, 21] и дальнейшие исследования многолетней изменчивости климата, океанологического и гидрологического режимов в Европейском регионе с целью установления их причин, а также данные о развитии морехозяйственной деятельности позволят разработать прогностические оценки и сценарии динамики процесса трансграничного биологического загрязнения балластными водами крупнотоннажных судов экосистемы Балтики и других морей Северо-Запада РФ.

Литература

1. Алимов А.Ф., Никулина В.Н., Панов В.Е. и др. Гидробиологическая характеристика Невской губы Финского залива // Гидробиол. ж., 1993, т. 29, № 3, с. 3–14.
2. Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Последствия интродукций чужеродных видов для водных экосистем и необходимость мероприятий по их предотвращению. В кн.: Виды-вселенцы в европейских морях России // Сб. науч. трудов. – Апатиты: изд. Кольск. науч. центра РАН, 2000, с. 12–23.
3. Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Роль Волго-Балтийского водного пути в формировании солоновато-водной и пресноводной фаун в водных экосистемах Европейской части России // Междунар. научн. конф. «Малые реки: современное экологическое состояние, актуальные проблемы», Тольятти, 23–27 апреля 2001 г., с. 8–9.
4. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах // Под ред. А.Ф. Алимова, Н.Г. Богучкой. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 436 с.
5. Виды-вселенцы в европейских морях России / Отв. ред. Г.Г. Матишов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – 312 с.
6. Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Гасанова Э.Г. Влияние солености воды на состав сообществ и формирование зон экотон в Балтийском море // Уч. зап. РГТМУ, 2005, № 1, с. 109–136.
7. Дроздов В.В., Смирнов Н.П. Многолетняя динамика климата и гидрологического режима в районе Балтийского моря и ее причины // Метеорол. и гидрол., 2011, № 5, с. 77–87.

8. Дроздов В.В. Особенности влияния динамики уровня моря в юго-западной Балтике и пролива Каттегат на гидрохимический режим в глубоководных горизонтах и промысловую продуктивность // Экологич. химия, т. 20, вып. 1, 2011, с. 28–41.
9. Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики гидрологического режима Балтики и причины возникновения экстремальных параметров водообмена между Балтийским и Северным морями // Изв. Русск. географич. общ-ва, 2010, т. 142, вып. 4, с. 40–46.
10. Дроздов В.В. Крупномасштабная изменчивость атмосферной циркуляции и температурный режим Беломорского региона // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 1, с. 65–73.
11. Дроздов В.В. Многолетняя динамика компонентов экосистемы Невской губы под влиянием природных факторов и гидростроительства // Экология и промышленность России, 2010, № 4, с. 68–75.
12. Единая система информации о Мировом океане. Проект ЕСИМО. Режим доступа: [<http://www.esimo.ru>].
13. Еремина Т.Р., Басова С.Л. Современные черты гидрохимических условий в восточной части Финского залива. В кн. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы // Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008, с. 24–38.
14. Карандеева О.Г. Процессы, обеспечивающие осморегуляцию у водных беспозвоночных / В кн.: Физиология морских животных. – М.: Наука, 1966, с. 176–233.
15. Карлин Л.Н., Шилин М.Б., Аверкиев А.С., Голубев Д.А., Дроздов В.В., Жакова Л.В. Основные концепции современного берегопользования. Т. III. Оценка эффектов природных и антропогенных воздействий на прибрежные экосистемы. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 209 с.
16. Костричкина Е.М. Распределение, сезонная и многолетняя динамика зообентоса в Балтийском море // Рыбохозяйств. исслед. в бассейне Балтийского моря, 1980, вып. 15, с. 118–129.
17. Колонин Г.В., Герасимов С.М., Морозов В.Н. Биологическое загрязнение // Экология, 1992, № 2, с. 89–94.
18. Лукиенас Ю.К. Биоценозы и трофические группировки донных беспозвоночных южной части Балтийского моря // Океанология, 1969, т. 9, вып. 6, с. 1078–1086.
19. Матишов Г.Г., Денисов В.В. Экосистемы и биоресурсы европейских морей России на рубеже XX и XXI веков. – Мурманск: ООО «МИП-999», 1999. – 124 с.
20. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. – Балтийское море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992.
21. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 3. Балтийское море, вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994.
22. Фрумин Г.Т., Басова С.Л. Физико-географическое описание восточной части Финского залива / В кн.: Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы / Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008, с. 16–19.
23. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов. – Л.: Наука, 1974. – 233 с.
24. Ярвекюльг А.А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. – Таллинн: Валгус, 1979. – 382 с.
25. Ярвекюльг А.А. Зообентос Центральной и восточной Балтики // Очерки по биологической продуктивности Балтийского моря. – М., 1984. – Т. 3, с. 155–234.
26. Bignert, A., Nyberg E., Asplund L., Comments Concerning the National Swedish Contaminant Monitoring Programme in Marine Biota. Report to the Swedish Environmental Protection Agency, 2007. – 128 p.
27. Occhipinti-Ambrogi A., Savini D. Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems // Marine Pollution Bull. 2003. Vol. 46. Iss. 5. P. 542–551.
28. Olliveira N.S., Otto M.P. (2007): The presence of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the Oslofjorden and considerations on the initial invasion pathways to the North and Baltic Seas. Aquatic Invasions 2 (3): 185–189.
29. Leppakoski E., Gollasch S., Gruszka P. et al. The Baltic – a sea of invaders // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2002. Vol. 59. P. 1175–1188.

30. *Leppakoski E., Gollasch S., Olenin S. (eds) Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. 583 pp.*
31. Invasive Species Specialist Group of the IUCN Species Survival Commission, 2001. Режим доступа: <http://www.issg.org/>
32. IMO (2004) International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. International Maritime Organization. <http://www.imo.org> (Accessed on 1 November 2004).
33. Global Invasive Species Programme (GISP), 1999. Режим доступа: <http://jasper.stanford.edu/gisp/>
34. GloBallast (Глобальная программа по управлению балластными водами). 2000. Режим доступа: <http://globallast.imo.org/>
35. Baltic Sea Alien Species Database, 2001. Режим доступа: <http://www.ku.lt/nemo/mainnemo.htm>

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.1. Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (соглашение о гранте № 14.B37.21.0651 – 2012 г.) коллективом Научно-образовательного центра «Мониторинг и прогнозирование экологического состояния окружающей среды» факультета экологии и физики природной среды РГГМУ.

А.Л. Дмитриев, Е.О. Милутина

ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

A.L. Dmitriev, E.O. Milutina

THE INFLUENCE OF MOTOR TRANSPORT ON THE ECOLOGICAL CONDITION OF ST. PETERSBURG

Рассмотрено влияние автотранспорта на экологическое состояние городской среды Санкт-Петербурга. Показана роль специфики городской застройки и дорожной сети на ухудшение экологического состояния города. Приведена динамика изменения вредных выхлопов от автотранспорта и их влияние на городскую инфраструктуру и здоровье населения. Предложены методы снижения негативного воздействия автотранспорта.

Ключевые слова: экология, окружающая среда, автотранспорт, моторное топливо, токсичный выхлоп, транспортный шум, городская среда.

The influence of motor transport on the ecological condition of St.-Petersburg is considered. The role of urban areas and roads to the deterioration of the ecological condition of the city are shown. The dynamics of change of motor transport exhausts and their impact on the urban infrastructure and human health is analyzed. Possible methods of reducing the negative impact of motor transport on the ecological condition are considered.

Key words: ecology, environment, motor transport, motor fuel, toxic exhaust, traffic noise, the city environment.

Введение

Экологические проблемы во всем мире приобретают первостепенное значение, в особенности для крупных городов и промышленных центров [5]. Основным загрязнителем окружающей среды крупных городов является автотранспорт, негативное воздействие которого связано с токсичными газовыми выбросами продуктов горения [10].

Для Петербурга негативное влияние автотранспорта на окружающую среду имеет особое значение, т.к. сказывается не только на здоровье жителей и гостей города, но и наносит ущерб памятникам архитектуры, скульптуры, дворцовым и парковым ансамблям, увеличивая финансовые затраты на поддержание их в нормальном состоянии и снижая привлекательность города как культурного центра мирового масштаба.

Специфика влияния автотранспорта на окружающую среду

Автотранспорт создает в городах обширные зоны с устойчивым превышением санитарно-гигиенических нормативов качества окружающей среды. Все большую актуальность приобретают вопросы, касающиеся степени влияния выбросов автотранспорта на состояние здоровья населения. Причём, несмотря на то, что доля энергоносителей, потребляемых автотранспортом, составляет не-

значительную часть от общего их потребления [1] (рис. 1), основная часть вредных выбросов идёт от автотранспорта (рис. 2). Связано это, главным образом, с видом потребляемого топлива (бензином и дизельным топливом).

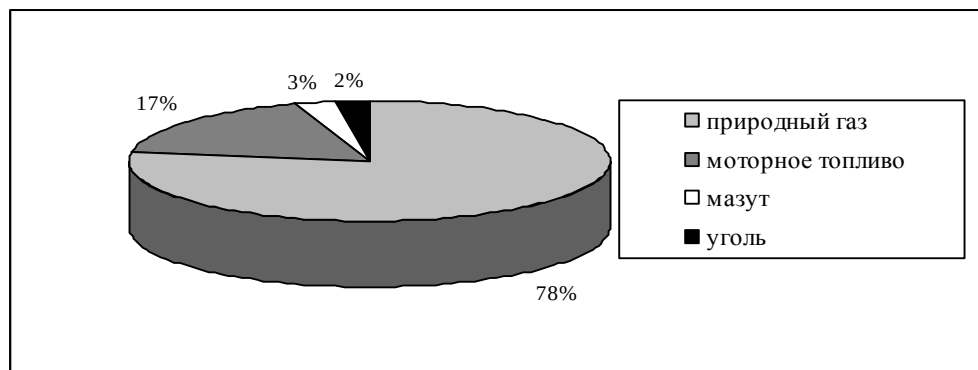


Рис. 1. Структура энергоносителей, потребляемых Санкт-Петербургом (426 млрд МДж)
The structure of the energy resources consumed by the St. Petersburg

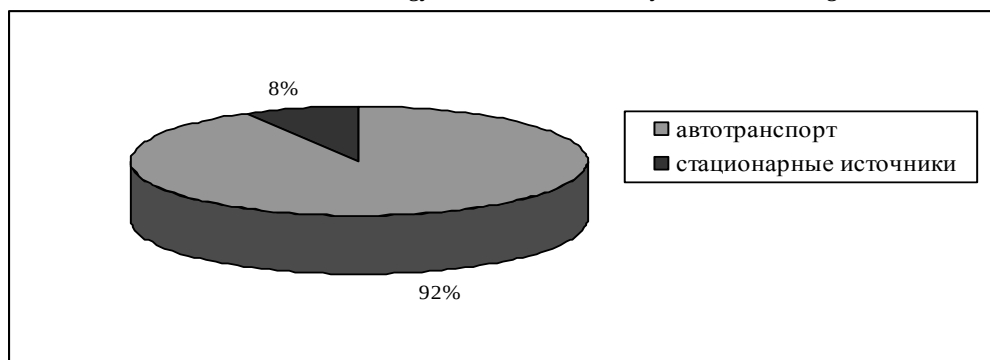


Рис. 2. Структура источников вредных выбросов. The structure of the emissions sources

При этом в воздушную среду поступают более двухсот химических соединений, в том числе окись углерода (CO), углеводороды (C_nH_m), окислы азота (NO и NO_2), диоксид серы (SO_2) [3], а также такие канцерогенные вещества как сажа, альдегиды и бенз(а)пирен, среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{сс}) которого составляет $0,1 \text{ мкг}/100 \text{ м}^3$. Значения предельно допустимых концентраций (ПДК) основных соединений [максимально разовые (мр) и среднесуточные (сс)] представлены в табл. 1 [6].

Наряду с загрязнением воздуха отмечается устойчивая тенденция к повышению уровня загрязнения почвы и увеличению угрозы загрязнения поверхностных и грунтовых вод, а также увеличение шумового воздействия на окружающую среду и население на территориях современных мегаполисов.

В городах автотранспорт является основным источником шума (для легкового автотранспорта его уровень составляет 82–88 дБ, а для автобуса – 80–95 дБ) [2, с. 81]. При движении грузового транспорта на здания и сооружения

негативное воздействие оказывает также вибрация, которая характеризуется виброскоростью (мм/с) и частотой до 10–40 Гц.

Таблица 1

ПДК основных соединений выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Maximum allowable concentration of basic compounds of exhaust gases of internal combustion engines [6]

Норматив	Соединение						
	CO	NO	NO ₂	SO ₂	Альдегиды		
					CH ₂ O	C ₄ H ₆ O ₃	C ₃ H ₄ O
ПДК _{мр} , мг/м ³	5	0,4	0,085	0,5	0,035	0,1	0,03
ПДК _{сс} , мг/м ³	3	0,06	0,04	0,05	0,003	0,03	0,01

Специфика автотранспортной системы Санкт-Петербурга

Автомобильный парк России на 1 января 2012 г. (по данным «АСМ-холдинга» [9]), составил 42 млн 861,8 тыс. единиц, увеличившись за год на 5,4 %. Причем, наибольшую динамику роста показал парк легковых автомобилей, составивший 36 млн 415,1 тыс. Парк автобусов составил 902,9 тыс., показав наименьшую динамику роста и очевидное старение. Парк грузовых автомобилей составил 5 млн 544,7 тыс. При этом, по данным ГИБДД, прирост автомобильного парка Санкт-Петербурга составляет, в среднем, 7–10 % в год и к концу 2011 г. численность его составила около 1700 тыс. единиц.

Техническое состояние автомобилей и марка топлива влияют на масштаб и степень токсичности загрязнения воздуха выбросами автотранспорта. Для России средний возраст автотранспортных средств (АТС) значителен и составляет более 10 лет, в связи с этим количество токсичных выбросов в окружающую среду увеличивается. Основным видом моторного топлива являются бензин и дизельное топливо (доля автобусов на дизтопливе составляет примерно 62 %, а легкового автотранспорта – около 6%) [3].

Санкт-Петербург – важный экономический, научный и культурный центр России, крупный транспортный узел. Исторический центр города и связанный с ним комплекс памятников входят в список Всемирного наследия Организации Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры (Юнеско). Это один из самых важных в стране центров туризма.

Город является важнейшим центром автомобильных перевозок и находится на пересечении транспортных путей, соединяющих Скандинавский п-в и континентальную Европу, центральные районы России и страны Балтии. Существенная часть автомобильных транспортных потоков связана с грузовыми перевозками из портов Финляндии, Ленинградской области и, собственно, Санкт-Петербурга в районы России, лежащие южнее и восточнее. Автомобильные магистрали связывают Петербург с Москвой и финской границей (трасса М10 «Скандинавия»), с эстонской границей (трасса М11 «Нарва»), с Петрозаводском и Мурманском (трасса М18 «Кола»), с Псковом и белорусской границей (трасса

М20) и др. Трассы М10 и М20 входят в состав европейского транспортного коридора № 9. В ближайшее время в дополнение к нынешней, сильно перегруженной автомагистрали Москва–Петербург, должно начаться строительство современной платной автомагистрали.

Полученные данные показывают, что в целом по городу средняя за год концентрация некоторых токсичных компонентов (CO , NO_x , C_nH_m) превышена в среднем в 2 раза. Особенно велика загазованность транспортных магистралей. Здесь максимальные разовые концентрации достигают 10 ПДК [8].

Для оценки вклада автотранспорта Санкт-Петербурга в загрязнение окружающей среды рассмотрен легковой и автобусный парки города, с 1970 по 2010 г. В основу положены пробеговые выбросы автотранспорта, рассчитанные по программе фирмы «Магистраль» (табл. 2), в соответствии с которыми один усреднённый легковой автомобиль массой около 1390 кг, проходит в среднем 15 тыс. км [3].

Таблица 2

Значения пробеговых выбросов для различных групп автомобилей.
The values of prorunning emissions for different groups of vehicles

Наименование группы автомобилей	Выброс, г/км				
	CO	NO _x	C _n H _m	SO ₂	Сажа
Легковые бензиновые	19	2,3	2,1	0,065	-
Легковые дизельные	2	1,3	0,25	0,21	0,1
Автобусы бензиновые	97,6	5,3	13,4	0,32	-
Автобусы дизельные	8,8	8	6,5	1,45	0,3

Опираясь на представленные выше данные, был произведён расчёт ежегодного количества токсичных веществ, выбрасываемых автотранспортным комплексом (АТК) города. Полученная в результате расчётов динамика токсичных выхлопов всего автопарка города с 1970 по 2010 г. отражена на рис. 3 и в табл. 3.

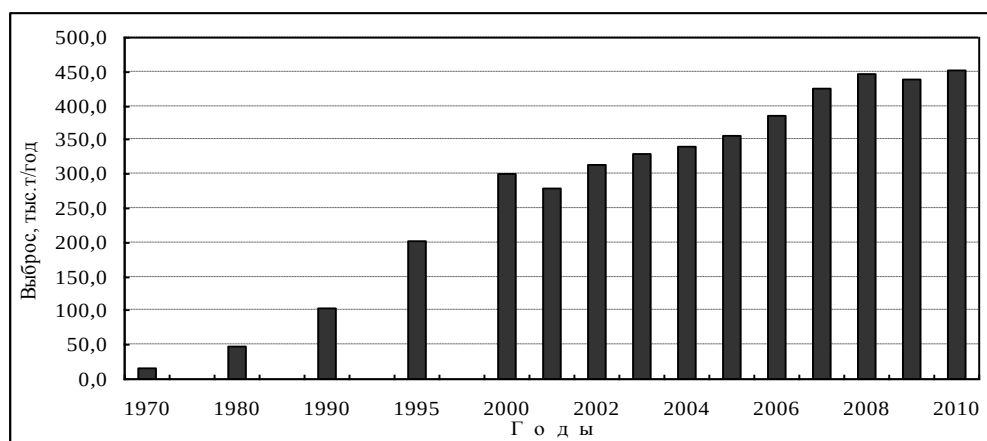


Рис. 3. Динамика выбросов токсичных веществ автотранспортом Санкт-Петербурга с 1970 по 2010 г. The dynamics of toxic emissions from vehicles during the period 1970–2010 in St. Petersburg

Таблица 3

Динамика выбросов токсичных веществ автотранспортом Санкт-Петербурга с 1970 по 2010 г.

The dynamics of toxic emissions from vehicles during the period 1970–2010 in St. Petersburg

Год	Количество токсичных выбросов, тыс. т/год					
	CO	NO _x	CnHm	SO ₂	Сажа	Всего
1970	12,2	1,6	1,5	0,08	0,008	15,4
1980	37,5	4,6	4,4	0,18	0,011	46,7
1990	82,5	10,1	9,4	0,35	0,015	102,4
1995	164,2	20,0	18,4	0,61	0,013	203,3
2000	243,5	29,7	27,1	0,90	0,022	301,3
2001	226,0	27,6	25,2	0,84	0,021	279,6
2002	254,6	31,1	28,4	0,94	0,023	314,9
2003	267,4	32,6	29,8	0,99	0,025	330,9
2004	275,6	33,6	30,7	1,02	0,025	341,0
2005	288,1	35,1	32,1	1,06	0,025	356,4
2006	312,5	38,3	34,8	1,19	0,045	386,8
2007	340,3	41,6	37,6	1,24	0,036	420,8
2008	357,9	44,1	39,6	1,38	0,078	443,1
2009	353,2	44,1	39,4	1,52	0,133	438,4
2010	365,1	45,6	40,7	1,56	0,134	453,1

Анализ таблицы показывает, что больше всего с отработанными газами (ОГ) выбрасывается CO, а также более токсичные NO_x и CnHm. С увеличением количества дизельных АТС наблюдается увеличение выброса канцерогенной сажи. В целом, по городу, выбросы от АТС составляют 92 % от суммарных техногенных выбросов вредных веществ [8].

В настоящее время численность автотранспорта составляет около 1700 тыс. единиц, а суммарный объем выбросов вредных веществ более 450 тыс. т в год.

Кроме негативного влияния на здоровье населения (нанося ущерб более 100 млн долл. в год), токсичные вещества воздействуют на исторические и архитектурные памятники Петербурга, нанося им непоправимый урон и требуя больших затрат на ремонт и реставрацию (Адмиралтейства, Петропавловского собора, Ростральных колонн и др.) [4].

С целью снижения загруженности городских автомагистралей транзитным транспортом реализован проект строительства Петербургской кольцевой автодороги (КАД), частично проложенной по дамбе Финского залива, в ближайшее время намечено продолжение работ по реализации Западного скоростного диаметра (ЗСД) – транзитной магистрали, призванной связать западные районы города и Морской порт, проходящей по западной части Васильевского острова и, частично, по эстакаде, проложенной по Невской губе Финского залива. Однако поскольку указанные магистрали являются продолжением международной трассы Е-18 «Скандинавия», нагрузка на указанные участки автотрассы со временем будет только возрастать. На начальном этапе после их ввода предполагается

ется: до 100 тыс. автомашин в сутки по участку КАД, проложенному по дамбе, и до 140 тыс. единиц в сутки – по ЗСД. Это приведет к увеличению выбросов токсичных веществ более 100 тыс. т в сутки. Преимущественная роза ветров в районе Финского Залива – западная. Поэтому значительная часть вредных газовых выхлопов оседает на территории Санкт-Петербурга. Кроме того, непосредственный контакт вредных выбросов с водной поверхностью сравнительно мелкого в этих местах Финского залива, может привести к необратимым последствиям для всей его биоты.

В Санкт-Петербурге проводится постоянный акустический мониторинг более чем в 70 точках. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уровни транспортного шума составляют в среднем 70–75 дБ, а максимальная величина вибрации – 3,0 мм/с [7].

Все это свидетельствует о том, что для автотранспорта Санкт-Петербурга необходимы дополнительные мероприятия по снижению его экологического давления на окружающую среду.

Методы, применяемые для снижения экологической нагрузки автотранспорта

Сегодня существует ряд мер для снижения токсичных выбросов от автотранспорта в окружающую среду.

Ограничение выбросов основных токсичных компонентов, присутствующих в ОГ бензиновых и дизельных двигателей изложено в Правиле Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК ООН) № 49 от 1982 г. (и последующих поправках к нему). В Европейском Союзе (ЕС) с 2005 г. действует стандарт на бензин класса Евро-4, в то время как в нашей стране пока еще сохраняется Евро-2. Намеченный на 2012 г. переход на бензин класса Евро-3 откладывается. Для улучшения экологических показателей моторных топлив и соответствия их стандартам «Евро» рассматривается применение в ЕС, США, Бразилии биотоплив. Современные тенденции лидеров мирового автопрома (Nissan, Toyota, Mercedes и др.) направлены на создание гибридных [имеющих ДВС и аккумуляторную батарею (АКБ)] автомобилей и электромобилей. Однако такие автомобили пока еще занимают незначительный сегмент рынка, что связано со значительной стоимостью (1 кВт·ч запасенной в АКБ энергии – 1000 долларов), длительностью зарядки, дефицитом лития и др.

Во многих странах в качестве менее токсичного и более дешевого моторного топлива используется природный газ (ПГ). ПГ относится к числу экологически чистых топлив, в отличие от сжиженного углеводородного газа (СУГ) – побочного продукта добычи нефти и ПГ (табл. 4).

Таким образом, для снижения токсичности выхлопных газов наиболее приемлемым в настоящее время, как с экономической точки зрения, так и технической реализации, являлось бы применение в качестве моторного топлива природного газа, а в дальнейшем водорода [4].

**Состав продуктов сгорания различных топлив.
The composition of the combustion products of various fuels [3]**

Вид топлива	Выброс вредных веществ, г/км		
	CO	CH	NO _x
Бензин	10,3	2,17	2,25
Сжиженный нефтяной газ	4,7	1,19	2,15
Сжатый природный газ	2,1	1,11	2,1
Бензин в смеси с водородом	0,74	0,69	1,11
Метанол	6,92	1,14	1,09
Метанол в смеси с синтез- газом (H ₂ +CO)	1,24	0,62	0,89
Синтез-газ (H ₂ +CO)	0	0,1	0,57
Водород	0	0	0,62

Закключение

1. Показана роль автотранспорта в ухудшении экологического состояния окружающей среды Санкт-Петербурга.

2. Отмечена тенденция к увеличению токсичных выбросов, связанная с ростом численности автотранспорта и спецификой дорожно-транспортной сети города. На сегодняшний день суммарное количество токсичных выбросов от автотранспорта составляет около 500 тыс. т в год, что наносит экономический и имиджевый урон городу как культурной столицы Европы.

3. В перспективе ухудшение экологической обстановки в городе может быть связано также с возрастанием роли Санкт-Петербурга как крупного транспортного узла, соединяющего Север и Юг Европы.

4. Рассмотрены различные методы улучшения экологии города. Для снижения вредных выбросов в настоящее время с экономической и технической точек зрения является применение в качестве моторного топлива природного газа.

Литература

1. Делюкин А.С. Об основных направлениях развития энергетики Санкт-Петербурга до 2010 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/eu_wT2HUG.htm
2. Денисов В.Н., Лукманов Ю.Х. Благоустройство территорий жилой застройки. – СПб.: Изд. МАНЭБ, 2006. – 224 с.
3. Денисов В.Н., Роголёв В.А. Проблемы экологизации автомобильного транспорта. – СПб.: Изд. МАНЭБ, 2005. – 312 с.
4. Дмитриев А.Л., Милютин Е.О. Применение природного газа в качестве моторного топлива для автотранспорта Санкт-Петербурга // Альтернативная энергетика и экология: международный научный журнал, 2012, № 2, с. 170-176.
5. Музалевский А.А., Яйли Е.А. Комплексная оценка геоэкологической обстановки в крупных городах и промышленных зонах // Уч. зап. РГГМУ, 2006, № 3, с. 98-109.
6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.1338-03.
7. Сергеев О.Е., Ахметзянов И.М., Лопатин С.А. Транспортный шум как экологическая проблема Санкт-Петербурга // Экологическая безопасность автотранспортного комплекса: Передовой опыт России и стран Европейского Союза: Тр. III международной практической конференции / Под ред. В.Н. Денисова. – СПб.: МАНЭБ, 2005, с. 98-99.
8. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2008 г.: Ежегодник / Под ред. Э.Ю. Безуглой; ГУ «ГГО». – СПб.: АСТЕРИОН, 2009. – 222 с.
9. Российский автопарк в 2011 году вырос на 5,4% / Аналитическое агентство АВТОСТАТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.autostat.ru/news/view/10585//>
10. Morrison J. Sustainable development. UK: Profile Books, 2002 – 370 p.

ЭКОНОМИКА

В.Н. Рудченко

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА «ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ» КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

V.N. Rudchenko

THE TECHNOLOGICAL PLATFORM «TECHNOLOGIES OF ECOLOGICAL DEVELOPMENT» AS A NECESSARY CONDITION OF INNOVATION ECONOMY OF RUSSIA

В статье дана характеристика основополагающих этапов формирования инновационного развития России. Доказано, что интенсификация современной отечественной экономики невозможна без использования инновационных методов, которые преимущественно должны базироваться на новых решениях в области экологии и безопасности жизни человека. Установлено, что именно внедрение технологической платформы «Технологии экологического развития» будет способствовать появлению новых экологически безопасных видов техники, организационных форм взаимодействия общества, среды и предприятия, а также развитию новых передовых форм хозяйствования.

Ключевые слова: технологическая платформа «Технологии экологического развития», инновационное развитие, инновации.

The article describes the basic stages of innovative development in Russia. It is proved that the intensification of the modern Russian economy is impossible without use of innovative methods, which should mainly be based on new solutions in the field of ecology and safety of human life. Is established, that the introduction of a technological platform «Technologies of ecological development» will contribute to the emergence of new environmentally technology, organizational forms of interaction between society, environment and enterprise, as well as the development of new, advanced forms of management.

Key words: technological platform «Technologies of ecological development», innovative development, and innovation.

В 2011 г. Президент РФ Д. А. Медведев заявил, что дальнейший экономический рост в России возможен только при условии превращения страны в государство инновационного типа. Результатом данной политики стала Стратегия инновационного развития России до 2020 г., утвержденная Правительством РФ [1].

В 2012 г. Президент России В.В. Путин говорит о том, что экономике нужно формировать долгосрочный, устойчивый спрос на инновации. В своем докладе Президент указал, что за предстоящие десять лет доля инновационной

продукции в промышленном производстве Российской Федерации должна вырасти с 4,5–5 % до 25–30 %, а расходы на научно-исследовательские работы и НИОКР к 2020 г. также должны увеличиться практически в два раза – до 2,5–3 % ВВП при сегодняшних 1,16 % [2].

Выше представленные заявления, дают возможность оценить масштаб перестройки государства на инновационный тип развития. Однако, с точки зрения автора, необходимо упомянуть, что попытки внедрения инноваций в экономику и построение самой инновационной системы началось значительно раньше. Так, 30 марта 2002 г. Президент утвердил «Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу» (Пр.-576). В данном документе впервые дается определение основных терминов, применяемых в инновационной деятельности: «инновационная деятельность», «инновационная продукция», «инновационная система», «наукоемкие высокотехнологичные отрасли (производства)» [3]. Важно подчеркнуть, что в России впервые появился документ, дающий четкие определения и направления развития инноваций.

В то же время, среди большого количества определений на законодательном уровне понятие «инновации» раскрывается только в Стратегии инновационного развития РФ до 2020 г. «Инновация» – конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, реализуемого на рынке, нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности [1].

По оценке Минприроды России, модернизация российской экономики потребует затрат в объеме около 2 процентов ВВП ежегодно, что соответствует общемировой практике, при этом в период внедрения, возможно, будет наблюдаться некоторое снижение показателей темпов экономического роста в силу необходимости импорта высокотехнологичного оборудования при остановке производства на время реконструкции [4]. В то же время последствия модернизации приведут к повышению конкурентоспособности предприятий, ускорению экономического роста, создадут основу для дальнейшего развития России при улучшении экологических параметров качества жизни.

Как отечественные, так и зарубежные ученые отмечают необходимость внедрения и развития инноваций во всех мировых системах. Так, С. Глазьев заявляет о том, что для вывода экономики из кризиса особое значение имеют инновации и эффективные механизмы их внедрения на основе стратегического подхода [5, 7].

К. Кристен говорит о том, что дальнейшее развитие мировой экономики будет, определяться высокотехнологичными и инновационными отраслями.

Автор также разделяет мнение А.И. Орлова о том, что инновации приводят к созданию потребительской ценности и повышению производительности, а следовательно, к росту бизнеса. Это основа, благодаря которой люди и компании начинают движение к новым высотам. Без инноваций новые товары, новые

услуги и новые бизнес-модели никогда бы не появились, и компании так и продолжали бы производить старые вещи старыми способами [8].

Таким образом, можно сделать вывод, что инновация – синоним успешного развития социальной, экономической, экологической, управленческой и других сфер на базе разнообразных нововведений. Поэтому автор считает, что для полноценного развития инновационных процессов в экономике важным условием является развитие инноваций на основе положительного зарубежного опыта в отечественной экономике.

При этом следует акцентировать внимание на том, что общим для Европейского союза (далее ЕС) и России является их значительное отставание от США и некоторых азиатских стран по уровню развития сектора новых технологий [9].

Конец XX и начало XXI вв. представляют собой отрезок времени, характерный для ведения политики полной поддержки в области фундаментальной науки и малого предпринимательства, которые должны были развивать инновации в производстве. Данное направление развивали МВФ и Всемирный банк. Тем не менее, данное направление инновационной политики не увенчалось успехом, с точки зрения распространения и введения инноваций в производственный цикл. И как справедливо заметил академик РАН В. М. Полтерович, «оказалось, что в Европе эта простая концепция не работает и требует пересмотра» [10].

Европейский союз в 2004 г. опубликовал доклад «Технологические платформы: от определения к общей программе исследований». Данный Доклад впервые определил: технологические платформы – как объединение представителей государства, бизнеса, науки и образования вокруг общего видения научно-технического развития и общих подходов к разработке соответствующих технологий.

Таким образом, европейские государства начали строить механизм взаимодействия государства, науки, образования и производства через технологические платформы.

Исследования зарубежного опыта функционирования технологических платформ, показали, что технологическая платформа – саморегулируемое сетевое объединение передовых научных организаций, лидирующих в отрасли производственных компаний, авторитетных некоммерческих организаций [11].

В 2006 г., по результатам работы технологических платформ, Европейская комиссия создала – Объединение технологических инициатив (JTI). В соответствии с направлением развития технологических платформ внутри каждой инициативы должно быть включено несколько технологических платформ.

В 2010 г. был опубликован доклад комиссии Европейского союза «Укрепление роли европейских технологических платформ в преодолении великих социальных вызовов, стоящих перед Европой». Таким образом, цель технологической платформы переносилась с технологического усиленного развития на удовлетворение общества. В качестве «возникших потребностей» перечислены:

энергетическая безопасность, изменение климата, чистые виды энергии, устойчивый транспорт, устойчивое потребление и производство, сохранение природных ресурсов, здравоохранение, социальная вовлеченность, глобальная бедность и т. д.

С 2011 г. в России в рамках «Стратегии инновационного развития России до 2020 года» [1] также выделяются технологические платформы. Таким образом, отечественная экономика внедряет на практику зарубежный передовой опыт и активизирует свой инновационный потенциал. Правительство Российской Федерации рассматривает технологические платформы как консультационные площадки, которые при поддержке государства могут формировать предприятия вместе с разработчиками, учеными и потребителями. На заседании правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям В.В. Путин заявил, что «Главным показателем успешности призван служить выпуск конкурентоспособной продукции. Платформы согласовывают направления развития технологий и определяют необходимый спектр отраслевых НИОКР. Однако сами технологические платформы – не канал распределения государственных денег».

Одновременно, при сравнительном анализе отечественных и европейских технологических платформ выявляются значительные различия. Так, европейские технологические платформы создавались по инициативе, в первую очередь, ассоциаций частного бизнеса, которые стремились создать механизм координации максимального числа научных и образовательных учреждений Европы вокруг интересующих бизнес направлений научных исследований [12]. В то время «на территории России должна действовать вся технологическая и промышленная цепочка – от проведения исследовательских работ до изготовления комплектующих и крупносерийного выпуска конечной продукции» и «речь сегодня идет о новой волне индустриализации» [13].

Одновременно, для перехода России на инновационное развитие можно использовать не только нововведения, но также перевод всего производства, основанного на переработке традиционных ресурсов, на новый технологический и организационный уровень. В настоящее время технологический уровень Российской Федерации значительно уступает технологическому уровню других стран и обостряет проблему отечественной конкурентоспособности на фоне ужесточающихся мировых экологических требований. Именно с этих позиций России необходимо формировать и активно развивать экологическую составляющую инновационного развития страны.

Например, по обеспеченности лесами Россия занимает первое место в мире, обладая примерно 1/5 мировых лесонасаждений и запасов древесины, а в отношении бореальных и умеренных лесов является практически монополистом, обладая 2/3 мирового запаса. По запасам, на Россию приходится более 1/5 мировых ресурсов пресных вод (без учета ледников и подземных вод). Среди стран обладающих наибольшим речным стоком (Бразилия, Россия, Канада,

США, Китай, Индия) по абсолютной величине наша страна занимает второе место в мире после Бразилии, по водообеспеченности на душу населения – третье (после Бразилии и Канады) [14]. Учитывая нарастающий дефицит пресной воды в мире, Россия могла бы занять одно из лидирующих позиций в мировой экономике по водоемкой продукции.

Сегодня на мировом уровне рассматривают возможность инновационного развития в экологии и внедрения полученных разработок в производство. В то же время на международной арене до сих пор существуют разногласия по поводу вкладов государств в развитие мирового климата. С точки зрения автора именно по этой причине до конца не сформирован документ, который сможет заменить положения Киотского Протокола.

Решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 3 августа 2010 г. был дан «старт» формированию технологических платформ в Российской Федерации как инструменту, направленному на ускорение внедрения перспективных технологий, поиску новых форм финансирования новейших разработок, включая механизмы государственно-частного партнерства. В результате были сформированы четыре технологические платформы в сфере энергетики: «Smart Grid», «Современные технологии в тепловой генерации», «Современные технологии в гидроэнергетике и возобновляемые источники энергии» и «Малая распределенная энергетика».

Осенью 2011 г. учитывая важность и потребность в решении возникших в России экологических проблем, Российский государственный гидрометеорологический университет (г. Санкт-Петербург) совместно с Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова и Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» выступили с инициативой формирования Технологической платформы «Технологии экологического развития». На начальной стадии формирования данной платформы Координационную группу возглавил помощник Министра экономического развития Российской Федерации Б. А. Моргунов. В соответствии с решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям под председательством В. В. Путина технологическая платформа «Технологии экологического развития» была внесена в утверждённый Правительственной комиссией перечень технологических платформ. Также следует отметить, что в Евросоюзе функционируют 35 технологических платформ. Но нет платформы, которая занималась бы проблемами окружающей среды. Автор считает, что данная ситуация в Европе стала результатом того, что все представители науки и производства, в своей деятельности учитывают экологическую составляющую.

Как видно из представленного реестра участников Технологической платформы «Технологии экологического развития» от 25 ноября 2011 г. стать участником технологической платформы могут все желающие организации, пройдя определенную процедуру. Сегодня платформа объединяет около 100 организаций: вузы, НИИ, проектные, консалтинговые, инжиниринговые компа-

нии, фонды, органы власти и т.д. В развитии данной платформы заинтересованы не только общественные экологические и научные учреждения, а также деловые круги. Например: ОАО «Газпром», ОАО «РусГидро», ОАО «Корпорация «Росхимзащита», ОАО «АЛРОСА» и многие другие. Данный перечень, несомненно, является свидетельством востребованности и практической применимости технологической платформы «Технологии экологического развития» на практике российских предприятий.

Цель данной платформы – обеспечение экологического развития Российской Федерации на новом технологическом уровне, внедрение инновационных технологий для решения задач охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности с учетом происходящих климатических изменений становятся приоритетными задачами устойчивого развития Российской Федерации в XXI в. Изучая цель, задачи, механизм формирования и регламент функционирования технологической платформы «Технологии экологического развития», автор отмечает:

1. Участники данного механизма формируют комплексное видение эколого-экономической системы, построенной на новых принципах взаимодействия производителей, потребителей и сохранности природных ресурсов.

2. Развитие данной технологической платформы приведет к тесному взаимодействию экосистемы с конечными пользователями.

Одновременно, кроме повышения инновационности отечественных предприятий внедрение проектов в рамках технологической платформы «Технологии экологического развития» может позволить решить в стране такие проблемы, как:

1. Загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод, земель, почв, объемы образования. Со сточными водами в поверхностные водные объекты Российской Федерации ежегодно поступает около 11 млн т загрязняющих веществ [15]. Так, в 2000 г. доля загрязняющих выбросов от автомобильного транспорта составляла менее 42%, а в 2009 г. – уже более 47% от общего объема выбросов [16].

2. Накопление отходов не только промышленных, но и бытовых. По данным Минприроды России, примерно на 15 % территории Российской Федерации, где проживает 60 % населения, качество окружающей среды является неудовлетворительным [16]. В России к настоящему моменту накоплено более 30 млрд т опасных отходов [17]. В основном они сформировались в результате промышленной деятельности.

3. Заброшенные территории находящихся в городской черте предприятий с расположенными на них токсичными отходами, которые занимают значительные площади земель. Это приводит к попаданию опасных химических веществ в грунтовые воды и, как следствие, к загрязнению поверхностных и подземных водных объектов и к последующему нарушению геохимического баланса территорий.

4. Несоответствие большого количества мест размещения отходов действующим экологическим и санитарным нормам, что приводит к негативному влиянию на окружающую среду.

5. Внедрение проектов технологической платформы будет способствовать не только развитию инновационных направлений в экологии, но и принесет значительный прирост ВВП за счет экономии и улучшения ситуации в окружающей среде. В России ежегодный экономический ущерб в результате ухудшения состояния окружающей среды составляет 4–6 % ВВП [18].

6. Переход на нормирование выбросов, сбросов, образования отходов по технологическим показателям (на единицу продукции) в соответствии с мировыми требованиями. Значительную опасность представляют бытовые отходы. На начало 2010 г. в Российской Федерации функционировало только 8 мусоросжигательных и 10 мусороперерабатывающих заводов, 37 мусоросортировочных комплексов [19].

7. Разработка передовых справочников доступных технологий (на основе аналогичных европейских справочников) по всем экологическим направлениям.

8. Введение единой системы регистрации разрешений для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную деятельность связанную с экологической опасностью.

9. Регламентация экологических требований, обязанностей и ответственности предприятий за обеспечение экологической безопасности производства на всех стадиях их жизненного цикла (геологоразведка, проектирование, строительство, эксплуатация, ликвидация и пр.).

10. Улучшение экологических показателей в целом по стране и особенно в ряде экологоопасных регионах. Президент Российской Федерации В.В. Путин подчеркнул, что в первую очередь на новые технологии надо перевести те отрасли, которые связаны с экологическими рисками: «Например, крупнейшие нефтеперерабатывающие заводы округа – Московский, Рязанский, Ярославский – расположены практически в черте городов. В ближайшие несколько лет будет проведена коренная модернизация всех этих нефтеперерабатывающих заводов. В современное оборудование и природоохранные мероприятия компании вложат около 118 млрд рублей, объем вредных выбросов уменьшится практически вдвое» [21].

11. Модификации системы экологических платежей в целях экономического стимулирования использования экологически ориентированных способов утилизации отходов.

Таким образом, именно через технологическую платформу «Технологии экологического развития», на наш взгляд, возможно обеспечить успех технологической модернизации отечественной экономики и переход страны на инновационное развитие.

Одновременно, наряду с безусловными положительными моментами указанными в регламенте и в Проекте реализации Технологической платформы

«Технологии экологического развития» хотелось бы добавить еще ряд принципиальных задач, которые, по мнению автора, будут способствовать гармонизации существующего сегодня законодательства, практических потребностей производства и их взаимосвязи с инновационными потребностями новой экономики:

Для полноценного внедрения и развития в России технологических платформ, по нашему мнению необходимо решить ряд следующих проблем:

1. Уточнить для участников проектов технологических платформ, кто будет курировать в госаппарате данное направление.

Например, в Евросоюзе существуют департаменты соответствующие направлениям работы технологических платформ. Именно данные департаменты опираясь на предложения, выдвинутые технологической платформой, формируют соответствующие программы развития для всего Евросоюза.

2. Более подробно раскрыть механизм финансирования инноваций в технологических платформах, с целью установления прозрачного механизма финансирования и предоставления гарантий потенциальным инвесторам в экологические проекты с инновационной составляющей.

3. В России существует риск малой активности участия частного бизнеса в технологических платформах. Для решения данной проблемы, автор предлагает создать специальные федеральные программы, содействующие развитию технологической платформы «Технологии экологического развития» по различным экологическим направлениям.

4. Разработать предложения по совершенствованию действующего российского законодательства в области использования природных ресурсов, управления отходами, мониторинга окружающей среды, оценки последствий изменений климата и адаптации экономики к этим изменениям в рамках технологической платформы с последующим их представлением Правительству.

5. Создать правила взаимодействия промышленного и исследовательского секторов.

6. В рамках технологической платформы «Технологии экологического развития» разработать правила учета образования и утилизации отходов, использования вторичных ресурсов.

7. Установить норматив качества окружающей среды с учетом состояния особенностей конкретных территорий.

8. Усилить информационную поддержку платформ.

9. Создать четкие предписания механизма финансирования технологической платформы на уровне государства.

Анализируя опыт внедрения технологических платформ в Европе, становится очевидным, что при введении технологической платформы «Технологии экологического развития» на условиях доступности и открытости всем производственным секторам экономики с целью последовательного внедрения инноваций во все сферы деятельности российских предприятий, позволит вернуть

России ряд конкурентных позиций на мировом рынке. При этом новая платформа «Технологии экологического развития» должна представлять стратегический интерес не только для России, но и для всей Европы, так как в рамках данной платформы будут представлены инновационные направления и разработки в области экологии, которые возможно использовать как в практике отечественных, так и зарубежных предприятий.

Литература

- Распоряжением Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года.
- Официальный сайт В.В. Путина URL: <http://www.putin2012.ru/events/151>.
- Приказ Президента Российской Федерации В. В. Путина от 30 марта 2002 г. Пр-576. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу.
- Стенографический отчёт о заседании президиума Государственного совета по вопросам совершенствования государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды, Москва, 27 мая 2010 года.
- Глазьев С. О стратегии модернизации и развития экономики России в условиях глобальной депрессии. URL: http://www.glazev.ru/econom_polit/269/.
- Clayton Christensen The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book, Paperback 2010.
- Быковский В.В. Инновационный ресурс повышения качества производства производственных систем: монография. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008.
- Орлов А.И. Менеджмент. – М.: Изумруд, 2003.
- Финансирование Инновационного Развития. Сравнительный обзор опыта стран ЕЭК ООН в области финансирования на ранних этапах развития предприятий / Пер. с англ. – СПб.: РАВИ, 2011.
- Полтерович В.М. Кризис экономической теории. Доклад на научном семинаре Отделения экономики и ЦЭМИ РАН «Неизвестная экономика», 2009.
- Технологические платформы и инновационная активно 2009/ URL: <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/200944>.
- Семинар ГУ ВШЭ «Европейский опыт формирования и функционирования технологических платформ и перспективы распространения лучшей практики в России» 24.12.10 г.
- Выступление В.В. Путина на съезде машиностроителей России в г. Тольятти, 11 мая 2011 г. URL: <http://premier.gov.ru>
- Совокупные водные ресурсы страны. Федеральный портал URL: <http://www.protown.ru/information/hide/2820.html>.
- Проект реализации Технологической платформы «Технологии экологического развития» Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество», Москва, 2011 г.
- Россия и страны мира. 2009–2011: Стат. сб. / Росстат. – М., 2009–2011.
- Заседание президиума Госсовета, Дзержинск, 9 июня 2011 года.
- Доклад Всемирного Банка «Состояние Российской системы управления окружающей средой: Пути ее модернизации», 2009 г.
- Данные Роспотребнадзора по состоянию на 01.01.2010 г. URL: www.rospotrebnadzor.ru
- Боголюбова Н.М. Проблемы международного экологического сотрудничества во внешней культурной политике России // Уч. зап. РГМУ, 2010, № 15, с. 211–219.
- Выступление В.В. Путина на межрегиональной конференции партии «Единая Россия» по Стратегии развития Центральной России до 2020 года, 4 марта 2011, Брянск.

Е.П. Истомин, Л.С. Слесарева, А.Г. Соколов, Е.М. Зоринова

**УПРАВЛЕНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
ПРИМОРСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
С УЧЕТОМ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ**

E.P. Istomin, L.S. Slesareva, A.G. Sokolov, E.M. Zorinova

**MANAGEMENT OF MARITIME TERRITORY RECREATION
POTENTIAL WITH REGARDS TO NATURAL RISKS**

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с оценкой рекреационного потенциала территорий. Проанализированы характерные особенности основных факторов рекреационного потенциала территорий. Выявлена и обоснована необходимость их учета, как определяющих специфику управления и оценки рисков использования потенциала территории. В том числе в работе проведен анализ факторов внешней и внутренней среды территории и дана характеристика конкурентоспособности территории. Особое внимание в статье уделено классификации рисков использования рекреационного потенциала территории. Дана комплексная оценка обобщенного показателя риска комплекса событий, влияющих на реализацию рекреационного потенциала территории.

Ключевые слова: рекреационный потенциал территории, управление рекреационным потенциалом территории, конкурентоспособность территории, классификация рисков.

Questions regarding estimation of recreation potential of the territory are case of point. Peculiarities of territory recreation potential basic factors are analyzed. Necessity of their calculation as a determinative management specific and estimation of territory recreation potential was exposed and grounded. Outdoor environment and internal environment of the territory were analyzed and competitiveness of the territory was described as well. Special attention was devoted to classification of risks regarding territory recreation potential use. Overall index of risks influencing on realization of territory recreation potential was estimated.

Key words: management of territory recreation potential, territory recreation potential, competitiveness of the territory, classification of risks.

В решении задач удовлетворения рекреационных потребностей населения заметное место занимают приморские территории (рекреационные комплексы), их доля в структуре рекреационных мероприятий в отдельных странах достигает 80 %. Приморские территории формируют определенную ориентацию потребительского спроса, функциональный характер управленческой деятельности и соответствующие возможности развития территории. Рациональное управление рекреационным потенциалом приморских территориальных систем предполагает выявление основных факторов, определяющих специфику управления и оценку рисков использования потенциала территории.

Рекреационный потенциал территории включает совокупность ресурсов, средств и возможностей на данной территории, обеспечивающих максимально достижимый уровень отдыха и восстановления сил человека. Специфика рекре-

ационного потенциала заключается в том, что он является неотъемлемой частью экономического потенциала территории и его использование должно опираться на соответствующие условия хозяйственной деятельности.

Можно выделить основные **факторы рекреационного потенциала территории**.

Рекреационные ресурсы – включают ресурсы всех видов, которые могут использоваться для удовлетворения потребностей населения в отдыхе и туризме. К ним относятся элементы природных, природно-технических и социально-экономических геосистем, которые при соответствующем развитии производительных сил могут быть использованы для организации рекреационного хозяйства. На основе рекреационных ресурсов возможна организация отраслей хозяйства, специализирующихся на рекреационном обслуживании. К рекреационным ресурсам относятся:

- природные комплексы и их компоненты (рельеф, климат, водоемы, растительность, животный мир);
- культурно-исторические достопримечательности;
- элементы экономического потенциала территории: инфраструктура, трудовые ресурсы и др.

Управленческие факторы, определяющие уровень и целевую направленность деятельности органов управления на конкретной территории. Ориентация и возможности данного фактора характеризуют управленческий потенциал территориального рекреационного комплекса, который зависит от стратегического видения перспектив, объема и характера работ, с которыми могут справиться органы государственного управления территории. К управленческим факторам следует отнести:

- стратегию развития территории (место и роль рекреационного потенциала);
- характеристики личности руководителя территории и его команды;
- опыт работы;
- готовность к риску.

Функциональные факторы, включающие уровень потенциальных возможностей органов управления для реализации рекреационного потенциала территории. К ним можно отнести:

- профессиональный уровень и квалификацию персонала;
- уровень развития научных и материальных основ рекреационной деятельности;
- опыт рекреационной деятельности.

Высокая динамика внешней среды приводит к тому, что **управление рекреационным потенциалом территории** как стратегическое решение ориентируется на изменение возможностей, что предполагает оценку внутренних возможностей (существующий рекреационный потенциал территории) и прогнозирование характера изменения возможностей, условий внешней среды.

Оценка потенциала территории необходима для управления размещением производительных сил, распределением ресурсов и сохранением окружающей среды. В оценку потенциала включаются также, кроме описания количества и качества имеющихся ресурсов, потребительский интерес в их отношении и возможный доход от использования ресурсов. Рекреационное использование приморских территорий подразумевает комплекс мероприятий для восстановления активной жизнедеятельности людей, положительно сказывающийся на производительности труда и духовном развитии человека. Наиболее распространенными видами отдыха на приморских побережьях в летний период являются купание, принятие солнечных и воздушных ванн, пешие и велосипедные прогулки, экскурсии, спортивные игры, различные виды туризма, сбор грибов и ягод, рыбалка, охота. Акватория используется для купания, любительского рыболовства, парусного и водно-моторного спорта, катания на лодках и водных лыжах, водного туризма, теплоходных экскурсий. В зимнее время на акваториях, покрытых льдом, организуется катание на лыжах, санях, коньках, осуществляется подледный лов рыбы, развивается буерный спорт и др.

Описание потенциала территории включает также пространственное размещение производительных сил, с точки зрения состояния инфраструктуры и охраны окружающей среды (туристические и рекреационные зоны). Использование производительных сил должно обеспечиваться соответствующими энергетическими возможностями (электроэнергия и тепло) и биологическим разнообразием территории. Рассмотрим характеристику рекреационного потенциала территории на примере Санкт-Петербурга [1, 2].

Приграничное и приморское положение Санкт-Петербурга, его близость к Европейскому союзу и Москве в сочетании с ростом международной торговли будут способствовать развитию Санкт-Петербурга как важнейшего транспортного узла на направлении Россия – Европейский союз. Благоприятная экономическая конъюнктура позволит провести модернизацию существующих специализированных мощностей Большого порта Санкт-Петербург.

Наличие дворцовых, парковых ансамблей, памятников истории и культуры мирового значения в сочетании с ростом мирового туризма должно быть использовано для увеличения посещаемости Санкт-Петербурга туристами, что предполагает развитие туристической инфраструктуры в Санкт-Петербурге.

Многоотраслевая структура экономики и наличие сектора производства высокотехнологичной, наукоемкой продукции в сочетании с высоким темпом институциональных и структурных реформ в Российской Федерации выдвигают Санкт-Петербург на одну из ведущих по конкурентоспособности позиций в стране и Балтийском регионе, создают предпосылки для привлечения и успешного развития перспективных отраслей экономики.

Совершенствование миграционного законодательства и увеличение мобильности населения способны сгладить проблемы рынка труда, обусловленные старением населения и низкой продолжительностью жизни в Санкт-Петербурге.

Рост инвестиций в экономику, инфраструктуру и науку Санкт-Петербурга, успешная защита прав собственности позволяют произвести модернизацию основных фондов с ликвидацией неэффективных рабочих мест.

В целом во внешней и внутренней среде Санкт-Петербурга (табл. 1) содержится значительный потенциал для успешного развития рекреационного потенциала территории. Поэтому деятельность органов государственной власти Санкт-Петербурга должна быть целенаправленно ориентирована на использование имеющихся преимуществ и благоприятных возможностей одновременно с исправлением обнаруженных недостатков и предупреждением потенциальных угроз.

Таблица 1

Анализ рекреационного потенциала Санкт-Петербурга (до 2025 г.)

Внутренние факторы	Преимущества Санкт-Петербурга	Недостатки Санкт-Петербурга
1	2	3
Геополитическое положение	Международная известность и большой авторитет Санкт-Петербурга. Приграничное и приморское положение, близость к Москве и странам Европейского союза. Расположение на пересечении водных, железнодорожных, автомобильных, авиационных и трубопроводных путей	Отдаленность от наиболее важных деловых центров Европы. Климатические и гидрогеологические условия, угроза наводнений. Малые глубины, отмели, замерзание восточной части Финского залива, затрудняющие судоходство
Население. Общество	Большая численность населения (наличие емкого рынка труда и потребления). Относительно высокий образовательный и культурный уровень. Низкий уровень социальной конфликтности. Приверженность большинства населения демократическим ценностям. Отсутствие серьезных политических конфликтов	Старение населения, низкая продолжительность жизни, невысокий уровень рождаемости. Большая имущественная дифференциация. Высокий уровень преступности. Рост числа случаев проявления национальной, расовой и религиозной нетерпимости
Пространственная организация и ее административное регулирование	Большая территория и значительная протяженность береговой полосы. Наличие дворцовых, парковых ансамблей, памятников истории и культуры мирового значения. Наличие территориальных резервов для строительства жилья, общественно-деловых и производственных объектов (в границах субъекта Российской Федерации). Наличие земельного кадастра	Высокая доля промышленной застройки в центральных районах Санкт-Петербурга. Диспропорции в плотности жилой застройки, обеспеченности общественно-деловыми территориями и объектами в отдельных районах Санкт-Петербурга. Незавершенность процесса оформления границ земельных участков на значительной части территории Санкт-Петербурга
Правовая среда	Эффективное бюджетное, налоговое и инвестиционное законодательство	Сложная и длительная процедура предоставления земельных участков и иных объектов недвижимости для строительства и реконструкции

1	2	3
Городская среда и инфраструктура	Относительно высокий уровень инженерного и энергетического обеспечения жилищного фонда и нежилого фонда. Разнообразие видов жилья, активный жилищный рынок, наличие системы городских жилищных сертификатов. Наличие пригородных рекреационных зон, богатство водных ресурсов. Развитая система подземного и различных типов наземного общественного пассажирского транспорта	Физический износ большинства зданий и инженерной инфраструктуры в центре Санкт-Петербурга, дефицит инженерно подготовленных территорий для нового строительства. Недостаток мощностей по утилизации и переработке отходов. Перегруженность улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры. Крайне медленные темпы строительства новых станций метрополитена. Неудовлетворительное состояние окружающей природной среды. Недостаточное количество пожарных депо, слабая материальная и кадровая база противопожарной службы
Экономика	Многоотраслевая структура экономики. Наличие сектора производства высокотехнологичной, наукоемкой продукции. Наличие конкурентоспособных и быстроразвивающихся организаций транспорта. Высокий уровень развития финансово-банковской инфраструктуры, высокий кредитный рейтинг. Наличие современной торговой сети и емкого потребительского рынка. Высокий уровень конкурентоспособности ряда производств. Высокий туристский потенциал. Высокий уровень культуры Санкт-Петербурга, являющийся важным экономическим и градообразующим фактором	Недостаточно высокая экспортная ориентированность экономики. Значительный износ основных производственных фондов. Дефицит квалифицированных трудовых ресурсов рабочих и инженерно-технических специальностей. Недостаточно высокий уровень доходов населения. Слабое продвижение продуктов Санкт-Петербурга, в том числе туристических, на внешнем рынке. Большое число потенциально опасных производственных объектов
Социальная сфера	Относительно высокий уровень развития систем образования, здравоохранения, социальной защиты населения, культуры и молодежной политики. Активное развитие негосударственного сектора в области образования, медицины и социального обслуживания	Недостаточное финансирование и слабая материальная база учреждений систем образования, здравоохранения и культуры. Недостаточный уровень обеспеченности учреждений социальной сферы квалифицированными кадрами

Прогнозирование характера изменения возможностей включает оценку привлекательности бизнес-климата и выявление системы ключевых компетенций, которые реализуются в стратегии развития территории и оценке уровня рисков.

Анализ факторов внешней и внутренней среды (табл. 2, 3) позволяет выявить основные ключевые компетенции, необходимые для управления развитием рекреационного потенциала и противоречия заинтересованных лиц.

Таблица 2

Основные факторы внешней среды территории

Группа факторов	Характеристики
Политические факторы	Стабильность внутренней политики и внешнеполитических отношений; расширение международных политических, экономических, научных, культурных связей и сотрудничества, развитие процессов международной интеграции; упрощение паспортного и таможенного режима; социальная политика государств; законодательные и политические инициативы отдельных стран
Социально-экономические факторы	Характер общественно-экономического строя и экономической ситуации в регионе; степень развития производительных сил; объем и структура свободного времени; материальное благосостояние и характеристика качества жизни; культурный уровень, профессиональная и образовательная структура населения; инвестиционная политика в регионе, финансирование развития туристской инфраструктуры; уровень экономической и физической безопасности. инфляция; рост преступности и безработицы, кризисы, нарушение условий товарообмена; отсутствие планирования в использовании природных и трудовых ресурсов
Демографические факторы	Численность, территориальное распределение населения и его возрастная структура, степень урбанизации
Экологические и медико-биологические факторы	Качество среды постоянного проживания и состояние здоровья населения
Социально-психологические факторы	Ценностные ориентации; влияние традиций и наличие определенных стереотипов поведения; религия; повышение престижа и рост социального статуса индивида; информационные средства и реклама
Природные факторы характеризуются	Разнообразием климатических, ландшафтных условий; экзотичностью флоры и фауны; наличием уникальных рекреационных ресурсов
Культурно-исторические факторы	Отражают богатство материальной и духовной культуры народов и включают: уникальные достопримечательности; коллекции исторических музеев
Материально-технологические факторы	Определяются уровнем техники и технологии в отраслях транспорта, строительства, связи, коммуникаций; в средствах массовой информации; системе коммунально-бытовых служб, торговли и общественного питания

Противоречия заинтересованных групп при управлении территорией

Субъекты противоречий	Виды противоречий
1	2
Собственники – собственники	Разные стратегии. Разногласия по поводу ориентаций на статус или на прибыль. Различие в приоритетах: текущая или стратегическая доходность. Разногласия при распределении прибыли на разные цели. Разные группы собственников
Собственники – бизнес	Разногласия по поводу распределения прибыли на новое оборудование или на дивиденды акционерам. Различие в приоритетах: капитализация или развитие бизнеса. Собственники надрыдают бизнес, экономя на нем. Собственники не знают бизнеса, предъявляют нереалистичные требования к бизнесу. Собственник заинтересован в каком-то клиенте, который для бизнеса убыточен. Собственник закрывает бизнес
Собственники – руководители	Затраты на управленческие технологии не понятны собственникам. Разные пути развития бизнеса. Центр прибыли – мой, центр затрат – твой. Собственники засылают своих людей в руководство
Собственники – персонал	Тратить прибыль на дивиденды или на зарплату. Собственники хотят отличных работников с малой зарплатой. Условия труда и экономия. Персонал – стабильность, собственник – изменения, реорганизация
Бизнес – бизнес	Продажи с отсрочкой платежа некоторым клиентам и прибыльность. Конфликт между направлениями бизнесов (из-за ресурсов, клиентов). Оптовая торговля конкурирует с собственной розницей. Либо рост, либо развитие клиентской базы
Бизнес – руководители	Бизнесу нужна динамика, а руководитель ориентирован на стабильность. Бизнес нуждается в реорганизации, но для руководителей – это дополнительное напряжение. Закрытие некоторых производств ради рентабельности бизнеса в целом. Руководители отвлекают ресурсы от бизнеса на собственные нужды (увеличение управленческого персонала, представительские расходы, новую оргтехнику). Ориентация на карьеру и возможности бизнеса
Бизнес – персонал	Бизнес требует квалификации, технологической дисциплины, некоторые работники сопротивляются. Бессубъектность персонала как тормоз развития бизнеса. Несовместимость личности и функции. Бизнес требует средств на развитие, а персонал – на социальные программы. Рентабельность бизнеса предусматривает увольнения
Руководители – руководители	Борьба руководителей разных служб за ресурсы статусы, полномочия. Внутрифирменная конкуренция за клиентов
Руководители – персонал	Руководители стремятся обеспечить собственникам доходность, подчиненные требуют роста зарплаты. Спонтанное управление и требование порядка. Руководители требуют полной отдачи, персонал работает по минимуму

1	2
Персонал – персонал	Частные группы интересов за счет других. Противоречие интересов между: зарабатывающими и обеспечивающими подразделениями, закупающими и торгующими, инноваторами и консерваторами

Создание *благоприятного бизнес-климата* предполагает:

1) размещение факторов производства, их качество и степень специализации должны рациональным образом сочетаться с принятыми стратегическими решениями. Значимые факторы включают: природные рекреационные ресурсы и памятники исторического наследия, человеческие ресурсы, финансовые ресурсы, объекты инфраструктуры туризма и др.;

2) обеспечен необходимый инвестиционный климат и соответствующая политика региональных властей, реализующие в первую очередь свободу конкурентной борьбы в отраслях, связанных с рекреационным потенциалом;

3) условия спроса на рекреационные услуги в регионе должны предполагать наличие требовательных местных потребителей, уникальных потребностей клиентов, специализированный спрос на услуги региональных предприятий, уровень которых позволяет предлагать их для использования на глобальном рынке;

4) высокий уровень развития связанных или поддерживающих отраслей рекреационного хозяйства, к которым относят предприятия сферы гостеприимства, общественного питания, транспорта, культуры, отдыха и развлечений и т.п.

Благоприятный бизнес-климат позволит решить основную задачу формирования привлекательного имиджа рекреационной территории.

Ключевые компетенции системы управления рекреационной территорией включают две составляющие: внешнюю (воспринимаемая ценность для потребителя, уникальность элементов, потенциал для выхода на новые рынки и др.) и внутреннюю (технологии организации, потенциал развития и др.). Таким образом, можно определить критерии конкурентоспособности рекреационного потенциала территории:

1) соответствие среде. Конкурентоспособная территория должна соответствовать условиям конкуренции, рыночным возможностям и угрозам, другим аспектам внешней среды. Выбор управляющих воздействий (управленческих решений) должен учитывать сильные и слабые стороны территории, компетентность управления, конкурентные возможности;

2) способность обеспечить стабильное сложное конкурентное преимущество;

3) эффективность – конкурентоспособность территории многократно повышает эффективность ее использования (улучшением таких интегральных показателей, как прибыльность, рыночная позиция и др.).

Стратегия развития территории строится с учетом некоторых объективных противоречий:

– создание равных конкурентных условий для предприятий региона при обеспечении приоритетности их развития и ограничении доступа извне (повышении барьеров);

- расширение конкурентоспособности малых производителей (чистая конкуренция, ограничение монополизма) при необходимости роста масштабов производства и усилении потенциала производителей (интеграция);
- сохранение и развитие рекреационного потенциала региона при условии расширения объемов и доступности достопримечательностей;
- увеличение валового регионального продукта при создании условий для роста жизненного уровня населения и его покупательной способности;
- согласование интересов региона с интересами федерального центра.

Для оценки сложности конкурентного преимущества можно использовать систему количественных характеристик (табл. 4) [3].

Таблица 4

Основные характеристики конкурентоспособности территории

Характеристика	Обозначение	Комментарии
Реализуемые направления деятельности	$i = 1, \dots, I$	Вид производственно-хозяйственной деятельности с четко выраженной специализацией или целью (предназначением). Основные признаки направления – определенный круг клиентов и заказчиков (сегмент рынка), потенциал которого позволяет организовать самостоятельную рекреационную деятельность, виды продукции и используемые технологии (I – потенциальное количество направлений деятельности)
Виды выпускаемой продукции	$j = 1, \dots, J$	J – потенциальное количество видов продукции, которое способно выпускать предприятия, расположенные на территории для i -го направления деятельности
Рынки сбыта	$r = 1, \dots, R$	R – потенциальное количество рынков (сегментов), для которых может представлять интерес j -я продукция
Отрасли	$s = 1, \dots, S$	S – потенциальное количество отраслей, с которыми может быть связана рекреационная деятельность
Связи с элементами внешней среды (внешние связи)	$m = 1, \dots, M$	M – потенциальное количество связей, необходимое для реализации рекреационной деятельности в соответствующей отрасли и сегменте рынка
Реализуемые функции (виды деятельности), необходимые для создания j -го вида продукции	$\Phi = \Phi_0, \dots, \Phi_n$	n – количество потенциальных цепочек ценности предприятия, обеспечивающих рекреационную деятельность. Цепочка ценности представляет собой последовательность видов деятельности (операций), добавляющих в исходные ресурсы соответствующую ценность для потребителя
Связи между элементами предприятия (внутренние связи)	$c = 1, \dots, C$	C – потенциальное количество связей, необходимое для деятельности предприятий рекреационной территории
Уровни управления на предприятии	$l = 1, \dots, L$	L – потенциальное количество уровней управления, необходимое для реализации принятой стратегии

Управление рекреационной территорией предполагает объединение специфики регионального и отраслевого управления в рыночных российских условиях с учетом транснационализации предпринимательства в рекреационной деятельности.

Общая задача управления рекреационным потенциалом территории заключается в том, чтобы возникающие, предполагаемые обязательства точно соответствовали имеющемуся потенциалу. Зная потенциал территории на стратегический период, можно рассчитать обязательства на этот период. Потенциал территории (богатство) возрастает, если убывающие ресурсы замещаются благами, обладающими большей ценностью, окружающая среда и качество жизни вырастают на величину большую, чем затраты на распределение и использование ресурсов. Задачей стратегического управления потенциалом территории является не только сохранение ее стоимости, но и обеспечение наращивания потенциала территории при осуществлении любой деятельности. Таким образом, рекреационный потенциал как объект управления может быть охарактеризован, с одной стороны, достигнутым уровнем социально-экономического развития территории, а с другой – возможностями его дальнейшего повышения, сохранения и использования, для чего необходимы определенные условия.

Наличие высокого рекреационного потенциала территории является необходимым, но недостаточным условием его реализации, что связано с существованием определенных **рисков** – возможности наступления событий с отрицательными последствиями. Оценка рисков управления рекреационными территориями должна быть ориентирована на выявление ключевых факторов или проблем, своевременность принятия управленческих решений и повышение эффективности прогнозирования. В табл. 5 приведена **классификация рисков** управления рекреационными территориями.

Таблица 5

Классификация рисков управления рекреационными территориями

Признак	Характеристика риска	Особенности оценки и управления
Природные	Риски, связанные с неблагоприятными природными явлениями	Оценка статистическими методами, управление невозможно – предотвращения ущерба и ликвидацией последствий
Политические	Риски, связанные с политическими решениями и действиями органов управления (федеративных, территориальных)	Оценка методами стратегического менеджмента, государственного управления. Управление возможно на основе анализа опыта, повышения качества системы управления
Хозяйственные (экономические)	Риски, связанные с результатами решений и действий хозяйствующих субъектов (организаций, домохозяйств)	Оценка экономическими методами, управление возможно за счет совершенствования систем управления хозяйственными субъектами
Психологические	Риски, связанные с поведением и принятием решений потребителей рекреационных услуг	Оценка экономико-психологическими методами, управление поведением потребителей (маркетинг, реклама, PR и др.)

Анализ приведенной классификации показывает, что управление рекреационным потенциалом территории предполагает возможность ограничения имеющегося потенциала факторами, связанными:

- с природными условиями и явлениями, которые являются неуправляемыми, но могут привести к наиболее тяжелым последствиям;
- с социально-экономическими условиями, которые являются управляемыми, но выбор управляющих воздействий достаточно сложен, а последствия прогнозируемыми с определенной степенью вероятности;
- с психологией человека, групп и социумов, которые являются управляемыми, но прогноз последствий управленческих решений многовариантен и сложнопредсказуем.

В качестве обобщенного показателя риска комплекса событий, влияющих на реализацию рекреационного потенциала территории, может быть рекомендован средний показатель риска, характеризующий относительную величину нереализованного потенциала (1).

$$R_{\text{общ}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i}{n}. \quad (1)$$

где $Q_i = 1 - P(x_i \in D_i)$ – вероятность наступления риска по i событию; x_i – события, влияющие на потенциал рекреационной территории; D_i – границы допустимых значений для параметров x_i ; k_i – коэффициент ущерба; n – количество исследуемых параметров.

Данный показатель принимает значения от 0 до 1 и не несет в себе особенности ущербов. В тоже время – это показатель, который определяет уровень возможных потерь от комплекса прогнозируемых событий, приводящих к ущербу.

Долевой показатель показателя риска события, влияющего на реализацию рекреационного потенциала территории, может быть определен из соотношения (2), который является индикатором значимости i -го события.

$$IR_i = \frac{Q_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i}. \quad (2)$$

Для событий, описываемых с помощью параметрических моделей, расчеты Q_i и k_i могут осуществляться по методикам, представленные в работах [3,4,5].

Относительный показатель ущерба k_i показывает на потери рекреационного потенциала при наступлении i -го события и представляет собой отношение величины фактического ущерба к величине максимально возможного ущерба (не более значения потенциала). В зависимости от классов рисков управления рекреационными территориями методы оценки данного показателя также будут различными.

Для событий, приводящих к снижению рекреационного потенциала, которые могут быть описаны случайными процессами $x_i(t)$ и допустимыми значениями для них C_i , тогда

$$k_i = \frac{J_i - C_i}{J_{\max}}, \quad (3)$$

где $I_i = \int_{t_0}^{t_3} x_i(t) \cdot dt$ – интеграл “Ито”, рассчитываемый во временном интервале от t_0 до t_3 при наличии хотя бы одной реализации случайного процесса $x_i(t)$; I_{max} – максимально возможное снижение рекреационного потенциала от i -го события.

Литература

1. Концепция социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2025 года.
2. Постановление Правительства Санкт-Петербурга «О Программе развития Санкт-Петербурга как туристического центра на 2005–2010 гг. (с изменениями на 1 июня 2010 г.)» от 17 октября 2005 г. № 1541.
3. Соколов А.Г. Анализ решений при управлении бизнесом. – СПб.: Андреевский изд. дом, 2011. – 189 с.
4. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Оценка риска экстремальных гидрометеорологических явлений // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 16, с. 14-22.
5. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Применение стохастических моделей для прогнозирования рисков в геосистемах // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 17, с. 145-150.
6. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. О некоторых вопросах моделирования поведения ГИС // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 20, с. 207-211.

Д.Х. Сабанчиева

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ-ПРИРОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

D.H. Sabanchieva

THE ECONOMIC SECURITY OF BUSINESS ENTITIES THAT USE NATURAL RESOURCES

В статье рассматривается проблема обеспечения экономической безопасности предприятий-природопользователей. Проведена классификация предприятий природопользователей. Рассмотрены угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей, связанные с государственным регулированием сферы природопользования.

Ключевые слова: экономическая безопасность, угрозы, природопользователи.

The problem of ensuring the economic security of enterprises that use natural resources. The classification of natural resource companies. Discussed the threats to the economic security of enterprise-nature related to the state regulation sphere of nature.

Key words: economic security, threat, nature.

Деятельность предприятий-природопользователей традиционно рассматривается с позиций обеспечения охраны окружающей среды, повышения эффективности использования природных ресурсов. В таких исследованиях интересы предприятий-природопользователей отходят на второй план, и о проблеме обеспечения экономической безопасности разговоров не ведется. Не претендуя на приоритет частных интересов предприятий-природопользователей по сравнению с интересами общества и государства в сфере экологии, полагаем, что анализ экономической безопасности хозяйствующих субъектов, чья деятельность непосредственно связана с использованием природных ресурсов, поможет не только данным субъектам, но и государству, в части разработки таких мер организационного и экономического воздействия на природопользователей, которые, с одной стороны, позволят реализовывать свою прямую цель – обеспечение экологической безопасности страны, эффективная охрана окружающей среды и рациональное использование ограниченных природных ресурсов, а с другой, будут реализуемы предприятиями, то есть не будут снижать существенно уровень их экономической безопасности.

Активное обсуждение проблем экономической безопасности России идет более 10 лет. В 2000-е гг. появились даже учебные курсы «Экономическая безопасность», используемые для преподавания во многих вузах России. Однако в дискуссиях и в литературе по этой проблематике осталось еще много пробелов [5].

Полагаем, что экономическая безопасность как явление объективной действительности не может возникнуть и существовать само по себе, а является результатом согласованной деятельности различных субъектов. В этой связи

речь должна идти об экономической безопасности в сферах деятельности конкретных субъектов системы обеспечения экономической безопасности. Так система обеспечения экономической безопасности не станет действенным инструментом государственной политики, если не будут конкретизированы предмет, объект, цель, задачи и методы обеспечения экономической безопасности конкретных субъектов (Минфин РФ, ФСБ РФ, МВД РФ и т.п.), а также в конкретных сферах и отраслях экономики (в отраслях материального производства, в финансовой сфере и т.п.) [6].

Поэтому далее в соответствии с целью и задачами нашей работы мы рассмотрим и конкретизируем понятие и содержание экономической безопасности хозяйствующих субъектов-природопользователей (или предприятий-природопользователей).

Прежде всего, стоит определиться с тем, кто из хозяйствующих субъектов подпадает под категорию предприятий-природопользователей.

Формы природопользования осуществляются в двух видах использования природы: общего и специального природопользования.

Общее природопользование осуществляется субъектами (физическими и юридическими лицами) в силу принадлежности им естественных (гуманитарных) прав, возникающих и существующих как результат их рождения и существования (пользование атмосферным воздухом для дыхания, водой – для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд и т.д.).

Специальным природопользованием признается такое, которое реализуется физическими и юридическими лицами на основе разрешений компетентных органов государства. Оно носит целевой характер. Специальное природопользование связано с потреблением (использованием) природного ресурса. В данном случае под потреблением (использованием) природного ресурса понимается использование «части материальных благ, которая прямо добывается из окружающей среды без прохождения через одну или более стадий производства» [8]. Далее, применяя термин природопользование, мы будем иметь в виду именно специальное природопользование.

Однако для целей разработки проблемы экономической безопасности предприятий-природопользователей данной степени конкретизации хозяйствующего субъекта, выступающего объектом обеспечения экономической безопасности, не достаточно. Поэтому далее проведем классификацию предприятий природопользователей по другим критериям-признакам.

По видам используемых объектов природопользование подразделяется:

- на землепользование;
- водопользование;
- лесопользование;
- пользование недрами;
- пользование животным миром;
- использование атмосферного воздуха.

Деятельность субъектов-пользователей выделенными выше природными ресурсами имеет свои особенности, связанные как с естественными условиями хозяйствования, так и со специальными государственными методами воздействия, которые варьируются в зависимости от используемых ресурсов.

По способу использования ресурсов предприятия-природопользователей можно разделить:

- на субъекты, использующие природные ресурсы в качестве исходного сырья;
- субъекты, использующие природные ресурсы в качестве среды (территории) функционирования;
- субъекты, использующие природные ресурсы в качестве объекта для размещения отходов хозяйственной деятельности;
- субъекты, использующие природные ресурсы для прочих целей.

Для каждого вида используемых природных ресурсов можно выделить конкретные способы их использования, в соответствии с которыми также можно классифицировать предприятия-природопользователи.

Так, например, недропользователи могут быть разделены [7]:

- на хозяйствующие субъекты, занятые добычей полезных ископаемых;
- хозяйствующие субъекты, занятые строительством и эксплуатацией подземных сооружений;
- хозяйствующие субъекты, занятые геологическим изучением недр (мониторинг подземных вод, мониторинг экзогенных геологических процессов) и др.

По воздействию на окружающую среду предприятия-природопользователи можно разделить:

- на субъекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду;
- субъекты, оказывающие нейтральное воздействие на окружающую среду;
- субъекты, оказывающие положительное воздействие на окружающую среду.

Для целей настоящей статьи объект анализа ограничен субъектами, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду.

Следует отметить, что тема обеспечения экономической безопасности предприятий, как таковых, широко представлена в научной литературе. Поэтому останавливаться на анализе понятия «экономической безопасности предприятия» не имеет смысла.

Отметим лишь, что зачастую экономическая безопасность предприятий рассматривается как составная часть национальной экономической безопасности или экономической безопасности государства (страны). Конечно, предприятия, являясь основной хозяйственной единицей, выступают главными созидателями продукции (товаров, работ, услуг), предоставляют рабочие места, участвуют в формировании ВВП и способствуют экономическому росту[10]. В таком ракурсе утверждение о наличии прямой корреляционной связи экономической безопасности предприятий и экономической безопасности государства справедливо. Однако можно привести и несколько иные аргументы, ставящие под сомнение данный тезис.

Отношения предприятий и государства, как показывает действительность, являются далеко не тождественными по следующим позициям:

1) *налоги*. Для государства они являются главным источником дохода бюджета, а для предприятий – значимой статьёй затрат. Соответственно явно противоположны и целевые функции данных субъектов относительно величины налогов. Уклонение от уплаты налогов иногда можно рассматривать в качестве инструмента обеспечения экономической безопасности предприятий;

2) *перспектива принятия управленческих решений*. Если для государства управленческие решения носят, как правило, долго- и среднесрочные перспективы, то для отдельных граждан, управляющих предприятиями, решения нацелены на краткосрочную перспективу. Этому есть объективная причина, а именно тот факт, что длительность функционирования государств, как правило, больше, чем у человека или юридического лица;

3) *законы, нормы, правила*. Государство – основной источник норм и предписаний, которые, в том числе, регулируют и деятельность субъектов хозяйствования. Для предприятий нормы, выступают благом, лишь в том случае, если они эффективны. Но в любом случае следование установленным нормам и правилам сопряжено с издержками, величина которых зависит от эффективности данных норм. Поэтому в настоящее время актуальными становятся исследования, в которых оппортунистическое поведение хозяйствующих субъектов рассматривается в качестве способа обеспечения экономической безопасности [3, 4];

4) *отношение к окружающей природной среде*. Для государства окружающая природная среда (во всяком случае, формально) выступает в качестве общественного блага, которое необходимо охранять, ресурсы которого необходимо использовать бережно и рационально. Для хозяйствующих субъектов окружающая природная среда – это, прежде всего, источник ресурсов, а следовательно, и прибыли.

Особенно остро данные противоречия видны в сфере природопользования.

Анализируя экономическую безопасность системы любого уровня, нельзя не коснуться угроз, под которыми следует понимать явления или действия, которые деструктивно воздействуют (реальные) или могут воздействовать (потенциальные) на экономическую систему и создающие опасность для ее развития [11].

Угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей следует разделить на два блока. Первый блок – это угрозы экономической безопасности, характерные для любого хозяйствующего субъекта, вне зависимости от наличия или отсутствия статуса природопользователя. Второй блок – это угрозы экономической безопасности, присущие непосредственно и только природопользователям. Данные угрозы наиболее важны для нас. Назовем этот блок статусными угрозами. Их также целесообразно разделить на угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей в зависимости от вида используемого природного ресурса и способа его использования.

В качестве основной и первостепенной угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей можно выделить ограниченность и истощаемость используемых природных ресурсов. Период функционирования хозяйствующего субъекта-природопользователя (а следовательно, и его экономическая безопасность), в первую очередь, ограничен временем наличия используемого природного ресурса в том качественном и количественном состоянии, которое позволяет его использовать.

Также в качестве угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей можно выделить **административную нагрузку**, величина которой на предприятие возрастает при наличии статуса природопользователя. В данном случае речь идет о более жестком государственном регулировании природопользования, обусловленном необходимостью стимулировать предприятия к рациональному использованию природных ресурсов и необходимостью их воспроизводства.

Мы не ставим под сомнение необходимость государственного регулирования хозяйственной деятельности предприятий-природопользователей и не выражаем отрицательного отношения к ним в адрес субъектов хозяйствования. Однако в рамках системы обеспечения экономической безопасности предприятий-природопользователей государственные меры ограничительного характера, несмотря на цель обеспечения рационального природопользования, одновременно выступают факторами, ограничивающими экономические возможности конкретных хозяйствующих субъектов, а, следовательно, и их экономическую безопасность. В этой связи экономическая безопасность предприятий-природопользователей должна рассматриваться именно в рамках существующих ограничений природоохранного законодательства, которое в настоящее время насчитывает одних только федеральных законов около 30 единиц [7]. Это также является одной из основных особенностей ведения хозяйственной деятельности данных субъектов.

К угрозам экономической безопасности предприятий природопользователей следует отнести и **административные барьеры**, характерные только для отрасли природопользования. Например, к таким барьерам следует отнести лицензирование деятельности, нормирование деятельности природопользователей и др.

Деятельность предприятий-природопользователей подвержена большему по сравнению с другими хозяйствующими субъектами влиянию **управленческих решений чиновников**, ответственных за государственное регулирование данной сферы. Некоторые из этих решений оказывают непосредственное воздействие на экономическую безопасность природопользователей. К таковым можно отнести решения ответственных должностных лиц о: выдаче разрешения, лицензии, ограничении, приостановлении, прекращении работы предприятий, сооружений, иных объектов и любой деятельности, причиняющей вред среде и несущей потенциальную опасность для здоровья человека. Исполнение данных управленческих решений носит обязательный характер для всех орга-

низаций и лиц, на которых они распространяются, а банковские учреждения обязаны прекращать финансирование запрещенной деятельности до отмены решения о ее запрете [2].

Для целей экономической безопасности конкретных природопользователей нельзя рассматривать как положительные и следующие положенные в основу государственного управления природопользованием и состоянием окружающей среды в Российской Федерации:

- принцип приоритета охраны окружающей среды [9]. В соответствии с ним в случае противоречия интересов хозяйственной деятельности и интересов охраны окружающей среды, управленческое решение должно приниматься в соответствии с требованиями охраны окружающей среды;

- принцип презумпции экологической опасности планируемой хозяйственной деятельности [1].

Фактором, отрицательно влияющим на экономическую безопасность предприятий-природопользователей, выступает платность использования природных ресурсов. Перечень издержек природопользователей, обусловленных непосредственно статусом природопользователя весьма широк и в целом зависит от вида используемых ресурсов. Но в общем виде их можно разделить:

- на *издержки, связанные с получением права доступа к природному ресурсу* (например: сбор за участие в конкурсе (аукционе) для недропользователей, арендная плата для лесопользователей);

- *издержки, связанные с использованием природными ресурсами* (например: для недропользователей: разовые платежи за пользование недрами при наступлении определенных событий, оговоренных в лицензии; регулярные платежи за: пользование недрами для регионального геологического изучения; пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение, разведку полезных ископаемых на месторождениях, введенных в промышленную эксплуатацию, в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этих полезных ископаемых, разведку полезного ископаемого в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этого полезного ископаемого; для лесопользователей: плата по договору купли-продажи лесных насаждений).

В рамках данного блока можно выделить отдельно **налоговые издержки**, в том числе: земельный налог, водный налог, налог на добычу полезных ископаемых, сборы за пользование объектами животного мира и за пользование объектами водных биологических ресурсов и др.);

- *издержки, связанные с негативным воздействием на окружающую среду*, которые можно разделить на: платежи за загрязнение в пределах утвержденных лимитов; платежи за сверхлимитное загрязнение; возмещение ущерба; штрафы).

Платежи и налоги за загрязнение и пользование природными ресурсами представляют собой косвенные рычаги воздействия государства и выражаются в установлении платы за выбросы или сбросы, а также за владение, пользование и другие законные действия с природными ресурсами. Уровень платежа соответствует социально-экономическому ущербу от загрязнения или какому-либо другому показателю, например экономической оценке ассимиляционного потенциала природной среды, стоимости какого-либо природного ресурса и т.д. платеж за загрязнение – это плата за право пользования ассимиляционным потенциалом природной среды. Пользователь этого ресурса платит за него так же, как он платит за приобретаемое сырье, электроэнергию и т.д. [9].

В рамках данной статьи мы не рассматриваем количественную характеристику издержек предприятий-природопользователей. Однако приведем здесь цитату, которая позволит читателю сформировать некоторое представление о положении данных субъектов хозяйствования: «для огромного числа природопользователей, едва сводящих концы с концами, не имеющих никаких накоплений, оснащенных большой долей изношенного и поэтому особенно опасного в экологическом плане оборудования повышение экологических требований часто просто не под силу и здесь не помогут никакие рычаги принуждения – ни экономические, ни правовые» [12]. Таким образом, высказанная выше мысль о том, что несоблюдение установленных государством норм и правил в определенных случаях может выступать в качестве способа экономического «выживания» или обеспечения экономической безопасности – не лишена смысла и для предприятий-природопользователей.

Исходя из этого, угрозы экономической безопасности природопользователей можно разделить еще на две группы:

- 1) угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей, связанные с соблюдением установленных норм и правил;
- 2) угрозы экономической безопасности предприятий-природопользователей, связанные с несоблюдением установленных норм и правил.

Данную статью, конечно же, нельзя рассматривать в качестве работы, содержащей решение проблемы обеспечения экономической безопасности хозяйствующих субъектов-природопользователей. Однако в ней есть решение задач, являющихся звеньями в достижении вышеуказанной цели:

– во-первых, деятельность предприятий-природопользователей и государственное регулирование данной сферы рассматриваются не с позиций обеспечения охраны окружающей среды, повышения эффективности использования природных ресурсов, а с позиций обеспечения экономической безопасности природопользователей;

– во-вторых, мы обозначили специфические стороны функционирования предприятий-природопользователей, которые имеют непосредственное отношение к обеспечению их экономической безопасности;

– в-третьих, в статье приведена классификация самих предприятий-природопользователей, которая должна лечь в основу анализа экономической безопасности данных субъектов (угроз, инструментов обеспечения и т.д.);

– в-четвертых, в статье приведена классификация угроз экономической безопасности предприятий-природопользователей, способы противодействия которым необходимо разработать в рамках дальнейших научных исследований.

Литература

1. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 25.06.2012) «Об охране окружающей среды» // Собрание законодательства РФ, 14.01.2002, № 2, ст. 133.
2. Богомолов С.А. Обязанности природопользователей // Право и экономика, 2001.
3. Грачев А.В., Ковтунова С.Ю. Экономические аспекты взаимодействия хозяйствующих субъектов и органов внутренних дел в рамках противодействия теневым экономическим явлениям: монография. – СПб.: Изд-во СПб ун-та МВД России, 2011.
4. Грачев А.В., Пузыревский Л.С. Теневая экономика как инструмент обеспечения экономической безопасности хозяйствующих субъектов // Научно-технические ведомости СПбГТУ, 2011, № 3.
5. Латов Ю.В. Российская теневая экономика в контексте национальной экономической безопасности // Вестн. Ростовск. гос. ун-та, 2005, т. 5, № 1, с. 16-28.
6. Литвиненко А.Н., Грачев А.В., Максимова О.Ю. Экономический подход к управлению ресурсами органов внутренних дел в системе обеспечения экономической безопасности страны: монография. – СПб.: Изд-во СПб ун-та МВД России, 2012.
7. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2011 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб., 2012.
8. Пономарева М.А. Формирование организационно-экономического механизма управления устойчивым развитием природохозяйственной системы региона: темпорально-территориальная концепция: Дисс. ... д-ра экон. н.: 08.00.05. – Ростов-на-Дону, 2012.
9. Сабанчиева Д.Х. Организационно-методические аспекты рационального природопользования. – СПб., 2012.
10. Сабанчиева Д.Х. Экономический мониторинг в системе управления предприятиями в системе природопользования // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 20, с. 202-207.
11. Шкварок В.М. Теоретические основы и классификация угроз экономической безопасности России: Автореф. дисс. ... к.э.н. 08.00.05. – СПб., 2008.
12. Материалы сайта <http://lib.vvsu.ru> (дата обращения 15.09.2012).

А.И. Бородин, Е.В. Бильчак

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ В РОССИИ

A.I. Borodin, E.V. Bilchak

FEATURES OF USE OF ECONOMICAL AND ECOLOGICAL TOOLS IN RUSSIA

В статье рассмотрены основные теоретические понятия относительно экономических инструментов экологического регулирования, выявлены особенности практического применения природоохранных мероприятий в зарубежных странах. Проведен анализ природоохранной деятельности в России. Выявлены особенности использования экономико-экологических инструментов в России.

Ключевые слова: экономико-экологические инструменты, экологическое регулирование, природоохранная деятельность, экологическая политика России.

In the article basic theoretical concepts are considered in relation to the economic instruments of the ecological adjusting, the features of practical application of nature protection measures are exposed in foreign countries. The analysis of nature protection activity is conducted in Russia. The features of the use of economic-ecological instruments are exposed in Russia.

Key words: economic instruments, ecological adjusting, nature protection activity, ecological policy in Russia.

Охрана окружающей среды является одной из важнейших общечеловеческих проблем, актуальность которой связана с усилением антропогенного влияния на природу. Окружающая среда в настоящее время уже не может обеспечить сбалансированность экологических связей и воспроизводство природных ресурсов. Проблемы экологической безопасности государства необходимо рассматривать как нераздельную составляющую общенациональных и общечеловеческих ценностей.

Развитие социально-экономических, политических и научно-технических приоритетов государства должно базироваться на принципах экологического равновесия и природоохранной деятельности. Однако, экономическая стабильность не должна достигаться в ущерб экологической безопасности. Поэтому актуальность исследования обусловлена тем, что без правильного построения и использования экономических инструментов экологического регулирования невозможно обеспечить природоохранную деятельность государства.

Целью данной статьи является рассмотрение теоретических понятий и выявление особенностей использования различных экономических инструментов экологического регулирования, а также анализ практического применения этих инструментов как в зарубежных странах, так и в России. Приоритетной задачей исследования является формулирование основных подходов к формированию экологической политики и разработка системы перспективных экономических инструментов экологизации развития.

Основная задача экологического регулирования – защита окружающей среды, которая достигается путем создания более экологических и менее ресурсоемких технологий, реструктуризации промышленного производства по инновационному экологобезопасному типу, а также внедрением таких методов управления, которые одновременно обеспечивают рост эффективности и снижение объемов загрязнений. Стремление товаропроизводителей к рациональному расходованию ресурсов в своей деятельности достигается путем использования совокупности контролирующих методов экологического регулирования с экономическими инструментами природопользования, что, в конечном счете, является не только экономически выгодным, но и экологически целесообразными.

Под *экономическими инструментами природоохранной деятельности* понимаются различные средства (методы, мероприятия, рычаги) воздействия на финансовое состояние экономических субъектов с целью ориентации их деятельности в экологически благоприятном направлении, то есть стимулирование рационального и бережного использования природных ресурсов, уменьшения энерго- и ресурсоемкости производства, а также минимизацию ущерба, наносимого антропогенной нагрузкой окружающей природной среде. С помощью экономических инструментов можно воздействовать на побудительные мотивы в деятельности хозяйственных субъектов, регулировать товарно-денежные отношения на уровне предприятий, регионов и страны, в целом [1].

Механизм действия экономических инструментов природоохранной деятельности предполагает воздействие на экономические интересы субъектов хозяйствования с помощью изменения расходов и выгод, возникающих при различных типах поведения этих субъектов. При этом, именно использование перераспределительных платежей выполняет регулирующую функцию.

Сущность экономических инструментов экологической политики раскрывается в их функциональном предназначении, а именно:

- аккумулировать денежные средства в бюджетных и внебюджетных фондах на различных уровнях территориально-административного управления для реализации государственных, региональных, территориальных программ, проектов, мероприятий в области охраны, воспроизводства и защиты окружающей природной среды;
- стимулировать на локальном организационно-хозяйственном уровне атмосфероохранных, водоохранных мероприятий, снижение отходности производственных процессов, переработки (утилизации) и безопасности захоронения отходов;
- способствовать производству экологически чистой продукции и внедрению соответствующих технологий;
- поддерживать природоохранные территории и помогать возобновлять нарушенные.

Наиболее существенными факторами при разработке и применении эколого-экономических инструментов являются следующие:

- механизм реализации;
- природа влияния на экономические интересы субъектов;
- принципы влияния на ключевые группы экономических субъектов;
- формы инструментов;
- методические подходы к установлению ставок;
- критериальная база расчета ставок [3].

В зависимости от механизмов реализации эколого-экономические инструменты разделяются на такие:

- административное перераспределение средств – применяется в случаях аварийного загрязнения окружающей среды (штрафы, субсидии);
- финансовые трансферты – система перераспределительных механизмов (налоги, платежи, кредиты, выплаты);
- свободные рыночные механизмы перераспределения средств (торговля разрешениями на выбросы загрязняющих веществ);
- содействие на рынке – применение неденежных форм поддержки экономических субъектов (награждение специальными отличиями, бесплатная реклама и т.п.).

По природе влияния на экономические интересы субъектов эколого-экономические инструменты можно разделить на две группы:

- инструменты, направленные на исключение доходов;
- инструменты, направленные на увеличение доходов.

Данное разделение является условным, потому что эколого-экономические инструменты в зависимости от обстоятельств могут выполнять функции и первой, и второй, группы. Например, налоги выполняют функцию исключения доходов, а в случаях льготного налогообложения – функцию увеличения доходов. Исключение составляют штрафы, которые относятся к первой группе, и субсидии, которые принадлежат ко второй группе.

В соответствии с экологическими принципами воздействия на ключевые группы экономических субъектов хозяйствования эколого-экономические инструменты делятся на три группы, приведенные в табл. 1.

Принцип «загрязнитель платит» подразумевает то, что компенсацию экологических расходов должен осуществлять экономический субъект, который своей деятельностью привел к нарушению норм экологической безопасности. Данный принцип следует применять в том случае, когда при помощи техногенных возможностей производство продукции может осуществляться без негативного влияния на окружающую среду. Компенсацию убытков загрязнитель должен осуществлять за счет своей прибыли. Впервые на международном уровне принцип «загрязнитель платит» был обоснован Организацией экономического сотрудничества и развития в 1972 г. С этого времени данный принцип активно используется в законодательной практике европейских стран и других стран мира.

При реализации принципа «потребитель платит» компенсацию экологических расходов, связанных с воздействием на окружающую среду, должны осу-

ществлять потребители товаров, производство которых вызвало это воздействие. Данный принцип следует применять тогда, когда в обществе не существует технических возможностей для обеспечения выпуска продукции без негативных последствий. В этом случае компенсация экономических убытков переводится на потребителей продукции путем включения экологических расходов в себестоимость, а следовательно, и в цену товара.

Таблица 1

Экологические принципы воздействия на ключевые группы экономических субъектов

Название принципа	Содержание принципа	Обоснование принципа
1. «Загрязнитель платит»	Производитель несет ответственность за эколого-экономические убытки, причиненные как стадией производства, так и стадией потребления вплоть до утилизации отходов	Экологическое несовершенство продукции заложено на стадии ее изготовления
2. «Потребитель платит»	Производители всего лишь выполняют социальный заказ и всю ответственность за экологические последствия должен нести потребитель	Потребитель провоцирует производителя на удовлетворение своих возрастающих потребностей
3. «Все общество платит»	Солидарная ответственность	Основная причина экоде-структивных процессов и их экономических последствий в несовершенстве производственно-потребительских циклов обеспечения жизнеде-ятельности

Сущность принципа «все общество платит» заключается в том, чтобы оплату расходов на реализацию экологических мероприятий, которые имеют глобальный, общегосударственный или региональный характер, осуществлять из соответствующих фондов, которые создаются за счет средств налогоплательщиков [3].

Существует большое количество форм эколого-экономических инструментов. Это создает большой спектр возможностей для целеустремленного экологически ориентированного воздействия на экономические интересы субъектов хозяйствования.

Экономические инструменты экологического регулирования по форме можно разделить на организационные и финансовые (табл. 2).

Таблица 2

Классификация экономических инструментов экологического регулирования

Финансово-экономические инструменты:	Организационно-экономические инструменты:
1. Финансирование и кредитование природоохранных мероприятий	1. Экологический менеджмент
2. Система налогового стимулирования	2. Экологический маркетинг
3. Экологическое страхование	3. Экологический аудит
4. Экологическое инвестирование	4. Экологический контроллинг
	5. Экологистика

Финансово-экономические инструменты, в свою очередь, можно разделить по воздействию на интересы субъекта хозяйствования на налоговые (направленные на изъятие дохода) и дотационные (направленные на передачу дохода) [1].

Сегодня наиболее рациональным считается оптимальное соединение этих инструментов, что позволило бы наиболее эффективно решать конкретные экологические проблемы. Таким образом, применение всего комплекса данных экономических инструментов помогает осуществлять экономическую деятельность, руководствуясь принципами сбалансированного эколого-экономического развития и включением цен за влияние на окружающую природную среду в стоимость производства и потребления.

Наиболее популярным экономическим инструментом экологического регулирования является налоговое стимулирование. В промышленно развитых странах мира наблюдается тенденция к увеличению роли экологических налогов и их стимулирующего влияния на развитие экономики. Так, доля экологических налогов в целом от суммы налогообложения юридических и физических лиц составляет: в Норвегии – 10,8; в Великобритании – 8,2; Японии – 6,5; в Германии – 4,9; Дании – 3,4; в США – 3,2 [3].

Экономическая мотивация в экологической сфере может быть выражена через следующую систему налоговых стимулов двояко:

1. Путем использования налоговых льгот:

- введение системы специальных налоговых режимов для субъектов, внедряющих природоохранные проекты;
- прямое стимулирование посредством внедрения в бухгалтерском и налоговом учете механизма ускоренной амортизации основных фондов природоохранного назначения (японский опыт);
- прямое стимулирование посредством предоставления субсидий;
- косвенное стимулирование посредством внедрения квот на использование природных ресурсов (американский опыт);
- косвенное стимулирование через предоставление льготных условий кредитования природоохранных проектов;
- косвенное стимулирование посредством создание рыночной инфраструктуры экологической ориентации.

2. Путем использования различного вида налогов.

- акцизы;
- импортные и экспортные пошлины;
- сборы;
- штрафы.

В налоговой системе России налоговые инструменты экологического регулирования только проходят стадию становления и нуждаются в усовершенствовании. Для этого можно рассмотреть особенности функционирования налоговых инструментов экологического регулирования в европейских странах с целью выявления тех, которые бы способствовали усовершенствованию соответствующих инструментов в России.

На современном этапе экологические налоги занимают важное место в налоговых системах стран Европы. Главная цель экологических налогов и сборов – не пополнение государственного бюджета (фискальная функция), а стимулирование плательщика к положительному с точки зрения охраны окружающей среды поведению (экологическая функция). Директорат по налогам и таможенным сборам Европейской комиссии разделил экологические налоги на следующие:

1) энергетические налоги – на моторное топливо, на энергетическое топливо, на электроэнергию;

2) транспортные налоги – налоги по километражу, ежегодный налог с владельца транспортного средства, акциз при покупке нового или поддержанного автомобиля;

3) платежи за загрязнение – за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и сбросы в водоемы;

4) платежи за размещение отходов – размещение отходов на свалках и их переработка на ряд специальных продуктов (упаковочные материалы, батареи, шины, смазочные масла и т. д.);

5) налоги на выбросы веществ, приводящих к глобальным изменениям, – вещества, которые разрушают озоновый слой, приводят к парниковому эффекту;

6) налог на шумовое загрязнение;

7) платежи за пользование природными ресурсами [5].

В зависимости от целевого назначения экологические налоги делятся на три группы:

– налоги, которые осуществляют фискальную функцию и внедряются для пополнения бюджета (транспортные и энергетические налоги);

– - налоги, направленные на покрытие экологических затрат (плата за природопользование, за забор воды, за размещение отходов, специальные налоги на батарейки);

– платежи, стимулирующие экологически ответственное поведение производителей и покупателей.

В Европе наиболее распространенными стали транспортные и энергетические налоги. К странам с наивысшими налоговыми ставками относятся Дания, Нидерланды, Швеция, Австрия и Германия (табл. 3) [5]. Несмотря на политику поддержки производителей и стимулирования экономного потребления электроэнергии, в некоторых странах, например в Дании, ставки на электроэнергию для коммерческого использования больше по сравнению со ставками на электроэнергию для других целей.

Транспортные налоги занимают особое место в системе экологического налогообложения многих развитых европейских стран. Максимальные размеры автомобильного налога имеют такие страны, как Дания, Нидерланды, Финляндия, минимальный – Германия, Италия, Португалия. Транспортные налоги на автомобили, которые работают на дизельном топливе значительно превышают сумму налога на бензиновые авто (табл. 4) [5].

Таблица 3

Европейские страны с наивысшими налоговыми ставками на электроэнергию

Страна	Налог на электроэнергию, евро/МВт	
	Коммерческое использование	Некоммерческое использование
Дания	90	81
Швеция	29	29
Австрия	15	15
Германия	12	20
Нидерланды	75	75

Таблица 4

Суммы транспортных налогов за период эксплуатации автомобиля в некоторых странах Европы

Страна	Сумма налога с автомобиля на бензин, евро	Сумма налога с автомобиля на дизель, евро
Бельгия	7845	9916
Германия	6950	7845
Дания	29286	34753
Италия	5696	6545
Нидерланды	16661	23208
Португалия	5348	9200
Швеция	7814	12248
Финляндия	13539	19920
Англия	11824	12248

Эти поступления зачисляются в бюджеты европейских стран и часть из них используется в дальнейшем по целевому назначению:

- улучшение экологических стандартов автомобилей;
- развитие альтернативной транспортной инфраструктуры;
- разработка и внедрение альтернативных видов топлива;
- строительство новых и ремонт существующих дорожных путей.

Лидером среди европейских государств в области охраны окружающей среды считается *Германия*. На сегодняшний день нормативная база охраны окружающей среды в Германии включает в себя многочисленные законодательные акты, правовые положения. Среди них федеральный закон об охране природы и ландшафтном планировании, законы об эмиссиях, о генной технике, о включении в планы экономического развития вопросов охраны окружающей среды [4].

По функциональному признаку экологические платежи Германии делятся на четыре группы (табл. 5).

Особое внимание в Германии уделяется экологическому обучению производственного персонала. Охрана окружающей среды является сферой, обеспечивающей рабочие места значительной части немецкого населения.

Ежегодно возрастает число предприятий, занимающихся разработкой экологических и ресурсосберегающих технологий или предлагающих услуги в области охраны окружающей среды. Целый ряд предприятий привлекает покупателей знаками экологически чистой продукции. Немецкий экологический

знак «Голубой ангел» стал успешным инструментом обозначения экологически чистой продукции. При этом критерии формируются так, что только особо экологически чистые продукты получают право ввести этот знак и рекламировать свою экологическую чистоту.

Таблица 5

Классификация экологических платежей в Германии

Вид экологического платежа	Сущность экологического платежа	Пример
1. Платежи за природопользование	Облагается причинитель вреда, в случае если он использует природные ресурсы в своих целях	Плата за забор воды
2. Финансирующие экологические платежи	Выполняют управляюще-мотивационные функции, финансирует доходную часть бюджета	Платеж за отработанное машинное масло
3. Выравнивающие экологические платежи	Взимаются после произведенного вмешательства в окружающую среду и заменяют компенсационные мероприятия	Платежи земли Гессен, которые взимаются в случае изменения ландшафтов
4. Управляющие экологические платежи	Основываются на экономическом воздействии на плательщиков и вступают в конкуренцию с экологическим административным правом	Налог на минеральные масла

В последние годы главные акценты в политике охраны окружающей среды были сделаны на постепенный отказ от использования атомной энергии, сокращение выбросов углекислого газа, развитие производства с замкнутым циклом. Германия занимает ведущие позиции по сокращению эмиссии углекислого газа.

В Германии особенно поощряется использование возобновляемых источников энергии, применение энергосберегающих технологий, стимулируются капиталовложения в технологии, основанные на использовании солнечной энергии и энергии ветра. Для этого предусмотрены специальные льготные кредиты и дотации. На сегодняшний день Германия является одной из ведущих стран-экспортеров безопасных для окружающей среды технологий.

В промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве большое внимание уделяется разработке технологий, позволяющих добиться максимального снижения загрязнения воды. Поощряется переход сельскохозяйственных предприятий на экологически чистое земледелие. Сокращается использование удобрений, уменьшаются риски, связанные с использованием для защиты растений ядохимикатов. Промышленность активно производит товары из растительного сырья: фасонные детали для автомобилей из льна, упаковки из картофельного крахмала и т. д.

В соответствии с законодательством ответственность за отходы несет производитель или владелец. На практике речь идет о «дуальной системе», участники которой забирают у потребителей и перерабатывают использованные упаковочные материалы. Это финансируется производящими отходы предприятиями.

В *Великобритании* установилось сравнительно мягкое правовое регулирование охраны окружающей среды и использования природных ресурсов. Экологическое законодательство Великобритании состоит из большого числа законов и подзаконных актов, посвященных регулированию определенных видов антропогенного воздействия на природную среду. Здесь сложилась система государственных органов по охране окружающей среды и использованию природных ресурсов во главе с Министерством окружающей среды, выполняющим, в основном, координирующую функцию.

С 1970 г. начала свою работу Комиссия по охране окружающей среды от загрязнения, имеющая статус независимой неправительственной организации. На нее возложено наблюдение за эффективностью природоохранной деятельности. Введение системы платежей за водопользование и сброс промышленных сточных вод, налогообложения за использование материала (налог на ископаемое топливо) позволило Великобритании значительно снизить государственные финансовые затраты и перебросить средства на программы по охране окружающей среды.

В *Норвегии* раз в два года правительство предоставляет парламенту доклады о состоянии окружающей среды в стране и о проводимой экологической политике. Особая роль в реализации экополитики отводится муниципальным органам власти. Законодательство по охране окружающей природной среды направлено непосредственно на источник сбросов, а объемы регулируются через разрешение на сбросы. В Норвегии сама промышленность несет ответственность за соблюдение нормативов по охране окружающей среды. Система государственного контроля базируется на инспектировании и системном аудите. Активно действует Норвежский правительственный экологический фонд, поддерживающий экологически чистые технологии.

С 1988 г. в Норвегии действует Национальное ведомство по расследованию и пресечению экономической и экологической преступности – Экокрим. Под его контролем подготавливаются руководства по борьбе с загрязнением окружающей среды и с преступлениями против культурных ценностей.

В 1997 г. была принята долгосрочная программа-стратегия «Норвежский дом», в основе которой было заложено производство в рамках экологически стабильного общества. В качестве основных направлений экополитики были определены:

- развитие структуры, стимулирующей устойчивое производство и потребление;
- развитие инструментов для контроля социальной стабильности и для гарантии эффективных действий по защите окружающей среды в различных сферах;
- международное сотрудничество в целях решения глобальных и региональных экологических проблем;

- деятельность по сохранению биологического разнообразия, сокращению распространения опасных химических веществ, снижению выбросов парниковых газов;

- привлечение промышленности, предпринимателей и потребителей к работе по устойчивому развитию.

Таким образом, в европейских странах благодаря налоговой политике реализуется ресурсосбережение, повышения уровня эффективности и решение одновременно широкого спектра экологических проблем. Некоторые результаты внедрения экологических налогов в европейских странах приведены в табл. 6 [5].

В настоящее время экономический механизм экологического регулирования в России основывается на концепции платности природопользования. Основные моменты экономического механизма экологического управления заключаются в том, что благодаря его экономическим инструментам были проработанные основы платного природопользования, и экономический инструментарий является единственным средством, которое позволяет обеспечить поступление финансовых ресурсов в объемах, необходимых для ликвидации последствий загрязнения окружающей природной среды [2].

Таблица 6

Результат внедрения экологических налогов в некоторых странах Европы

Страна	Вид налога или платежа	Результат
Швеция	1) Налог на углерод; 2) разница в налогах на этиловый и неэтиловый бензин и дизельное топливо с низким уровнем загрязнения	1) Уменьшение загрязнения на 6%; 2) уровень этилового загрязнения снизился до 80 %, уменьшение от автомобилей на 75 %
Норвегия	Налог на SO ₂	Уменьшение загрязнения на 3–4 %;
Дания	Плата за отходы	Повторное использование отходов
Германия	налог на токсические отходы	Объем токсических отходов снизился на 20–45 %
Франция	Платежи за загрязнение воды	Уменьшилось количество сбросов
Голландия	Плата за отходы	Объем твердых бытовых отходов снизился на 10–20 %

Экологическая составляющая налогово-бюджетной системы России представлена рентными платежами, платой за землю, сбором за геологоразведку, платежами за специальное использование природных ресурсов и экологическим налогом (сбором за загрязнение окружающей природной среды), которые являются общегосударственными обязательными платежами. В свою очередь, рентные платежи состоят из ресурсной и транзитной ренты. К общегосударственным платежам за специальное использование природных ресурсов принадлежат сборы: за пользование недрами, за специальное водопользование и за специальное использование лесных ресурсов.

Практически все виды платежей, связанных с природопользованием и охраной окружающей среды, в настоящее время имеют характер налоговых взносов и выполняют фискальную функцию.

Практика взимания экологических платежей в бюджет и систему распределения государственных средств «экологическая» составляющая налогово-бюджетной системы имеет ярко выраженный фискальный характер и направленная на пополнение бюджетных средств, в основном, за счет эксплуатации и загрязнения природной среды. Таким образом, создается впечатление, что государство преимущественно декларативно решает проблемы сохранения окружающей среды и вообще выступает таким субъектом природопользования, которому выгодно причинение экологического вреда, компенсация, за который (в виде сборов и штрафов) образует счета бюджетных фондов охраны природы. Такую ситуацию нельзя признать удовлетворительной, если учесть то, что фактически бюджетные доходы от природопользования используются для устранения других перекосов в экономике.

Общепризнанным в настоящее время является тот факт, что отечественный экономический механизм природопользования срывает с негативным экологическим результатом: национальным товаропроизводителям выгоднее осуществлять разные фискальные экологические платежи, чем тратится на природоохранные мероприятия или инициировать внедрение экологически безопасных методов ведения хозяйства.

Экологическое регулирование является чрезвычайно важной составляющей природоохранной деятельности страны. Для его осуществления создан целый ряд соответствующих органов и разработаны законодательные акты.

Существующий в России экономический механизм экологического управления преимущественно оперирует группой налоговых регуляторов экологического поведения товаропроизводителей, которые вынуждают их ограничивать свою экодеструктивную деятельность в соответствии с требованиями нормативных актов, постановлений и законов. При этом экономические инструменты природопользования преимущественно исполняют роль фискальных платежей, а функционирование существующих эколого-экономических регуляторов выступает средством накопления финансовых ресурсов во властных структурах.

Экологические налоги в разных формах существуют практически во всех странах, однако процессы взимания таких налогов могут существенно отличаться. Изучение и систематизация международного опыта в этой сфере и выработка четких и эффективных подходов к реформированию системы налогообложения будут способствовать увеличению поступлений в Государственный бюджет России, а также стимулировать процесс внедрения энергосберегающих, энергосовозобновляемых и экологически чистых технологий на предприятиях и в быту.

Опыт стран с развитой рыночной экономикой убеждает, что основной целью экологических налогов (сборов) является не пополнение государственного бюджета, а стимулирование плательщика к бережному и ответственному отношению к окружающей среде. Полученные при этом средства могут направляться на стимулирование охраны окружающей среды потребителями, разработку и внедрение безотходных технологий, утилизацию отходов и т. д.

Таким образом, для преодоления кризисной текущей ситуации можно предложить следующее:

- усовершенствовать экономические ограничения на хозяйственную деятельность;
- лицензировать хозяйственную и другую деятельность;
- внедрить комплексную эколого-экономическую экспертизу;
- создать систему поддержки экологически справедливого рынка (т.е. продукция с наихудшими экологическими характеристиками не получает преимуществ в конкурентной борьбе, а также снимается из обращения на рынке продукция, опасная для здоровья и окружающей среды);
- модернизировать налоговую политику в отраслях охраны и рационального использования окружающей среды;
- внедрить системы экологического страхования и экологического аудита;
- производить учет естественного фактора при экономической оценке хозяйственных решений.

Литература

1. Бильчак В. С., Бородин А. И. Формирование устойчивого развития предприятия региона: механизмы, методы, управление (эколого-экономический аспект). – Калининград: РГУ им. И. Канта, 2009. – 185 с.
2. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования. – М.: Изд-во ИНФРА-М, 2010.
3. Бородин А.И. Экономико-экологическое программирование устойчивого развития региона. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 432 с.
4. Бородин А.И. Формирование экологической политики в России // Вестн. Кыргызско-Российск. Славянск. ун-та, 2005, № 2, с. 124–126
5. Сердитова Н. Е. Анализ сложных эколого-экономических систем: термодинамический подход // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 7, с. 138–154.
6. Сердитова Н.Е. Экономика природопользования: эколого-экономический аспект // Уч. зап. РГГМУ, 2005, № 4, с. 149–165.

Н.Л. Гагулина

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕР И МЕРОПРИЯТИЙ В КОНТЕКСТЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКИ

N.L. Gagulina

CLASSIFICATION OF NATURE PROTECTION MEASURES AND ACTIONS IN A CONTEXT OF AN ECONOMIC SCIENCE

В связи с необходимостью решения методологических проблем, связанных с прикладным использованием основных разделов экономической теории, в статье приведена систематизация соподчиненных понятий «природоохранные меры», «природоохранные работы» и «природоохранные мероприятия» с выделением роли основных экономических субъектов в производстве общественных благ и экстерналий.

Ключевые слова: экономическая эффективность, охрана окружающей среды, достойное благо, природоохранные меры, природоохранные мероприятия.

Due to the need of the solution of the methodological problems connected with applied use of the main sections of the economic theory, in article ordering of the coordinated concepts «nature protection measures», «nature protection works» and «nature protection actions» with allocation of a role of the main economic subjects is given in production of the public benefits and eksternaliya.

Key words: cost-effectiveness, environmental protection, merit good, nature protection measures, nature protection actions.

Природоохранная деятельность является предметом жизненно важных интересов всего общества, что объясняет необходимость комплексного подхода к решению проблем природопользования и, в методологическом плане – требует уточнения объекта экономического анализа. Природоохранная деятельность как объект экономического анализа имеет отражение в научной литературе, посвященной вопросам экономики предприятий [3].

Экономическая теория, как правило, оперирует обобщенными понятиями: «природоохранная деятельность», «природоохранные затраты». Данные понятия находят применение в разделах экономики, где рассматриваются вопросы определения внешних эффектов и производства общественных благ, которые распространяются не только на микроэкономический уровень исследования, но и на макроуровень. Рассмотрение классификации природоохранных мер и мероприятий, охватывающей все уровни современной экономики, представляется актуальным в связи с возможным решением методологической проблемы, связанной с практическим применением выработанных экономической наукой методов в отношении производства общественных благ, в разряд которых входит и охрана окружающей среды.

Общественные блага приносят пользу большому количеству людей, часто – всему обществу. При определенных условиях многие общественные блага имеют способность превращаться в частные. Особенно наглядно это прослеживает-

ся на примере здравоохранения, образования, учреждений культуры и отдыха. Если по каким-либо причинам процесс трансформации общественных благ в частные представляется нежелательным, государство предлагает потребительские предпочтения, которые считает более правильными. На практике это находит отражение в производстве социально значимых благ [1].

В экономической теории социально значимые общественные блага называют еще «*мериторными благами*» (*merit good*). В буквальном переводе «*достойное благо*» – благо, потребление которого считается желательным. Использование данного понятия, разработанное американским экономистом по государственному финансированию Ричардом Масгрейвом, подразумевает, что истинная ценность благ не известна индивидуальным потребителям, поэтому спрос на достойные блага со стороны индивидуальных потребителей отстает от потребностей общества и нуждается в стимулировании со стороны государства.

Хотя вмешательство государства фактически означает нарушение одного из основополагающих принципов экономического поведения индивидов – принципа суверенитета потребителя, в данном случае это признается допустимым, поскольку:

1. Достойные блага могут обладать некоторыми свойствами частных благ.
2. При определенных условиях информированная часть населения должна влиять на решения остальных индивидов (образование, здравоохранение, защита окружающей среды, контроль за продажей наркотиков и т. п.). Например, в процессе планирования и реализации региональных или отраслевых программ по сохранению и улучшению качества окружающей среды, качество потребительского выбора может быть улучшено за счет делегирования права выбора более информированному специалисту в природоохранной сфере (на самом деле – множеству специалистов). Индивидуальные предпочтения здесь принимаются во внимание (при выборе того или иного природоохранного мероприятия), но полное соответствие им (или их доминирование) не является нормативной целью.
3. Идеал суверенитета потребителя на практике может нарушаться и при производстве частных благ индивидуального потребления, например, из-за проведения агрессивной рекламной компании или других способов воздействия на покупателя.

Ситуации риска и неопределенности, недооценка потребителем некоторых значимых в той или иной ситуации факторов, также способствуют нарушению критерия рационального выбора.

В том случае, когда речь идет об охране окружающей среды, нарушение суверенитета потребителя и условий рационального выбора считается допустимым, так как не все индивиды и не всегда могут сами правильно судить о своем подлинном благосостоянии из-за плохой информированности о состоянии природной среды, недостаточного уровня экологической образованности или формирования таких индивидуальных ценностей, которые идут вразрез с системой общественных ценностей.

В пользу отнесения природоохранных мер и мероприятий к категории достойных благ, помимо изложенных выше доводов, можно привести еще два аргумента: их осуществление в частном порядке зачастую экономически нецелесообразно, – производить их «всем миром» дешевле. Например, недоступно дорого обеспечить сохранение чистоты оз. Байкал на приемлемом для общества уровне силами только региональных властей.

Подход к охране природы как к чисто частному благу не гарантирует обществу системное сохранение и улучшение качества окружающей среды, долговременное устойчивое развитие хотя бы потому, что трудно оценить в денежном выражении будущие потери, вызванные ухудшением качества природной среды сегодня. Такое положение дел обусловлено тем, что в данном случае применение общепринятой процедуры дисконтирования представляется неприемлемым и даже потенциально опасным для проведения экономических оценок. Поясним, почему.

В результате дисконтирования происходит занижение оценочной величины эколого-экономического ущерба, который выявится не сразу, а через длительный отрезок времени [7]. Например, если потенциальный ущерб от аварии на атомной электростанции через 50 лет оценивается в 1 млн долл., а случится она сегодня, то расчетная оценка этого ущерба (при использовании дисконтирования со ставкой 7 %) составит всего 33 947,76 долл. Авария, которая произошла в марте 2011 г. в результате сильного землетрясения и цунами, на АЭС «Фукусима-1» (Япония) доказывает, что это далеко не так. Как заявило руководство оператора электростанции компании Терсо, объем затрат на ликвидацию аварии, включая выплаты пострадавшим, составит более чем 10 триллионов иен (125 млрд долл.) [8].

Применение дисконтирования к оценке инвестиционных проектов в природоохранной сфере также нецелесообразно, поскольку происходит занижение их будущей стоимости. Мероприятия, которые дают отдаленный временной эффект – через 50–100 лет, например, в сфере лесовосстановления, не будут иметь практической реализации.

При высокой ставке дисконтирования становится крайне выгодной разработка и эксплуатация естественных ресурсов, поскольку их сегодняшняя стоимость оказывается много больше будущей стоимости, что ведет к деградации и истощению природных ресурсов.

Таким образом, использование дисконтирования в качестве одного из определяющих критериев при оценке сегодняшних инвестиционных решений в сфере природопользования и охраны окружающей среды, несет угрозу благополучию будущих поколений и подрывает основы устойчивого развития общества. Вместе с тем, забота о здоровье и благополучии граждан предполагает необходимость создания таких политических и экономических условий со стороны государства, которые будут способствовать устойчивому развитию общества в перспективе [5].

Спецификация и защита прав граждан в сфере охраны окружающей среды на практике имеет вид институционального механизма управления природопользованием и охраны окружающей среды, который является инструментом экологической политики государства по проведению природоохранных мероприятий макроуровня или природоохранных мер.

Понятие «природоохранные меры» применяется к деятельности государства и действующих от его лица государственных институтов (ФЗ «Об охране окружающей среды», ст. 13, 56, 58), а к деятельности отдельно взятых предприятий чаще применяются понятия «природоохранные работы и мероприятия».

Природоохранные мероприятия макроуровня ориентированы на изменение характера производства и потребления так, чтобы оптимизировать потребление ограниченных естественных ресурсов и использование природных условий и одновременно снизить антропогенное воздействие на окружающую природную среду. Их проведение способствует смягчению центральной экономической проблемы – ограниченности экономических ресурсов. В силу своей значимости природоохранные меры оказываются включенными в действующую систему целей государства и сводятся к трем основным группам:

1. Сокращение потребления дефицитных, невозобновимых ресурсов (минерального сырья, для которого нет заменителей, воды определенного качества и т. д.);

2. Уменьшение выброса в природную среду вредных веществ (твердых, жидких и газообразных отходов, а также отработанного тепла) и вовлечение вторичных ресурсов в процесс социально-экологического круговорота (за счет внедрения техники, обеспечивающей повторное использование материалов);

3. Увеличение мощности экологических систем (повышение абсорбирующей способности окружающей природной среды за счет дополнительных ассигнований и введение мер, упорядочивающих природопользование) [2].

Меры первой и второй групп нацелены непосредственно на деятельность предприятий и могут заключаться в приостановке их работы в определенном секторе экономики, либо в отдельном регионе. Меры третьей группы также затрагивают деятельность предприятий, но косвенно. Они, в конечном счете, расширяют возможности природопользования.

Таким образом, охрана природы может носить активный и пассивный характер. Соответственно, охрана природы включает в себя предупредительные меры и меры активного воздействия: предупреждение или устранение негативных воздействий и создание условий для сохранения экологического равновесия на определенной территории.

Осуществление предупредительных, или превентивных, мер строится на принципе «болезнь легче предупредить, чем лечить». Создание условий для сохранения экологического равновесия на определенной территории основано на комплексном, системном подходе к территориальному планированию и размещению объектов, оказывающих воздействие на окружающую природную среду.

Оно предполагает формирование системы мониторинга за состоянием окружающей среды, которая является источником получения информации, необходимой при принятии решений о проведении природоохранных мер.

Однако только осуществление природоохранных мер государством (на макроэкономическом уровне) не означает достижения их экономически эффективного объема. Выявление предпочтений граждан, заложенное в основу механизма принятия экономических решений государством, не гарантирует ни высокую эффективность использования ресурсов при организации охраны окружающей природной среды, ни рост потребления данного блага, которое выступает как достойное благо. В целях повышения экономической эффективности проведения природоохранных мер предусматривается формирования системы управления охраной природы на уровне предприятия или на микроуровне.

Природоохранная деятельность предприятий представляет собой либо пассивное подчинение существующим требованиям в сфере охраны природы, либо активную реорганизацию, пересмотр применявшихся до сих пор средств, служащих реализации системы целей предприятия. И в том, и в другом случаях речь идет о проведении природоохранных работ и мероприятий.

К природоохранным мероприятиям относятся все виды хозяйственной деятельности, направленные на снижение и ликвидацию отрицательного антропогенного воздействия на окружающую природную среду, сохранение, улучшение и рациональное использование природно-ресурсного потенциала страны: строительство и эксплуатация очистных и обезвреживающих сооружений и устройств, развитие малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, размещение предприятий и систем транспортных потоков с учетом экологических требований, рекультивация земель, меры по борьбе с эрозией почв, по охране и воспроизводству флоры и фауны, охране недр и рациональному использованию минеральных ресурсов.

В целом, основаниями отнесения работ и мероприятий к природоохранным являются: повышение экологичности выпускаемой продукции; сокращение объема потребления природных ресурсов (свежей воды, земельных, минеральных и лесных ресурсов); сокращение объемов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, а также любое подземное размещение загрязняющих веществ, размещение отходов; снижение концентрации токсичных выбросов, сбросов загрязняющих веществ. Экономический эффект от их проведения очевиден – сохранение и восполнение природно-ресурсного потенциала страны или региона.

Например, если в составе природно-ресурсного потенциала рассматривать укрупненные группы ресурсов, то по сфере применения все природоохранные мероприятия можно классифицировать следующим образом:

1. Охрана и рациональное использование водных ресурсов [4]:

- строительство головных и локальных очистных сооружений для сточных вод предприятий с системой их транспортировки;

- внедрение систем оборотного и бессточного водоснабжения всех видов;
- осуществление мероприятий для повторного использования сбросных и дренажных вод, улучшения их качества, не вызывающих негативного побочного воздействия на другие природные среды и объекты: аккумулирующие емкости, отстойники, сооружения и устройства для аэрации вод, биологические инженерные очистные сооружения, биологические каналы, экраны;

- строительство опытных установок и цехов, связанных с разработкой методов очистки сточных вод и переработкой жидких отходов и кубовых остатков;

- реконструкция или ликвидация накопителей отходов;

- создание и внедрение автоматической системы контроля за составом объемов сброса сточных вод;

2. Охрана воздушного бассейна:

- установка газопылеулавливающих устройств, предназначенных для улавливания и обезвреживания вредных веществ из газов, отходящих от технологических агрегатов, и из вентиляционного воздуха перед выбросом в атмосферу;

- строительство опытно-промышленных установок и цехов по разработке методов очистки отходящих газов от вредных выбросов в атмосферу;

- оснащение двигателей внутреннего сгорания нейтрализаторами для обезвреживания отработавших газов, создание станций регулировки двигателей автомобилей с целью снижения токсичности отработавших газов, систем снижения токсичности отработавших газов, создание и внедрение присадок к топливам, снижающих токсичность и дымность отработавших газов, и др.

- создание автоматических систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха, оснащение стационарных источников выброса вредных веществ в воздушный бассейн приборами контроля, строительство, приобретение и оснащение лабораторий по контролю за загрязнением атмосферного воздуха;

- установка устройств по дожигу и другим методам доочистки хвостовых газов перед непосредственным выбросом в атмосферу;

- оснащение установками для утилизации веществ из отходящих газов;

- приобретение, изготовление и замена топливной аппаратуры при переводе на сжигание топлива других видов или улучшение режимов сжигания топлива;

3. Использование отходов производства и потребления:

- строительство мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов, а также полигонов для складирования бытовых и промышленных отходов;

- приобретение и внедрение установок, оборудования и машин для переработки, сбора и транспортировки бытовых отходов с территории городов и других населенных пунктов;

- строительство установок, производств и цехов для получения сырья или готовой продукции из отходов производства.

В рамках системного подхода в экономической науке часто требуется проведение анализа по уровням иерархии экономических систем. Соответственно, природоохранные мероприятия могут быть разделены на локальные, регио-

нальные и глобальные. В масштабе предприятий, как правило, осуществляются локальные мероприятия, область действия которых распространяется на место их расположения. Региональные природоохранные мероприятия имеют характер природоохранных мер и находятся в компетенции региональных и местных властей (за исключением природоохранных мероприятий, проводимых крупными корпорациями, деятельность которых имеет региональный масштаб). Глобальные природоохранные мероприятия характеризуются континентальным масштабом распространения, проводятся на международном уровне и воздействуют на деятельность предприятий опосредованно.

Еще один важнейший принцип классификации в экономике – отраслевой. По отраслевой принадлежности природоохранные мероприятия делятся на мероприятия в электроэнергетике, атомной промышленности и энергетике, в металлургии, машиностроении, в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, в химической, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, в сельском и лесном хозяйстве и т.д.

Экономика предприятий нуждается в возможности разделения мероприятий по группам статей затрат, поэтому есть смысл использовать признак однородности и природоохранные мероприятия группировать как базовые и комплексные. Комплексные природоохранные мероприятия состоят из определенного набора базовых мероприятий.

Проведение предприятием деятельности, связанной со снижением негативного воздействия на окружающую среду, вызывает появление внешних эффектов, известных в экономической науке как экстерналии. По характеру проявления временных экстерналий можно классифицировать природоохранные мероприятия на прямые и косвенные. Прямые мероприятия вызывают положительные изменения в объекте, на который они направлены, в данное время и в данном месте, а косвенные – вторичные положительные эффекты, проявляющиеся через какой-либо промежуток времени. Как правило, косвенные природоохранные мероприятия являются производными от прямых мероприятий и носят скрытый характер вследствие сложной структуры причинно-следственных взаимосвязей в процессе изменения условий функционирования предприятий.

Отдельную группу природоохранных мероприятий, на которые выделяются средства как государством, так и предприятиями, составляет экологическое просвещение, подготовка кадров. Оно проводится как в масштабе государства, так и на уровне отдельно взятых предприятий.

Особой значимостью обладают природоохранные мероприятия, которые относятся к научно-исследовательским работам:

- разработка экспресс-методов определения вредных примесей в воздухе, воде и почве;
- разработка нетрадиционных методов и высокоэффективных систем и установок для очистки отходящих газов промышленных предприятий, утилизации отходов;

- разработка технологических процессов, оборудования, приборов и реагентов, обеспечивающих глубокую переработку сырья с утилизацией образующихся отходов;
- совершенствование методов обезвреживания твердых бытовых отходов с целью предотвращения попадания в природные среды тяжелых металлов и ксенобиотиков;
- проектно-изыскательские и опытно-конструкторские работы по созданию природоохранного оборудования, установок, сооружений, предприятий и объектов, прогрессивной природоохранной технологии методов и средств защиты природных объектов от негативного воздействия.

Различия, которые существуют в составе и технологии выполнения природоохранных мероприятий, а также в их назначении, могут быть заложены в основу классификации природоохранных мероприятий на предприятии. Поскольку природоохранные мероприятия на предприятии предполагают создание природно-защитной системы, охватывающей все основные аспекты его деятельности, их можно разделить на четыре взаимообусловленные группы:

- 1) организационно-технические;
- 2) инженерные;
- 3) технологические;
- 4) экологические [6].

Схематично данная классификация приведена на рис. 1.

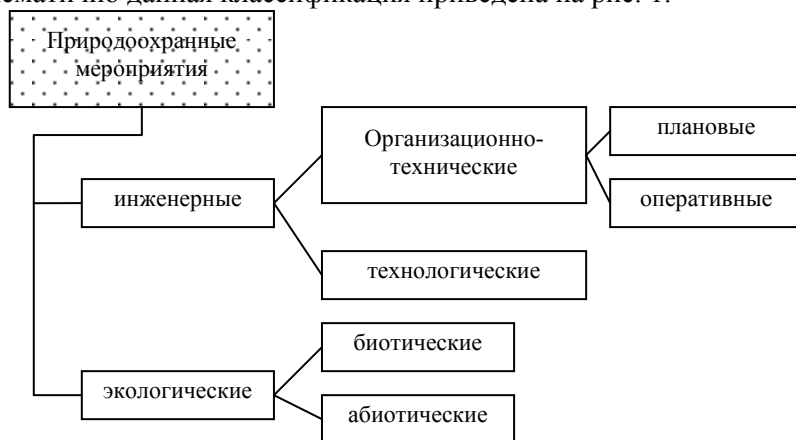


Рис. 1. Классификация природоохранных мероприятий в целях экономики предприятия

Организационно-технические мероприятия направлены на четкое соблюдение технологического регламента осуществления природоохранных работ, контроля за работой оборудования, его техническим состоянием, качеством сырья, нормой его использования. Они неразрывно связаны с блоком организационно-технических мероприятий основного производства.

Все организационно-технические мероприятия обычно делятся на плановые и оперативные.

Плановые природоохранные мероприятия осуществляются в соответствии с долговременной программой деятельности предприятия, в точно намеченные сроки, с учетом перспектив развития предприятия. Они находят отражение в стратегии развития предприятий. Основу плановых мероприятий составляют мероприятия, обеспечивающие поступательное развитие производства, рациональное расположение его структур. Например, при проектировании новых цехов, производств, необходимо учитывать расположение других источников загрязнения биосферы, пути и режимы движения транспорта, предусматривать устройство санитарно-защитных зон и др. Кроме того, к плановым относятся мероприятия по обращению с отходами.

Оперативные природоохранные мероприятия требуют использования резервных финансовых средств предприятий. Это незапланированные природоохранные мероприятия, необходимые в случае возникновения непрогнозируемых, чрезвычайных ситуаций на предприятии или в природной среде. Такие ситуации могут привести к авариям: разрушению систем водоотведения, сбросу токсичных сточных вод в поверхностные и подземные водные источники, пожару и др. Возникает необходимость в осуществлении компенсирующих выплат за сверхлимитные выбросы и сбросы. Значительный экономический ущерб не только регионального, но и более широкого масштаба, возникает в связи с такими неблагоприятными ситуациями в природной среде, как землетрясения, опасные явления погоды, извержения вулканов, цунами и т.д.

Требования учета экологических и природоохранных нормативов могут стать толчком к проведению реконструкции предприятий, которой сопутствуют значительные экономические затраты. Ярким тому примером являются инженерные мероприятия в природоохранной сфере, направленные на совершенствование технологических процессов, создание новых машин и оборудования, механизмов, материалов, используемых при производстве продукции, изделий. Инженерные мероприятия, по существу, объединяют в себе технологические и организационно-технические.

С точки зрения получения долговременного экономического эффекта, особый интерес представляет осуществление технологических природоохранных мероприятий, направленных на повышение уровня экологичности технологических процессов и выпускаемой на их основе продукции. При проектировании, создании новых процессов и аппаратов, машин и оборудования наряду с экономическими условиями обязательно должны приниматься в расчет интересы экологического характера. Производственные технологии должны максимально обеспечить безотходность процессов, энергосбережение и экологическую безопасность объекта. Для реализации этих положений необходимо предусматривать в технологии производства продукции сооружения по улавливанию жидких и газовых выбросов, системы локальной очистки, меры по утилизации отходов. В случае сброса загрязнений в водоемы или атмосферу, должно обеспечиваться самовосстановление, самоочищение загрязнений природной средой без ущерба для нее.

Экологические природоохранные мероприятия микро- уровня обычно изложены в экологической политике фирм. Они тесно взаимосвязаны с первыми тремя видами мероприятий, поскольку обобщают экологическую направленность деятельности предприятия. Помимо отдельных аспектов уже перечисленных мероприятий, сюда будет отнесена и работа по проведению экологического просвещения кадров, НИР в области охраны природы, работа по формированию экологической культуры организации.

В особую группу экологических мероприятий выделяются абиотические и биотические. Их проведение предусматривается на стадии проектирования предприятий. Абиотические мероприятия основаны на действии естественных физических и химических процессов, протекающих во всех составляющих биосферы, которые позволяют снизить опасность от вредного антропогенного воздействия. Биотические мероприятия основаны на использовании способности живых организмов обеспечивать функционирование и развитие экологических систем в зоне влияния производства. К ним относится биологическая рекультивация почв и грунтов, биологическая очистка сточных вод с помощью специальных микроорганизмов или растительности.

Представленные в данной работе варианты классификации природоохранных мероприятий создают основу для повышения экономической эффективности природоохранной деятельности на всех уровнях экономической системы – от макроуровня до уровня отдельно взятого предприятия, так как:

- 1). дают возможность более четко выделить функции государства в сфере производства такого общественного блага, как охрана окружающей среды;
- 2). заставляют пересмотреть методику учета природоохранных затрат в системе учета затрат предприятия.

Литература

1. Ахинов Г.А. Основы экономики социальной сферы: Курс лекций. – М.: Экономич. фак-т МГУ, ТЭИС, 2003. – 148 с.
2. Исфорт Г. Производственный процесс и окружающая среда. – М.: Прогресс, 1983. – 270 с.
3. Демина Т.А. Учет и анализ затрат предприятий на природоохранную деятельность. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 112 с.
4. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды: Приказ Госкомэкологии России от 15 февраля 2000 г. № 77.
5. Крепша Н.В. Экономика природопользования и природоохранной деятельности: учебное пособие / Н.В. Крепша; Национ. исслед. Томск. Политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. – 168 с.
6. Найдено В.В., Губанов Л.Н., Катков Н.И. Природоохранная деятельность на предприятии. – Нижний Новгород, 2002. – 155 с.
7. Сердитова Н.Е. Экономика природопользования: эколого-экономический аспект // Уч. зап. РГМУ, 2007, № 4, с. 149-165.
8. Ущерб от аварии на Фукусиме достигнет 125 миллиардов долларов [Электронный ресурс] // "Лента.Ру" /Издание Rambler Media Group. – М.: Средство массовой информации. – Режим доступа к сайту: <http://lenta.ru/news/2012/11/07/fukushima/>

СОЦИАЛЬНО- ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

В.Л. Товбина

**НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА – ВАЖНЫЙ ФАКТОР
ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

V.L. Tovbina

**A NEW ENVIRONMENTAL (ECOLOGICAL) PARADIGM
AN IMPORTANT FACTOR IN ENSURING
OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

На основе анализа Концепции устойчивого развития в статье показывается, что основная идея социоприродного перехода к устойчивому развитию заключается не только в стабильном продолжении существования человечества, но и в его дальнейшей эволюции. Важным фактором обеспечения устойчивого развития и перехода к нему должна стать новая экологическая парадигма, формирующаяся на принципах коэволюции.

Ядром новой экологической парадигмы и новой экологической культуры является экоцентрическое экологическое сознание, формировать которое призвано глобальное экологическое образование.

Ключевые слова: устойчивое развитие, экологическая парадигма, коэволюция, антропоцентризм, экоцентризм, экологическое сознание, экологическая культура, экологическое образование.

On the base of Sustainable Development Concept the author demonstrates the fact that the main idea of socio-natural transition to the sustainable development process lies not only in the stable continuation of the world humanity existence, but in its further evolution. A new environmental (ecological) paradigm, being formed on the co-evolution principles is to become an important factor in ensuring the process of transition towards sustainable development.

The core of the new environmental (ecological) paradigm and the new environmental culture is based on ecocentric environmental consciousness, the formation of which is to be carried out by global environmental education.

Key words: sustainable development, environmental (ecological) paradigm, co-evolution, anthropocentrism, eco-centrism, environmental (ecological) consciousness, environmental (ecological) culture, environmental (ecological) education.

Стихийное развитие цивилизации привело к многообразным и масштабным кризисным явлениям в окружающей среде. Не осталось ни одной жизненно важной для существования человека сферы, не подвергшейся разрушительному воздействию этого развития – от озонового слоя атмосферы, опустыненных

ландшафтов и истощенных экосистем Мирового океана до повреждений генома, вызванных загрязнением окружающей среды. Уже нет сомнений, что сохранение нынешнего характера развития ведет к экологической катастрофе. Человечество не может двигаться к своему будущему вслепую, решая локальные задачи, связанные с состоянием окружающей среды. Оно должно в определенных аспектах конструировать будущее, чтобы сами элементы деятельности – демографическая и социальная политика, формы экономического и технологического развития – были предпосылкой и этапами перехода к экологически устойчивому развитию. Краткосрочные цели при этом не должны входить в противоречие с долгосрочными задачами стратегии устойчивого развития [19].

Концепция устойчивого развития

Понятие «*устойчивого развития*» достаточно глубоко раскрыто во многих трудах отечественных ученых: Н.П. Ващекина, В.И. Данилова-Данильяна, М.А. Мунтяна, А.Д. Урсула, Т.А. Урсул, Ф.Д. Демидова, А.А. Брудного, Д.Н. Кавтарадзе, Н.М. Мамедова, Н.Н. Марфенина и др. Однако, к сожалению, эта актуальнейшая тема обсуждается преимущественно в профессиональных кругах. Сущность же устойчивого развития состоит в том, что его успех связан с вовлеченностью всех категорий населения, вне зависимости от возраста, профессии и общественного положения.

Основополагающую роль в осознании того, что проблемы окружающей среды составляют критически важный аспект социально-экономического развития, сыграла состоявшаяся в 1972 г. в Стокгольме Конференция ООН по проблемам окружающей среды, на которой была принята Декларация по проблемам окружающей среды, а затем создана ЮНЕП – организация ООН по проблемам окружающей среды.

Концепция устойчивости (sustainability) развития в ее современном понимании впервые появилась в 1974 г. в документах Всемирного совета церквей в ответ на реакцию развивающихся стран о преувеличенности опасений относительно состояния окружающей среды в таких условиях, когда миллионы людей страдают от нищеты и голода.

Предложенная концепция «устойчивого общества», касающаяся социально-экономического развития, выдвигала следующие положения [12, с. 343]: «Во-первых, социальная устойчивость не может быть достигнута без равномерного распределения того, что является дефицитным, или без возможности совместного участия в решении социальных проблем. Во-вторых, глобальное общество не может быть устойчивым, если потребности в пище в любое время не будут значительно ниже глобального уровня их обеспечения, а уровень выбросов загрязнений – ниже способности их аккумуляции экосистемами. В-третьих, новая социальная организация окажется устойчивой лишь при условии, что масштабы использования невозобновляемых природных ресурсов не превзойдут рост ресурсов за счет технологических инвестиций. Наконец, устойчивое функционирование общества требует такого уровня активности общества, на

который не могут негативно повлиять никогда не прекращающиеся сильные и частые природно обусловленные изменения глобального климата».

В 1980 г. концепция устойчивого развития (sustainable development) была выдвинута Международным союзом охраны природы и природных ресурсов. В 1983 г. была создана Международная комиссия по проблемам окружающей среды и развитию; она разработала основные положения концепции устойчивого развития, которые приобрели особенно широкую известность после опубликования в 1987 г. отчета «Наше общее будущее», подготовленного Комиссией ООН по окружающей среде и развитию под председательством Гро Харлем Брунтланд (Gro Harlem Brundtland). Согласно «Отчету Брунтланд», устойчивое развитие определено как такое, которое удовлетворяет потребности современного поколения, не нанося ущерба будущим поколениям. В этой связи было особенно подчеркнуто значение равенства как внутри поколений, так и между ними [8].

Концепция устойчивого развития (УР) быстро приобрела широкую популярность. На происходившей в 1992 г. в Рио-де-Жанейро Конференции ООН по окружающей среде и развитию концепция была поддержана руководителями государств и правительств многих стран: на конференции в числе прочих участников работали 114 глав государств и дипломаты из 178 стран (в том числе из России). Для перехода к реальным действиям по реализации устойчивого развития главами государств и правительств был подписан и принят к исполнению документ «Повестка 21». Число 21 – порядковый номер документа в системе регистрации ООН – стало основанием для метафорического названия «Повестка дня на XXI век».

Итак, согласно концепции устойчивого развития, главное противоречие современного развития состоит в несоответствии между растущими потребностями человечества и возможностями биосферы. Цель устойчивого развития – повышение качества жизни каждого с сохранением возможностей для жизни будущих поколений.

В основе концепции лежит целостный подход к решению проблем развития с учетом экологических, экономических и социальных аспектов; участие различных слоев и групп населения (общественности) в процессе принятия решений и реализации планов; повышение качества жизни людей с максимально возможным сохранением условий и ресурсов окружающей среды.

В соответствии с тремя взаимосвязанными аспектами окружающей среды, устойчивое развитие включает в себя три необходимых компонента: экономическую эффективность, социальное равновесие и сохранение природного потенциала. Именно от учета особенностей каждого сектора, признания его важности и установления взаимосвязей между ними зависит успешность продвижения идей устойчивого развития. Это обязательно должно учитываться, так как только в этом случае развитие будет устойчивым. В случае, если внедрение в окружающую среду происходит без учета этих взаимосвязей, возникает разбалансировка системы, что влечет за собой необратимые изменения, разрушение и возникновение новой системы. К сожалению, эти взаимосвязи далеко не

всегда осознаются лицами, принимающими решения, и довольно часто выбор делается в пользу экономической составляющей. Иногда сопутствующим или ведущим фактором становится социальный компонент – количество рабочих мест на предприятии, строительство различных социальных объектов и др. Именно на эти два фактора – экономический и социальный – обычно делается ставка, связанная с развитием региона. Природный потенциал забывается и становится вторичным по отношению к вышеуказанным. Но ведь без учета экологической составляющей, без понимания процессов, происходящих в экологической системе, деятельность человека грозит обернуться катастрофой. Осознавая это, современные ученые стремятся выработать в русле Концепции УР единую стратегию перехода к устойчивому экологическому развитию. Но, к сожалению, ее выработке препятствуют серьезные концептуальные противоречия.

В истории европейской культуры наблюдались два типа взаимоотношений общества и природы, две парадигмы развития этих взаимоотношений. *Антропоцентристская парадигма* культуры, ставящая человека в центр мироздания, возникла на базе мировоззрения гуманизма. Ее сторонники (от Декарта до Канта) считали человека господином и хозяином природы. Утилитаризм как частный случай антропоцентризма, утилитарное отношение к природе, утилитарная этика и мировосприятие вообще признают только объекты и ценности, которые находятся в пределах интересов человека. Они существуют и преобладают и сегодня, но в конце XX столетия начала утверждаться альтернативная антропоцентризму и экономически утилитарному подходу к природе парадигма, получившая название *экологической, экоцентристской парадигмы* [3].

Одними из первых в западной науке к парадигматическому переосмыслению взаимоотношений человечества и биосферы пришли американские ученые Каттон и Данлеп (Catton W.R., Dunlap R.E.). Еще в 70-е годы прошлого века они следующим образом сформулировали *различия антропоцентристской парадигмы* человеческой исключительности (*старой*) и *экологической (новой) парадигмы*: 1) в отличие от принципа исключительности человека по отношению к остальным животным в новой парадигме человек является одним из многих живых существ, включенных в глобальную биофизическую среду; 2) если в антропоцентристской парадигме социальные и культурные факторы, включая технологию, являлись главными детерминантами активности, деятельности людей, то новая парадигма постулирует сложную и не всегда предсказуемую зависимость человека от биофизической среды, поскольку человеческая активность включена в сложные причинно-следственные и обратные связи с природой; 3) ранее предполагалось, что культура кумулятивна, что социальный и технологический прогресс может продолжаться бесконечно, теперь люди осознают, что социальный прогресс ограничен экологическими законами, которые не могут быть никем отменены [3, с. 187].

При всем идейном многообразии подходов, научная полемика о возможности перехода к устойчивому экологическому развитию все отчетливее выявляет наличие двух направлений в выявлении путей преодоления глобального экологи-

ческого кризиса, сформировавшихся в рамках двух рассмотренных парадигм. В рамках первого направления дальнейшая экспансия техносферы рассматривается как гибельный путь, ведущий к экологической катастрофе. В этих рамках разрабатывается стратегия выживания, основанная на сохранении природного потенциала биосферы, ее эволюционно сложившихся структур и функций как основных факторов устойчивости экологических процессов, стабилизации окружающей среды в глобальных масштабах, так же как важнейшего источника возобновляемых ресурсов жизнедеятельности человеческого общества. К этому направлению экофилософии прежде всего следует отнести коэволюционную стратегию экоразвития. Согласно данному направлению новая экологическая парадигма развития предполагает коэволюционное развитие природы, человека и общества.

Второе направление представлено различными версиями технократических, ноосферных и экокосмических концепций, доминантная особенность которых – опора на антропогенную реконструкцию природной среды, на идею превращения естественной биосферы в глобальную область перестроенных и «разумно» управляемых экологических, социальных, экономических и др. систем и процессов, которую чаще всего в отечественной научной литературе называют ноосферой. Провозглашая себя последователями учения В.И. Вернадского о ноосфере, авторы современных ноосферных концепций намечают программу преобразований биосферы, которая предполагает переход к «искусственным средствам обеспечения всех природных условий существования людей на земном шаре, вплоть до искусственных средств поддержания биосферного равновесия. В этом случае люди должны будут перейти к тому, что можно назвать искусственным воспроизводством естественной окружающей среды» [9, с. 135].

Создавая свое учение о ноосфере, которое явилось новым взглядом на взаимосвязь человека и природы, В.И. Вернадский предвидел, что воздействие человека на окружающую природу растет столь быстро, что скоро наступит то время, когда человек превратится в основную геологическую силу, формирующую облик Земли. Биосфера перейдет в свое новое состояние, в сферу разума – ноосферу. При этом он со всей очевидностью подчеркивал, что развитие окружающей среды и человеческого общества пойдет неразрывно, начнется их коэволюция (совместная эволюция, в которой невозможно господство интересов одной из сторон) [1]. Следовательно, взгляды апологетов современных ноосферных концепций имеют очень мало общего с идеями В.И. Вернадского, а предлагаемая «новая» экологическая парадигма, включающая программу кардинальной антропогенной реконструкции биосферы, остается по своей сути «старой», антропоцентрической, технократической, природоразрушающей парадигмой.

Итак, необходимость решения современных глобальных проблем привела мировое сообщество к созданию *Концепции устойчивого развития*. Устойчивое развитие рассматривается в настоящее время как процесс гармоничного экономического развития, удовлетворяющий принципам социальной справедливости

и экологической ответственности. Смысл концепции УР раскрывается как развитие, которое обеспечивает удовлетворение потребностей ныне живущих поколений без ущемления возможностей будущих поколений. В рамках концепции УР выделяются в качестве равноправных три основных направления: экологическое, экономическое и социальное. При этом подчеркивается, что решать современные глобальные проблемы необходимо в комплексе, по всем указанным направлениям развития, не умаляя значимости ни одного из них. Но как показывает мировая практика, стратегирование развития во многих странах, к сожалению, и в России строится в основном на учете экономических и социальных факторов, а экологические факторы отодвигаются на второй план.

Тем не менее, надвигающаяся экологическая катастрофа и реально существующий экологический кризис выводят глобальные экологические проблемы на первый план и вносят в сознание людей кардинальные изменения: приходит осознание угрозы человеческому существованию и вместе с тем понимание того, что продолжить человеческое существование возможно только параллельно с обеспечением совместного гармоничного развития с природой, т.е. необходима коэволюция человека и природы.

Стратегия УР в принципе должна обеспечить не только выживание цивилизации, но и реализацию более справедливого во многих отношениях развития. Основная идея глобального социоприродного перехода к устойчивому развитию заключается в выживании, стабильном продолжении существования человечества и его дальнейшей непрерывной эволюции. И забота об удовлетворении потребностей будущих поколений, проявленная в концепции УР, «выражает не осознанную в данный момент времени, но будущую – своего рода опережающую гуманную потребность всего человеческого рода к своему выживанию и темпоральному продолжению» [18, с. 229].

Как видим, рассмотрение проблем перехода к устойчивому развитию существенно повышает интерес к проблеме будущего. Проблема будущего – одна из тем, которая интересовала всех, кто пытался создать целостную историческую концепцию человеческого существования. Например, известный немецкий философ К. Ясперс считал, что без осознания будущего вообще не может быть философского исследования истории.

Правда, он считал, что будущее нельзя исследовать, его можно лишь осознать. По его мнению, исследованию доступно лишь то, что обладает реальностью, т.е. то, что уже произошло. «Будущее же скрыто в прошлом и настоящем, мы видим и примысливаем его в реальных возможностях. По существу, в основе нашего мировоззрения всегда лежит осознание будущего» [23, с. 156]. Можно согласиться с мнением о том, что будущее не может быть исследовано также как прошлое и настоящее. Между тем, сейчас существует направление научного поиска, именуемое «исследования будущего», в которое входят все области, связанные с познанием (осознанием) будущего, включая прогностику и футурологию.

Каким окажется будущее нашей цивилизации после перехода к устойчивому развитию, судить рано, но наметить путь, по которому человечество должно идти в будущее, необходимо. И этот путь, на наш взгляд, лежит через коэволюцию – совместное гармоничное развитие природы и общества.

Новая экологическая парадигма

Одним из первых в отечественной науке, кто попытался объяснить необходимость *коэволюционного развития природы и общества*, был академик Н.Н. Моисеев, чьи работы внесли неоценимый вклад в разработку этой проблемы. Еще в начале 90-х годов прошлого века он писал, что отныне перед человечеством ставится новая цель: не война с природой во имя безудержного сверхпотребления, губительного для людей, а обеспечение коэволюции общества и природы, которая ведет к спасению цивилизации. Принятие термина «коэволюция», по мнению Н.Н. Моисеева, отвергает абсолютность одного из основных принципов, лежащих в основе классического рационализма, – принципа покорения природы, так четко сформулированного Бэконом и столь быстро ведущего нас к экологической катастрофе. Н.Н. Моисеев подчеркивал, что использовать силы природы во благо человека не только можно, но и необходимо, но при этом следует заменить термин *«покорение»* термином *«коэволюция»*. Не умаляя значения и заслуг классического рационализма, Моисеев пытался объяснить необходимость расширения его толкования, необходимость увидеть человека участником событий мировой эволюции, участником того процесса самоорганизации, который он называл «мировым эволюционным процессом». Он подчеркивал, что в этом контексте термин «коэволюция» «представляется наиболее точно отражающим и суть наших основных научных задач, и одну из важнейших мировоззренческих парадигм» [7, с. 87].

По мнению Моисеева, современной цивилизации требуется формирование *«рационального гуманизма»*, что означает, с одной стороны, отказ от абсолютизации Разума в традициях эпохи Просвещения, с другой – утверждение тезиса о симбиозе естественного и искусственного начал в ходе дальнейшей борьбы за выживание. Однако выжить должен именно человек, а не некое роботоподобное существо, а потому критерием свободы научного поиска следует сделать принцип гуманизма, а не техницизма. Последний в этой связи рассматривается лишь как инструментальное дополнение к первому, что и создает в итоге понятие рационального гуманизма, который можно представить как «некую метанауку о месте, целях, возможностях (и технологиях) бытия Человека как органической части Универсума» [6, с. 150]. Новый рационализм (рациональный гуманизм) как образ мышления и основа миропонимания должен изменить представления о картине мира, включив человека в мир природы, в единую систему Универсума, что позволит сделать заметный шаг в сторону преодоления противопоставленности человека и природы. А природа должна, наконец обрести самостоятельную ценность, стать равноправным субъектом взаимодействия с чело-

веком вне зависимости от ее полезности. Насилие должно перестать быть рациональной нормой человеческих действий по отношению к природе [16].

Новый рационализм (рациональный гуманизм) предполагает осознание человеком того факта, что он является таким же носителем общеприродных закономерностей саморазвития (самоосуществления), как и сама природа. Такое понимание человека и его взаимоотношений с природой коренным образом меняет *экологическую парадигму*. В этом случае человек и природа уже не противопоставляются друг другу как разделенные сущности. Напротив, человек рассматривается как такая активно действующая, саморазвивающаяся часть природы, которая реализует в своем самоосуществлении общие универсальные закономерности, лежащие и в основе саморазвития природы в целом. Человек как субъект уже не противопоставляется природе как объекту, он становится субъектом развития природы и себя самого как одной из ее форм – природных форм бытия [11].

Новая экологическая парадигма, предполагающая *коэволюцию человека и природы*, отвергает утвердившуюся в западной культурной традиции *антропоцентрическую экологическую парадигму*, ядром которой стало антропоцентрическое экологическое сознание, для которого характерно выраженное противопоставление человека и природы, где высшей ценностью является сам человек, использующий природу для удовлетворения своих потребностей и не распространяющий на взаимодействие с ней этические нормы и правила.

Утверждение новой экологической парадигмы, новой рациональности, основой которой является рациональный гуманизм, и обеспечение дальнейшего существования человека на Земле возможно только в перспективе формирования нового *экоцентрического экологического сознания*.

Новое экоцентрическое экологическое сознание предполагает: отсутствие противопоставленности человека и природы, осознание их единства; признание самоценности природы; субъектное восприятие мира природы, наделение природных объектов субъектными свойствами и функциями; распространение этических норм и правил как на взаимодействие между людьми, так и на взаимодействие с природой; доминирование непрагматического отношения к природе; осознание необходимости коэволюционного развития природы и человека [2].

Экологическое сознание

В настоящее время центральным понятием и одним из основных предметов исследования философии, социологии, психологии является «*экологическое сознание*», интерес к которому возник с момента внедрения в научное сознание ноосферных идей и которое изучается с позиций не только указанных наук, но и ряда других гуманитарных областей. До сих пор ни в одной из этих областей нет ясного представления о том, что представляет собой экологическое сознание, под воздействием каких условий оно развивается, как формируется в историческом и онтологическом аспекте. Тем не менее, анализ этого понятия необходимо проделать, т.к. без него невозможно приступить к анализу нового *экоцентрического экологического сознания*.

Российская научная мысль создала богатую теоретическую базу для развития представлений об экологическом сознании. Это, в частности, концепция религиозной экологии Н. Федорова, биосферные и ноосферные концепции В.И. Вернадского и А.Л. Чижевского, философские работы по теории этногенеза Л.Н. Гумилева, идеи Д. Андреева. Все перечисленные учения затрагивают этические, экономические, экологические и собственно психологические проблемы человеческого существования в настоящем и будущем. В концепциях русских антропокосмистов присутствуют черты антиутилитаризма, альтруизма и зачастую утопического подхода к реальности. При этом они имеют непосредственное отношение к сегодняшней дискуссии, касающейся причин и возможных путей выхода из глобального экологического кризиса, а их аргументы непосредственно адресованы современной экологической политике и, без сомнения, связаны с вопросами развития и функционирования экологического сознания [20].

В отечественной социологии существует точка зрения, согласно которой концептуальные разработки русских антропокосмистов могут стать теоретической базой для постепенного формирования у членов общества сбалансированного, гармоничного отношения к природе, т. е. идейно-теоретической основой формирования *экочеловека*. И.А. Шмелева справедливо отмечает, что с первой частью данного тезиса невозможно не согласиться, но вторая вызывает серьезные опасения. Например, согласно Ю.Н. Пахомову, *экочеловек* – это такой тип человека, который всю свою жизнедеятельность согласует с законом эволюции биосферы в ноосферу, способствует и осознает объективность и необратимость этого процесса. Этап, когда биосфера окончательно перейдет в новое устойчивое состояние – ноосферу, будет означать появление человека нового типа. Но вопрос о переходе биосферы в ноосферу все еще не получил научно обоснованных доказательств и может рассматриваться только в качестве научной гипотезы. Значительно более реалистичными представляются идеи развития экологического сознания, разрабатываемые в рамках философии, социологии и психологии, и формирование на его основе «экологического» поведения, или поведения в рамках концепции УР [20].

В современной российской философии и психологии существует ряд концепций, которые могут рассматриваться в качестве методологической основы изучения экологического сознания. Это концепция психического взаимодействия организма со средой Н. Грота, философские идеи М.В. Бахтина и М. Мамардашвили, философские и психологические идеи С.Л. Рубинштейна, концепция комплексного человекознания Б.Г. Аннаньева, теория отношений В.Н. Мясищева, концепция развития Л.С. Выготского, принципы системного описания В.А. Ганзена, математико-психологическая теория деятельности Г.В. Суходольского, разработки современных российских исследователей по проблемам сознания – В.М. Аллахвердова, А.Ю. Агафонова, Е.В. Улыбиной, Г.В. Аكوпова, В.Л. Райкова, В.П. Зинченко, А.И. Валитовой и др. Экологическое сознание анализируется и обсуждается в психологических работах А.А. Калмыкова,

С.Д. Дерябо, В.А. Ясвина, В.И. Медведева, А.А. Алдашевой, В.И. Панова, И.А. Шмелевой и др., но проблема его системного психологического описания остается открытой.

Одно из первых определений экологического сознания, которое можно было найти в литературе, было предложено А. А. Брудным и Д. Н. Кавтарадзе еще в начале 80-х годов прошлого века. Для разработки программы «Экополис» авторами было принято следующее рабочее определение экологического сознания: «Это компонент сознания как системы, непосредственно отражающий взаимную связь природных условий человеческой жизнедеятельности и общественного бытия. Этот компонент имеет тенденцию к расширяющемуся охвату явлений действительности (в силу чего экологическое сознание иногда именуют «расширенным сознанием»). Активное отражение взаимосвязей между природными и социальными условиями человеческого существования порождает новые формы освоения действительности» [20].

По мнению В. И. Медведева и А. А. Алдашевой, экологическое сознание можно рассматривать как некое отражение в сознании процессов взаимодействия между человеком как организмом и человеком как личностью, с одной стороны, и обществом и окружающим миром – с другой, в тех аспектах биологической и социальной жизни, которые обусловлены природными факторами. С этих позиций экологическое сознание можно рассматривать как очень сложную, саморегулирующуюся (то есть имеющую возможность менять цели, функции и звенья) систему, сформированную для решения задач установления стабилизации или изменения взаимоотношений с природой и ее объектами, возникающих в процессе удовлетворения человеком своих потребностей [5].

Известно, что научный поиск почти никогда не идет по прямой, а чаще всего движется по спирали, затягивая в свою воронку смежные и пересекающиеся проблемы, периодически возвращаясь к уже рассмотренным вопросам, но на принципиально новом уровне обобщения. Именно таким образом строится логика рассмотрения проблемы психологии экологического сознания в исследовании И.А. Шмелевой, начиная с предметной области, изучающей данный тип сознания, и заканчивая обсуждением возможных сфер приложения знаний об экологическом сознании и развитием новых прикладных психологических областей. Шмелева отмечает, что отражая различные аспекты взаимодействия с окружающей средой, экологическое сознание представляет собой определенный пласт в сознании человека и существует на индивидуальном и общественном уровне. Степень его развития непосредственно влияет на формирование «картины мира», системы ценностей, установки и мотивы деятельности и поведения человека и на соблюдение моральных и этических норм по отношению к природе, на оценку экологического риска, на способы преодоления конфликтов и принятие управленческих и политических решений, касающихся окружающей среды [20].

В наиболее разработанном виде подход к проблеме *экологического сознания* представлен в отечественной психологии работами С.Д. Дерябо и В.А.

Ясвина. Согласно этому подходу, экологическое сознание и его структура определяются как совокупность:

- представлений (как индивидуальных, так и групповых) о взаимосвязях в системе «человек–природа» и в самой природе;
- субъективного (личностного) отношения человека к миру природы;
- соответствующих стратегий и технологий взаимодействия человека с миром природы;
- жизненных ценностей этического плана, диктующих необходимость экологически ориентированных ценностей.

В своих работах С.Д. Дерябо и В.А. Ясвин убедительно показывают, что осознание необходимости перехода к новому типу человеческого сознания имеет свои философские и естественнонаучные истоки. В первую очередь это сложившаяся во второй половине XIX в. в России и уже упоминавшаяся нами система представлений, которая получила название русского космизма (антропокосмизма). Носителями этих идей были выдающиеся мыслители: И. Киреевский, В. Соловьев, Н. Федоров и многие другие. Их центральной идеей было утверждение о том, что человек – составная часть природы, что их не следует противопоставлять, а необходимо рассматривать в единстве, что человек и все, что его окружает, это частицы единого, Вселенной. Они считали, что необходима новая моральная основа взаимодействия человека с природой, смена принципов развития цивилизации. Например, Н.Ф. Федоров в своей «Философии общего дела» в 90-х годах позапрошлого века, когда до экологического кризиса в его технократическом выражении было еще очень далеко, писал: «Цивилизация эксплуатирующая, а не восстанавливающая, не может иметь иного результата, кроме ускоренного конца» [1, с. 75].

Следующим шагом в развитии нового взгляда на взаимосвязь человека и природы стало учение о ноосфере В.И. Вернадского (оно уже кратко рассматривалось в данной работе).

В продолжение своей аргументации С.Д. Дерябо и В.А. Ясвин привлекают так называемую универсальную этику (Г. Торо, М.Ганди, А. Швейцер), которая сыграла несомненную роль в преодолении взглядов на природу как на простой объект человеческих манипуляций. Универсальная этика не проводит разграничения между ценностью человека и другими живыми существами: жизнь насекомого столь же ценна, как и жизнь человека, иными словами, представители природы такие же полноправные субъекты, как и человек. Ее важнейший постулат заключается в утверждении необходимости распространения сферы действия человеческой этики на все природное. Как показывают эти же авторы, в последнее время идеи универсальной этики находят все больше сторонников в разных странах среди ученых в различных областях науки: например, эколог О. Леопольд – в США, культуролог Г.Д. Гачев – в России, философ В. Хесле – в Германии и др. Все они считают, что на природу нельзя смотреть только как на материал, сырье для труда и «окружающую среду», т.е. утилитарно-эгоис-

тически, как подходят к ней в сфере производства, техники и в точных науках. Природу надо воспринимать как самоценность и понимать как субъект.

Проделанный С.Д. Дерябо и В.А. Ясвиным подробный научный анализ социогенеза экологического сознания позволил им выделить следующие *типы экологического сознания*:

– *архаический*, выражающий такое отношение человека к природе, когда он еще не выделяет себя из мира природы, не противопоставляет себя ему и полностью зависит от сил природы;

– *антропоцентрический*, предопределяющий потребительское и эксплуататорское отношение к природе;

– *экоцентрический*, предопределяющий экологически-ориентированное отношение человека к природе.

Понимание того, что антропоцентрическое экологическое сознание заводит в тупик, является психологической базой экологического кризиса, привело к возникновению на западе во второй половине прошлого века так называемой новой «*инвайронментальной парадигмы*» (*New Environmental Paradigm*), для которой характерны следующие постулаты:

1) Хотя человек и обладает исключительными характеристиками (культура, технология и т.п.), он остается одним из множества видов на Земле, взаимозависимых и включенных в единую глобальную экологическую систему.

2) Человеческая деятельность обусловлена не только социальными и культурными факторами, но и сложными биофизическими, экологическими связями, в которые человек включен и которые налагают на его деятельность определенные физические и биологические ограничения: человек живет не только в социальном, но и природном контексте.

3) Хотя человеческий интеллект позволяет существенно расширить возможности существования человека в социальной и природной средах, тем не менее, экологические законы не утрачивают для него своей обязательности [2].

Опираясь на результаты анализа социогенеза экологического сознания, на его философские и естественнонаучные истоки, на новую «*инвайронментальную парадигму*», на идеи Н.Н. Моисеева о коэволюционном развитии природы и общества, Дерябо и Ясвин сформулировали следующие *особенности экологического сознания*, которое они назвали *экоцентрическим*:

1) Высшую ценность представляет гармоничное развитие человека и природы. Природное признается изначально самоценным, имеющим право на существование «просто так», вне зависимости от полезности или бесполезности и даже вредности для человека. Человек не собственник природы, а один из членов природного сообщества.

2) Отказ от иерархической картины мира. Человек не признается обладающим какими-то особыми привилегиями на том основании, что он имеет разум, наоборот, его разумность налагает на него дополнительные обязанности по отношению к окружающей его природе. Мир людей не противопоставлен миру природы, они оба являются элементами единой системы.

3) Целью взаимодействия с природой является максимальное удовлетворение как потребностей человека, так и потребностей всего природного сообщества. Воздействие на природу сменяется взаимодействием.

4) Характер взаимодействия с природой определяется своего рода «экологическим императивом»: правильно и разрешено только то, что не нарушает существующее в природе экологическое равновесие.

5) Природа и все природное воспринимается как полноправный субъект по взаимодействию с человеком.

6) Этические нормы и правила равным образом распространяются как на взаимодействие между людьми, так и на взаимодействие с миром природы.

7) Развитие природы и человека мыслится как процесс коэволюции, взаимовыгодного единства.

8) Деятельность по охране природы продиктована необходимостью сохранить природу ради нее самой.

Таким образом, по мнению авторов данного подхода к трактовке экологического сознания, *экоцентрический тип экологического сознания* – это система представлений о мире, для которой характерны: 1) ориентированность на экологическую целесообразность, отсутствие противопоставленности человека и природы, 2) восприятие природных объектов как полноправных субъектов, партнеров по взаимодействию с человеком, 3) баланс прагматического и непрагматического взаимодействия с природой [2, с. 12-13].

В этой связи заслуживает внимания точка зрения В.И. Панова, который считает, что в определении экоцентрического экологического сознания, данного С.Д. Дерябо и В.А. Ясвиным, сохраняется некоторая отстраненность человека от природы, когда человек начинает понимать, что он и окружающая его природа входят как части в единую экосистему «человек–природа», и что природа обладает самоценностью своего существования и имеет право на свои собственные закономерности развития, которые нельзя не учитывать человеку в своей жизнедеятельности. В.И. Панов считает, что для преодоления отстраненности от природы человек должен обладать еще одним элементом экологического сознания – *природоцентрическим*, когда человек осознает свое полное единство с природой как единство принципов своего развития с универсальными принципами развития природы, когда система «человек–природа» понимается как единый субъект совместного развития, становление которого осуществляется посредством взаимодействия человека и природы на основе универсальных принципов бытия. В.И. Панов предлагает в дополнение к антропоцентрическому и экоцентрическому типам экологического сознания ввести понятие о природоцентрическом типе экологического сознания, т.е. таком типе сознания, психологической основой которого является непосредственное переживание единства с миром природы. Только в этом случае человек будет ощущать и вести себя как экологический субъект развития природы... [11, с. 100, 136].

В настоящее время появляется все больше ученых, которые выделяют в качестве доминанты цивилизационной парадигмы новую *экоцентрическую экологию*.

гическую культуру. Как отмечает И.В. Цветкова: «Аксиологический анализ концепций развития цивилизации позволил определить в качестве доминанты новой цивилизационной парадигмы экологическую культуру, ценности которой противоположны ценностям современного потребительского общества. С понятием «экологическая культура» в современных философско-культурологических работах все чаще связывается благополучное развитие человеческой цивилизации» [11, с. 76].

Сегодня, на пути к устойчивому экологическому развитию перед человечеством остро стоит проблема формирования *новой общечеловеческой экологической культуры*, предполагающей новое экоцентрическое экологическое сознание и новые природоориентированные, природосберегающие виды и способы взаимодействия с природой. Ее формирование, на наш взгляд, является главной целью общественного развития как во всемирном масштабе, так и на уровне отдельных стран, народов и конкретных людей. Более подробный анализ экологической культуры и проблем ее становления представлен в статье, ранее опубликованной автором в этом журнале [15].

Образование для устойчивого развития

Важнейшая роль в деле формирования нового экологического сознания и новой экологической культуры отводится *образованию для устойчивого развития*. Генеральная ассамблея ООН объявила период с 2005 по 2014 г. «Десятилетием образования для Устойчивого развития» под эгидой ЮНЕСКО. В 2004 г. Европейская экономическая Комиссия ООН разработала «Стратегию образования для устойчивого развития», которая обозначила в качестве основной цели включение ее в системы формального образования в рамках всех существующих дисциплин, а также в программы неформального образования и просвещения, что, по мнению авторов стратегии, должно вооружить человечество знаниями и содействовать тем самым продвижению в направлении устойчивого развития [14]. В основе этой стратегии была заложена идея подготовки специалистов различного уровня, способных, как на национальном, так и международном уровне принимать решения в области экологически ориентированного социально-экономического развития. Очевидно, что принимать такие решения способны только специалисты, обладающие новым экологическим сознанием и новой экологической культурой экоцентрического типа.

В последнее десятилетие на различных международных форумах постоянно подчеркивается важность экологического образования для обеспечения устойчивого развития. Так, на XIV международной конференции «Образование в интересах устойчивого развития», проходившей в нашей стране в 2008 г., очередной раз было отмечено, что экологическое образование остается важнейшим фактором устойчивого развития общества. Оно направлено на кардинальное изменение сознания людей в отношении природы Земли, сложившихся стереотипов мышления и поведения, механизмов экономики и социального развития, на принятие каждым государством и каждым человеком новых принципов эти-

ки, культуры и справедливости, базирующихся на системе ограничений, запретов, диктуемых законами развития биосферы [10].

Особая роль в формировании нового экологического сознания будущих специалистов принадлежит экологическому образованию в технических вузах, поскольку именно в них технократическая парадигма мышления, свойственная западной культурной традиции, продолжает главенствовать до сих пор, тиражируя сложившийся антропоцентрический тип экологического сознания и экологической культуры. В этой связи в некоторых наших вузах естественнонаучного и технического профиля была введена новая учебная дисциплина «*Экологическая психология и педагогика*» или «*Экопсихопедагогика*», изучение которой в полной мере направлено на формирование нового экологического сознания и новой экологической культуры студентов – будущих организаторов производственной деятельности, направленной на взаимодействие с природой.

Базовой частью учебной дисциплины является *экологическая психология* – относительно новое направление в современной науке, возникшее на западе в 70-е годы XX в. на стыке социальной экологии и психологии. В отечественной науке экологическая психология стала формироваться в середине 90-х годов прошлого века как своеобразный ответ науки на вызов эпохи. Главной причиной формирования экологической психологии послужило осознание мировым сообществом того факта, что современный экологический кризис невозможно преодолеть без изменения господствующего в мире антропоцентрического экологического сознания и соответствующей ему экологической культуры.

Проблемы преподавания экологической психологии в основном связаны с проблемами методологического характера. До сих пор существуют определенные трудности даже в понимании самого термина «экологическая психология». Этот термин часто используется для названия ряда отличающихся друг от друга направлений и областей психологических исследований, кроме этого, в одной и той же научной работе можно встретить использование терминов «экологическая психология», «психологическая экология», «психология окружающей среды» как полных синонимов, т.е. для обозначения одной и той же области исследований. Подмена и смешение понятий, вызванные трудностями становления различных направлений психологических исследований, сильно затрудняют формулирование предмета экологической психологии.

Методологической основой преподавания экологической психологии в нашем вузе (РГГМУ) является наиболее распространенный в отечественной науке подход к пониманию сути экологической психологии как *психологии экологического сознания*, предложенный С.Д. Дерябо и В.А. Ясвиным в 90-е годы прошлого века. Они предложили дифференцировать понятия и предметы изучения смежных дисциплин, занимающихся исследованием различных экологических аспектов в психологии, и выделили их принципиальные различия. Во-первых, если психология окружающей среды анализирует взаимодействие человека со всей средой (природной и антропогенной), а психологическая экология – воздействие на психику человека экологических факторов всей среды, то в эколо-

гической психологии анализируется взаимодействие человека только с миром природы. Во-вторых, в психологии окружающей среды природа исследуется именно как «среда», в психологической экологии – как фактор среды, а в экологической психологии – как «мир природы», т.е. как совокупность конкретных природных объектов и комплексов, взятых в их единичности и неповторимости.

Согласно данному подходу, предметом исследования в экологической психологии является *экологическое сознание*, рассматриваемое в социогенетическом, онтогенетическом и функциональном аспектах. При этом под *экологическим сознанием* понимается совокупность экологических представлений, существующего отношения к природе, а также соответствующих стратегий и технологий взаимодействия с ней. Исходя из такого понимания экологического сознания (многие авторы выделяют в структуре экологического сознания другие компоненты), формулируются *основные направления* исследований в экологической психологии: исследование экологического сознания в целом, а также трех его подструктур – экологических представлений, субъективного отношения к природе, стратегий и технологий взаимодействия с ней.

В рамках представленного подхода формулируются *основные задачи* экологической психологии: создание типологии как индивидуального, так и исторически сложившегося общественного экологического сознания; анализ развития экологического сознания в процессе социогенеза и онтогенеза; анализ механизмов формирования и функционирования экологических представлений; анализ индивидуальной и групповой специфики экологического сознания в различных социально-профессиональных группах; разработка принципов и методов диагностики; изучение функций, которые может осуществлять взаимодействие человека с миром природы [2].

Как уже отмечалось, данный подход является наиболее распространенным в отечественной науке, но он далеко не единственный. Кроме этого дальнейшее развитие экологической психологии и смежных дисциплин порождает новые подходы к пониманию сути экологической психологии, формулированию ее предмета, исследовательских направлений и задач. С методической точки зрения было бы неправильно ограничиваться рамками одного подхода. Преподавание экологической психологии в РГГМУ строится на анализе различных точек зрения, в том числе и альтернативных.

Необходимо отметить, что большой разброс мнений и обилие разноплановой литературы по изучаемым вопросам, с одной стороны, создают большие трудности методологического и методического характера в процессе преподавания экологической психологии, с другой стороны, помогают раскрываться творческому потенциалу преподавателей и студентов.

Заключение

Итак, необходимость решения современных глобальных проблем привела мировое сообщество к созданию *Концепции Устойчивого развития*, согласно которой главное противоречие современного развития состоит в несоответствии между растущими потребностями человечества и возможностями биосферы.

Устойчивое развитие рассматривается в настоящее время как процесс гармоничного экономического развития, удовлетворяющий принципам социальной справедливости и экологической ответственности. Смысл концепции УР раскрывается как развитие, которое обеспечивает повышение качества жизни и удовлетворение потребностей ныне живущих поколений без ущемления возможностей будущих поколений. В рамках концепции УР выделяются в качестве равноправных три основных направления: экономическое, социальное и экологическое. При этом подчеркивается, что решать современные глобальные проблемы необходимо в комплексе, по всем указанным направлениям развития, не умаляя значимости ни одного из них. Но резкое обострение глобальных экологических проблем и надвигающаяся экологическая катастрофа выдвигают экологические проблемы на первый план, без решения которых невозможно обеспечить устойчивое развитие.

Путь к устойчивому развитию человечества возможно проложить только в русле новой *экоцентрической экологической парадигмы*, в основу которой заложен *принцип совместного гармоничного развития человека и Природы*, согласования стратегии развития Природы и стратегии развития общества, названный Н.Н. Моисеевым «*Великим принципом коэволюции*». В мире уже явно наблюдается тенденция формирования такой новой экологической парадигмы, отвечающей потребностям развития современной цивилизации и способствующей реализации концепции УР, более того, являющейся важнейшим фактором обеспечения устойчивого развития.

В обозначившихся рамках *новой экологической парадигмы* в мире начинается формироваться *новая экологическая культура*, ядром которой является *новое экоцентрическое экологическое сознание*, предполагающее: осознание единства природы и человека; признание самоценности природы; распространение этических норм и правил и на взаимодействие между людьми, и на взаимодействие с природой; осознание необходимости коэволюционного развития природы и человека.

Формировать новое экологическое сознание и новую экологическую культуру в целях реализации концепции УР призвано *глобальное экологическое образование*. Особая роль в этом процессе отводится вузовскому экологическому образованию, поскольку именно оно должно готовить специалистов различного уровня, способных, как на национальном, так и международном уровне принимать решения в области экологически ориентированного социально-экономического развития. В этих целях в некоторых вузах, в том числе и в нашем вузе, введена относительно новая учебная дисциплина «Экологическая психология и педагогика».

Несмотря на проблемы и трудности, преподавание экопсихопедагогики ведется в русле формирующейся *новой экоцентрической экологической парадигмы* и направлено на достижение главной цели экологического образования – формирования современной экологической культуры студентов, ядром которой является *экоцентрическое экологическое сознание*. Преподавание экопсихопедагогики в вузах направлено также на совершенствование системы экологического образования, что вполне вписывается и в «Стратегию образования в инте-

ресах устойчивого развития», и в «Концепцию формирования экологической культуры населения Санкт-Петербурга», в которой как одна из приоритетных выделена задача совершенствования системы экологического образования в нашем городе, повышения его качества и результативности.

Таким образом, можно сделать вывод: в современном мире под воздействием процессов глобализации и обострившихся глобальных проблем начались процессы формирования новой экологической парадигмы, новой экологической культуры, нового экологического сознания, создания новой системы глобального экологического образования. Это процессы формирования факторов, которые по мере своего развития будут способствовать движению человечества по пути перехода к устойчивому развитию. И среди этих важных факторов *новая эоцентрическая экологическая парадигма*, формирующаяся на принципах *коэволюции*, будет являться, на наш взгляд, определяющим фактором обеспечения устойчивого развития.

Литература

1. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. – М., 1991.
2. Дерябо С.Д., Ясвин В.А. Экологическая педагогика и психология. – Ростов-на-Дону, 1996.
3. Лазар М.Г. Экологическая парадигма современной культуры: миф или реальность? // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 8, с. 184-193.
4. Марфенин Н.Н. Устойчивое развитие человечества. – М., 2007.
5. Медведев В. И., Алдашева А. А. Экологическое сознание. Сер. Учебник XXI века. – М., 2004.
6. Моисеев Н.Н. Рациональный гуманизм // ОНС, 1992, № 3, с. 147-155.
7. Моисеев Н.Н. Современный рационализм и мировоззренческие парадигмы // ОНС, 1994, № 3, с. 77-87.
8. Наше общее будущее. Доклад Международной Комиссии по Окружающей среде и Развитию (МКОСР). – М., 1987.
9. Новая парадигма развития России в XXI веке. – М., 2000.
10. Образование в интересах устойчивого развития // Мат-лы XIV междунар. конф. – Великий Новгород, 2008.
11. Панов В.И. Введение в экологическую психологию: Учебное пособие. – М., 2006.
12. Смолова Л.В. Введение в психологию взаимодействия с окружающей средой. – СПб., 2008.
13. Степанов С.А. Глобализация. Устойчивое развитие. Образование. Концептуальные основы экологического образования в высшей школе для устойчивого развития. – М., 2009.
14. Стратегия ЕЭК ООН для образования в интересах устойчивого развития. Официальное издание. – М., 2005.
15. Товбина В.Л. Экологическая культура: понятие и проблемы становления // Уч. зап. РГГМУ, 2006, № 2, с. 255-264.
16. Товбина В.Л. Рационализм как фактор отчужденности человека от природы // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 7, с. 204-207.
17. Урсул А.Д., Демидов Ф.Д. Устойчивое социоприродное развитие. – М., 2006.
18. Урсул Т.А. Устойчивое развитие и принцип темпоральной целостности // Соц.-гуманит. знания, 2011, № 5, с. 228-243.
19. Фомичев А.Н. О научных обоснованиях концепций экологического развития // ОНС, 2008, № 3, с. 142-150.
20. Шмелева И.А. Психология экологического сознания. – СПб., 2006.
21. Шмелева И.А. Проблема взаимодействия человека с окружающей средой: области и аспекты психологического исследования // Вестник Московск.ун-та. Сер. 14. Психология, 2010, № 3, с. 105-120.
22. Ясвин В.А. Психология отношения к природе. – М., 2000.
23. Ясперс К. Смысл и назначение истории. – М., 1994.

Е.Г. Дурягина

КОПИНГ-ПОВЕДЕНИЕ СТУДЕНТОВ

E.G. Duryagina

KOPING-BEHAVIOUR OF STUDENTS

Проблема совладающего поведения (coping) как индивидуального способа взаимодействия личности с трудной, кризисной ситуацией состоит в том, чтобы как можно лучше адаптировать человека к требованиям ситуации. Выделяют два основных типа преодоления: копинг, сфокусированный на проблеме и копинг, сосредоточенный на эмоциях.

Ключевые слова: совладающее поведение, копинг, когнитивные стратегии, эмоциональные стратегии, поведенческие стратегии.

The problem of coping behavior as individual way of interaction of the personality with a difficult, crisis situation, is one of most widely developed in psychology. The psychological mission of coping behavior consists of the best possibility to adapt a person to situation requirements. There are two main types of overcoming: a coping focused on a problem and a coping concentrated to emotions.

Key words: coping behavior, coping, cognitive strategy, emotional strategy, behavioral strategy.

Совладание как отдельная психологическая проблема и область исследований сложилась достаточно недавно, к началу 60-х г. XX в. В последние десятилетия в психологии существенно усилился интерес к проблеме изучения человека, находящегося в трудной жизненной ситуации, особое внимание при этом уделяется анализу способов преодоления негативных психологических последствий этой ситуации. Это привело к возникновению целого направления исследований, связанных с изучением так называемого «совладающего поведения». Проблема совладающего поведения (coping) как индивидуального способа взаимодействия личности с трудной, кризисной ситуацией является одной из наиболее широко разрабатываемых в психологии. Совладание включает все попытки справиться с возникшей ситуацией: как успешные, так и неэффективные, а длительность копинг-процесса может быть различной: месяцы и годы – со стрессорами большой силы (например, разрыв близких отношений), значительно быстрее – со слабыми стрессорами.

«Копинг – когнитивные и поведенческие усилия, направленные на овладение, ослабление или противостояние внутренним и внешним требованиям, созданным посредством стрессогенного воздействия» [1]. Это «целенаправленное социальное поведение, позволяющее субъекту справиться с трудной жизненной ситуацией способами, адекватными личностным особенностям и ситуации, – через осознанные стратегии действий» [2]. Психологическое предназначение «копинга» состоит в том, чтобы как можно лучше адаптировать человека к требованиям ситуации, позволяя ему овладеть ею, ослабить или смягчить эти требования, постараться избежать или привыкнуть к ним, и таким образом, пога-

силь стрессовое действие ситуации. Его механизмы можно считать конструктивными в том случае, если состояние личности стабилизируется, изменяется отношение к проблеме, не возникает чувство дискомфорта.

Выделяют два основных типа преодоления: копинг, сфокусированный на проблеме (работа с причиной стресса), и копинг, сосредоточенный на эмоциях (работа с симптомами стресса). То есть это эмоциональная и волевая регуляция человеком своего поведения. Эмоциональная система рефлексивная, быстрая, подконтрольна стимулам, усиливается под действием стресса (действуй) – импульсивная реакция. Волевая регуляция рефлексивная, медленная, ослабляется под действием стресса, развивается поздно и предполагает развитый самоконтроль (узнавай, думай) – рациональный подход к проблемам. Копинг-реакции, сфокусированные на проблеме, считаются более эффективными (если объективно есть выход из ситуации).

Человек, попавший в трудную ситуацию, применяет разнообразные элементы совладания, которые реализуются через несколько разноуровневых осознанных видов поведения.

В связи с тем, что диапазон выбора способов поведения человека в трудных ситуациях достаточно широк, в литературе отражены многочисленные попытки исследователей упорядочить способы реагирования в трудных ситуациях жизнедеятельности. Однако выделяют общие принципы, положенные в основу различных классификаций, а именно:

– *модальность*, сфера психического, с которой соотносится стратегия: когнитивная, эмоциональная или поведенческая.

К когнитивным стратегиям относятся планирование решения проблемы и поиск соответствующей информации, обдумывание решения; отвлечение или переключение мыслей на другие, «более важные»; принятие проблемы как чего-то неизбежного; игнорирование проблемы; анализ ситуации и ее последствий; относительный характер оценки ситуации (например, когда ее сравнивают с другой, более негативной); придание ситуации особого смысла.

Эмоциональные стратегии проявляются в виде переживания протеста, возмущения, противостояния проблеме и ее последствиям; эмоциональной разрядки; проявления чувств, вызванных ситуацией; изоляции, подавления, недопущения чувств, адекватных ситуации; возложения вины на себя; переживания злости, раздражения; сохранения самообладания, равновесия, самоконтроля.

К поведенческим стратегиям относятся: конструктивная активность, направленная на решение задачи; отвлечение – обращение к какой-либо деятельности, уход в работу; «активное избегание»; поиск эмоциональной поддержки – стремление быть выслушанным, встретить содействие и понимание.

– *степень интенсивности* «совладания» (активность – пассивность). «Активность» предполагает произвольные действия, направленные на преобразование трудной ситуации. Пассивное совладающее поведение заключается либо

в принятии возникающих обстоятельств, в смирении с ними, либо в избегании проблемных ситуаций.

– *направленность усилий человека* (на ситуацию, на себя, на иной предмет);
– *адаптивность, эффективность – дезадаптивность, неэффективность стратегии*. Многочисленные исследования ученых связывают адаптивность копинг – стратегий с подконтрольностью ситуации. Так, в случае, если ситуация контролируема, адаптивными считаются активные стратегии; избегание же способствует эффективной адаптации, когда ситуация неконтролируема и неизменяема.

В ряде источников адаптивные формы совладающего поведения рассматриваются как конструктивные, продуктивные, успешные, а дезадаптивные, напротив – как неконструктивные, непродуктивные, неуспешные.

Выделяются три основных стиля поведения:

– продуктивное совладание – решение проблемы, работа и достижения, позитивный фокус, духовность;

– непродуктивное совладание – игнорирование, уход в себя, мечты о чуде, отвлечение, активный отдых, разрядка, беспокойство, самообвинение, несовладание;

– социальное совладание – обращение к помощи других: поиск социальной поддержки, чувство принадлежности, общественные действия, поиск профессиональной помощи.

Ряд исследований показал, что несмотря на возможные проявления предпочтительных для каждого человека стилей совладающего поведения, в трудных ситуациях один и тот же человек может менять стратегии «совладания». В рамках концепции совладающего поведения под «стратегией» понимают актуальные ответы личности на воспринимаемую угрозу как основанные на осознаваемых усилиях конкретные действия для регуляции субъектом эмоционального и интеллектуального напряжения с целью оптимальной психологической адаптации к внешним обстоятельствам.

Достаточно полно взгляды на проблему совладающего поведения отражены в работах Р. Лазаруса, С. Фолькман, и К. Муздыбаева. Взгляды данных авторов позволили выявить несколько подходов к пониманию копинг – поведения.

Первый подход рассматривает копинг как совладание с жизненными трудностями и берет начало в работах Р. Лазаруса и С. Фолькман, в которых копинг противопоставляется автоматическому реагированию на обычные жизненные ситуации, и, напротив, требует от человека неординарных решений и особых усилий.

Второй подход к определению копинг-поведения можно обозначить как процессуальный. Примером такого взгляда К. Муздыбаев видит концепцию Т.А. Уиллса и С. Шиффмана, которые выделяют три стадии копинг-процесса: предупреждающую (деятельность помогает человеку подготовиться к преодолению надвигающихся затруднений), собственно совладания (непосредственное осуществление когнитивных и поведенческих усилий для решения конкретных

задач) и восстанавливающую (анализ последствий критического события, ограничение размера ущерба, возвращение в прежнее нормальное состояние) [цит. по 3].

Исходным моментом для принятия решения о необходимости копинг-поведения, по мнению Л.И. Анцыферовой, является заключение человека о подконтрольности ситуации, которое выносится на основе результатов когнитивного исследования. В процессе оценивания происходит распознавание особенностей ситуации, определения ее значения для личности, а также осознание человеком собственных способностей, возможностей, резервов. Важность этого процесса усиливается еще и потому, что «от уровня развития механизма когнитивного оценивания, его гибкости, от способности человека с разных точек зрения рассматривать трудную ситуацию и прибегать к приемам переоценки зависит правильный выбор стратегии совладания с травмирующим событием [4].

Было проведено исследование на метеорологическом факультете, в котором участвовали студенты первого курса перед своей первой сессией и частично студенты второго курса, не «закрывшие» к ноябрю весеннюю сессию. Было исследовано копинг – поведение студентов в обычной стрессовой ситуации и во время подготовки к экзамену. Для этого использовалась методика копинг-поведения в стрессовых ситуациях С. Норман, Д.Ф. Эндлер, Д.А. Джеймс, М.И. Паркер, адаптация Крюковой, по которой было опрошено 55 студента 1-го курса и 19 студентов 2-го курса до экзамена (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Показатели математической обработки теста копинг-поведения
в стрессовых ситуациях (1-й курс)**

Показатели	Обычные стрессовые ситуации				
	РЗ	Э	И	О	СО
Среднее	58,01	47,25	46,96	21,34	16,78
Стандартное отклонение	9,97	11,11	10,63	5,03	4,90
Интервал	41	48	42	19	18
Минимум	37	20	25	12	6
Максимум	78	68	67	67	24
Уровень надежности (95,0%)	2,69	3,00	2,87	1,36	1,32

Обозначения: РЗ – копинг-поведение, ориентированное на решение задачи; Э – копинг-поведение, ориентированное на эмоции; И – копинг-поведение, ориентированное на избегание; О – субшкала отвлечения; СО – субшкала социального отвлечения.

Как видно из приведенных таблиц (табл. 1, 2), в обычных стрессовых ситуациях, стандартное отклонение имеет наибольшее значение и для студентов 1-го курса и для студентов 2-го курса для копинга, ориентированного на эмоции: 11,11 и 11,57 соответственно. Среднее значение больше и для 1-го курса и для 2-го для копинга, ориентированного на решение задачи: 58,01 и 56,66 соответственно. Среднее значение меньше и для студентов 1-го курса и для студентов

2-го курса для копинга, ориентированного на отвлечение и социальное отвлечение: 19,41 и 18,27; 15,95 и 14,49.

Таблица 2

**Показатели математической обработки теста Копинг-поведения в стрессовых ситуациях
(2-й курс)**

Показатели	Обычные стрессовые ситуации				
	РЗ	Э	И	О	СО
Среднее	56,66	56,66	43,79	19,41	15,95
Стандартное отклонение	10,24	11,57	7,91	4,67	3,19
Интервал	42	47	30	21	12
Минимум	33	17	27	10	9
Максимум	75	64	57	31	21
Уровень надежности (95,0%)	4,33	4,89	3,34	1,97	1,35

Как видно из приведенных таблиц (табл. 3, 4), во время подготовки к экзамену стандартное отклонение имеет наибольшее значение и для студентов 1-го курса и для студентов 2-го курса для копинга, ориентированного на эмоции: 12,31 и 11,34. Среднее значение больше и для студентов 1-го курса и для студентов 2-го курса для копинга, ориентированного на решение задачи: 60,65 и 60,45, т.е. практически одинаково. Среднее значение меньше и для студентов 1-го курса и для студентов 2-го курса для копинга, ориентированного на отвлечение и социальное отвлечение: 18,27 и 17,87; 14,49 и 14,45, т.е. практически одинаково.

Таблица № 3

**Показатели математической обработки теста Копинг-поведения в стрессовых ситуациях
(1-й курс во время подготовки к экзамену)**

Показатели	Во время подготовки к экзамену				
	РЗ	Э	И	О	СО
Среднее	60,65	47,36	39,96	18,27	14,49
Стандартное отклонение	9,83	12,31	10,20	5,11	4,58
Интервал	40	55	43	20	18
Минимум	37	16	18	9	5
Максимум	77	71	61	61	23
Уровень надежности (95,0%)	2,65	3,32	2,75	1,38	1,23

При этом во время подготовки к экзамену среднее значение для копинга, ориентированного на эмоции выше, чем в обычных стрессовых ситуациях. Также во время подготовки к экзамену возрастает среднее значение для копинга, ориентированного на отвлечение и социальное отвлечение.

Таблица 4

**Показатели математической обработки теста Копинг-поведения
(в стрессовых ситуациях (2-й курс во время подготовки к экзамену))**

Показатели	Во время подготовки к экзамену				
	РЗ	Э	И	О	СО
Среднее	60,45	44,66	39,83	17,87	14,45
Стандартное отклонение	7,88	11,34	8,67	4,47	3,51
Интервал	33,00	36,00	33,00	16,00	14,00
Минимум	45	25	25	11	7
Максимум	78	61	58	27	21
Уровень надежности (95,0%)	3,33	4,79	3,66	1,89	1.48

Ведущей стратегией поведения студентов 1-го и 2-го курсов в обычной стрессовой ситуации и во время подготовки к экзамену является копинг, ориентированный на решение задач; минимально выражен в том и другом случаях копинг, ориентированный на отвлечение.

Наиболее высокая положительная корреляция (табл. 5) наблюдается между следующими показателями:

– копингом, ориентированным на эмоции в обычной стрессовой ситуации, и копингом, ориентированным на эмоции во время подготовки к экзамену – 0,786369;

– между копингом, ориентированным на решение задач в обычной стрессовой ситуации, и копингом, ориентированным на решение задач во время подготовки к экзамену – 0,786369;

– между копингом, ориентированным на избегание в обычной стрессовой ситуации, и копингом, ориентированным на:

– отвлечение в обычной стрессовой ситуации – 0,86;

– социальное отвлечение в обычной стрессовой ситуации – 0,88;

– избегание во время подготовки к экзамену – 0,71;

– между копингом, ориентированным на отвлечение в обычной стрессовой ситуации, и копингом, ориентированным на:

– социальное отвлечение во время подготовки к экзамену – 0,72;

– между копингом, ориентированным на избегание во время подготовки к экзамену, и копингом, ориентированным на:

– отвлечение во время подготовки к экзамену – 0,85;

– социальное отвлечение во время подготовки к экзамену – 0,76;

– между копингом, ориентированным на избегание во время подготовки к экзамену, и копингом, ориентированным на:

– отвлечение во время подготовки к экзамену – 0,85;

– социальное отвлечение во время подготовки к экзамену – 0,76.

Таблица 5

Корреляционные связи для копинг-поведения

Корреляционные связи	Э _{об}	РЗ _{об}	И _{об}	О _{об}	СО _{об}	И _э
О _{об}			0,86			
СО _{об}			0,88	0,60		
Э _{эк}	0,78					
РЗ _{эк}		0,78				
И _{эк}			0,71	0,60	0,64	
О _{эк}			0,61	0,60		0,85
СО _{эк}			0,61		0,72	0,76

Примечания: РЗ_{об} – копинг-поведение, ориентированное на решение задачи, в обычной стрессовой ситуации; Э_{об} – копинг-поведение, ориентированное на эмоции, в обычной стрессовой ситуации; И_{об} – копинг-поведение, ориентированное на избегание, в обычной стрессовой ситуации; О_{об} – субшкала отвлечения в обычной стрессовой ситуации; СО_о – субшкала социального отвлечения в обычной стрессовой ситуации; РЗ_{об} – копинг-поведение, ориентированное на решение задачи, во время подготовки к экзамену; Э_{об} – копинг-поведение, ориентированное на эмоции, во время подготовки к экзамену; И_{об} – копинг-поведение, ориентированное на избегание, во время подготовки к экзамену; О_{об} – субшкала отвлечения, во время подготовки к экзамену; СО_о – субшкала социального отвлечения во время подготовки к экзамену.

Литература

1. Николаева Е.И. Психофизиология. Психологическая физиология с основами физиологической психологии. – М., 2003. – 544 с.
2. Крюкова Т.Л. Возрастные и кросскультурные различия в стратегиях совладающего поведения // Психологич. журнал, 2005, т. 26, № 2, с. 5-15.
3. Муздыбаев К. Стратегия совладания с жизненными трудностями // Журнал социол. и социальн. антропологии, 1998, т. 1, № 2, с. 100-111.
4. Анцыферова Л. И. Личность в трудных жизненных условиях: переосмысливание, преобразование ситуаций и психологическая защита // Психологич. журнал, 1994, № 1, с. 3 – 16.

Т.В. Есикова

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПРАВА

T.V. Esikova

PSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE EMERGENCE AND THE DEVELOPMENT OF THE LAW

В статье рассматривается возникновение и развитие права с точки зрения гуманитарных наук: антропологии, философии, юриспруденции, психологии. Выявлены психологические особенности права в первобытном обществе и древнем мире. Рассматриваются вопросы, связанные с изучением правового сознания, правовой культуры, ценностей. Анализируются правовые представления как отражение уровня социального развития человека.

Ключевые слова: право, личность, правосознание, ценности, мышление, представления.

The emergence and the development of the law are discussed in this article from the perspective of the humanities: anthropology, philosophy, law, psychology. Psychological characteristics of law were established in primitive society and the ancient world. The problems associated with the study of legal awareness, legal culture and values are considered in the research. The legal representations like reflection of the level of social development of man are analyzed too.

Key words: political rights, personality, legal awareness, legal values, mentality, conceptions.

Для исследования особенностей развития правосознания с психологической точки зрения необходимо выявить сущность его происхождения, истоки развития права в первобытном и цивилизованном обществе. Поэтому мы обращаемся к праву с точки зрения гуманитарных наук: антропологии, философии, юриспруденции, психологии.

Анализ литературы показывает, что в современной науке к изучению вопросов, связанных с правовым сознанием личности, выделяется несколько подходов. Так, одни ученые рассматривают данное понятие с позиции ее *структурных компонентов*, определяя при этом право как систему норм, выражающих государственные установки (С.С. Алексеев, Л.С. Явич и др.), правосознание как сферу духовного отражения всей правовой действительности (И.А. Ильин, В.И. Каминская, П.И. Новгородцев, А.Р. Ратинов и др.), нравственность как внутренний регулятор правомерного поведения (В.С. Олейников). Другие же акцентируют внимание на правах человека как общечеловеческой ценности (В.А. Караковский, М.А. Лазутова, Е.А. Лукашева, Г.В. Мальцев, А.Ф. Никитин, З.К. Шнекедорф), на моральных и нравственных ценностях (А.Н. Гусев, Ю.М. Смоленцев, А.Н. Титаренко), на нравственно-правовом воспитании школьников (Г.П. Давыдов, Г.А. Кузнецов, О.Г. Шапиева), правовом воспитании студентов (И.А. Дерягин, Ю.П. Козюбра) [2, с. 159].

Право как явление цивилизации возникло в процессе развития человеческого общества. Право «единичного лица на удовлетворение собственного своеобразия не вдруг было реализовано в жизнедеятельности общества, а потому не сразу было признано, законодательно закреплено и осуществлено в таком государственном устройстве, которое способно справиться со своей противоположностью [1, с. 4].

Первые представления о праве запечатлены в мифах древних народов и связаны с идеями о месте человека в мире. Генезис учений о праве проходил в направлении постепенной рационализации первоначальных мифических представлений. Правовая мысль в древности направлена прежде всего на божественные первоисточники порядка в обществе и необходимости соблюдения их. Представления людей о земных порядках, которые запечатлены в мифах и в целом опыт мифического подхода к организации общественной жизни людей оказали значительное влияние на развитие учений о праве [5, с. 29].

Миф являлся продуктивной формой духовного освоения действительности, в нем заложены исходные традиции в понимании и трактовке всех основных сфер жизни человека, на которые в процессе развития человеческого общества ориентировались исследователи. Мифы являются основными источниками представлений о прошлом и будущем, «арсеналом устоявшихся и привычных средств, форм и способов познания и объяснения мира, авторитетным сводом правил поведения» [5, с. 10].

В первобытный период общества функционировало универсальное право, которое имело некоторые отличия у различных народов, но в целом не характеризовало национальный характер. Первоначальное право являлось лишь структурным элементом первобытной культуры. Первобытные люди верили в божественное происхождение власти в их обществе и должны были строго подчиняться предписаниям. Они считали, что именно боги научили людей управлять и передали власть земным управителям.

Развитие права первобытного общества осуществляется в следующих направлениях: от неписанного права к формализованному и нормативному, от патриархальной семьи к индивидуальной и моногамной, от судейского посреднического миротворчества к стадии законодательной и судебной активности правителей племен и властных образований. Преемственными элементами в переходе от первобытного права к закону можно считать нацеленность на поддержание мирного социального общежития, порядка и справедливое разрешение возникающих конфликтов личного или имущественного характера, наказание за нарушение запретов различного назначения (бытового, обрядового). Право первобытного общества – это орудие поддержания порядка без участия государственно-властного администрирования.

Основными характерными чертами первобытного права являлись: поселение общинами, общинное владение, второстепенная роль женщины в трудовой деятельности, наличие индивидуальной собственности женщины – ее приданое,

господство кровной мести, участие родственников в уплате долгов, обсуждение на ежедневных сборах семейных советов преступлений и проступков ее членов, отсутствие наследственного права, преобладание патриархата [4, с. 31].

По мере развития общин в первобытном обществе возникает потребность в нормировании деятельности членов общества. К основным мерам и санкциям первобытных людей относят осуждение со стороны общественного мнения рода-племени в лице соплеменников. В случае измены правилам социума первобытный человек превращался в изгоя, и потому его можно было безнаказанно убить. Существовала кровная месть: правонарушения, направленные против однофамильцев, считались обидой для всей фамилии и являлись поводом к осуществлению кровной мести любым из ее членов. Санкциями за нарушение норм, принятых в первобытном обществе, являлись примирительные процедуры и штрафы. Применение санкций предполагало неблагоприятные последствия для нарушителя обычаев, имело характер имущественных ущемлений, физических и моральных страданий.

С психологической точки зрения в первобытном обществе в целом нормы права были направлены на смягчение агрессивного поведения. Запреты существовали в виде табу, т. е. в виде подкрепленной религиозными верованиями недопустимости определенного противоправного поведения, которое было не принятым в данном социуме. Табу являлось древним запретом, направленным против сильнейших вожделений людей, оказывающим влияние на бессознательное человека. З.Фрейд изучал жизнь, обычаи и традиции племен Азии, Австралии, Африки, Америки, в которых был еще сохранившийся патриархальный уровень развития, подобный первобытному обществу. Он обнаружил систему нравственных запретов – табу имеющих тотемические символы, регламентирующие их социальную жизнь. Табу для человека первобытного уровня развития – это «религиозно-магический запрет, нарушение которого влечет за собой смерть или болезнь, посылаемые богами, сверхъестественными силами, духами» [4, с. 8]. По мере развития племен часть табу была кодифицирована нормами права. З. Фрейд рассматривает культурогенез через механизм вытеснения в подсознание мыслей, чувств, поведения людей, не одобряемых сообществом или ведущих его к гибели. Между цивилизованными табу и табу первобытного человека существует основательное различие, заключающееся в том, что современный человек постоянно принимает собственные личные решения, которые ограничены рамками закона государства, обычаями и табу, воспринятыми им от воспитания (табу вежливости, табу, связанные с принятием пищи и др.). Личные решения современного человека могут быть связаны с отступлением от законов, обычаев и табу, а первобытный человек не размышлял, а действовал однозначно – не нарушать табу, в противном же случае получал жестокое наказание. Культура, по мнению З. Фрейда, создана для подавления влечений человека, которые нельзя демонстрировать в социуме и стремиться удовлетворить за счет ущемления интересов и прав других людей [8].

Примитивные правовые нормы находили свое выражение в мифологических системах, в традициях, обычаях, ритуалах, обрядах, инициациях посвящения юношей в группу взрослых людей, при которых они получали обучение социальным нормам.

Первобытное право являлось примитивным, так как многих признаков и функций современного права не имело. Право имело признак социальности, характеризующий первичное содержание права, но право не было нормативным, оно не составляло систему правовых норм и правил поведения, характеризующихся логической структурой. Первобытное право не отличалось общеобязательностью, так как представители власти следили за исполнением норм членами общин, но при этом сами могли их не выполнять. Поэтому первобытное право нельзя назвать и объективным. Правовые нормы не обеспечивались возможностью регулирования и принуждения, хотя и наделялись простейшим идеологическим механизмом (авторитетом, справедливостью, религиозной поддержкой), отсутствовали формализм и процедурность, так как обычаи и правила поведения не были зафиксированы в письменном виде, не включали в себя четкие процедуры создания, применения, защиты.

Функции первобытного права:

- регулятивная, обеспечивающая организационно-трудовую деятельность общин;
- охранительная, защищающая общину как социальную структуру общества, организацию экономической жизни, господство предводителей социальных групп, идеологические основы, жизнь, свободу, коллективную собственность;
- гуманистическая, уравнивающая противоречия (закрепления компромиссов), социальные столкновения, произвол.
- идеологическая, способствующая введению в общественное сознание представлений о необходимых принципах и правилах поведения;
- воспитательная, подготавливающая подрастающее поколение к восприятию правовых и моральных ценностей.

Правила и нормы поведения в догосударственном обществе не могут быть отнесены ни к категории правовых, ни к категории моральных норм. Они имеют характер мононорм, т. е. единых нерасчлененных специфических социальных норм первобытного общества. Эти мононормы отличаются от права, которое как состояние регулятивной системы появляется лишь на следующем этапе развития общества, его классовой и организационной государственной форме [9].

Правовые учения в строгом смысле данных категорий появились в процессе длительного существования раннеклассовых обществ и государств. В теоретическо-гносеологическом контексте генезис учений о праве проходил в направлении рационализации мифологических представлений.

Таким образом, ранние формы права связаны с ментальностью человека, его осознанием места в мире. Архаическое раннее право обладало следующими

чертами: устный характер норм, казуистичность права, несистемность, необязательность (альтернативность юрисдикции и санкций), коллективный характер ответственности, социальное неравенство, символичность, доказательность, демонстративность, церемониальность, религиозность. Основной психологической целью права являлось примирение сторон, устранение конфликтов между людьми.

Право всегда переживается психически – это индивидуальное переживание полномочия и обязанности, введенное в ряд психических взаимодействий. И.А. Ильин связывает право с психологическим переживанием, «господство воли, хотя и предоставленное правовыми нормами, остается явлением внутреннего мира человека» [3, с. 31].

Психологическими особенностями права являются «внутренние» аспекты правового сознания, анализ человеческого поведения, обусловленное внутренним духовным миром, сознанием, эмоциями долга. «Наши внутренние психические акты, например гнев, радость, желания бывают причиной возникновения правовых отношений» [5].

Право – исторически преходящее психологическое социокультурное явление, которое, с одной стороны, свидетельствует о недостаточном социальном приспособлении человека, а с другой стороны, представляет собой наиболее эффективный, по сравнению с иными мотивационными системами человеческого поведения, инструмент социально-психического приспособления [6, с. 14].

Действие права состоит в возбуждении и подавлении мотивов к действиям и воздержаниям (мотивационное действие права), в укреплении и развитии одних склонностей и черт человеческого характера в ослаблении и искоренении других. Праву, действующему на психику в качестве импульса к правопослушному поведению и фактора образования характера, приписывается возвышенная цель – способствовать выработке совершенного социального характера и, как следствие, альтруистической трансформации человечества. Позднейшие правовые системы требуют от граждан большего в смысле социально-разумного поведения, чем предшествующие более примитивные системы права и достигают требуемого поведения путем воздействия на более высокие стороны человеческого характера. Право как причина поведения оказывает в процессе социального приспособления соответствующее мотивационное и педагогическое воздействие на психику человека и обуславливает этический прогресс как следствие. Право существует там, где есть сознающий, переживающий правовые психические акты субъект.

Литература

1. *Доржиев Д.Б.* Антропология права. Теоретико-методологические основания. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2009. – 184 с.
2. *Есикова Т.В.* Формирование правовых ориентаций личности // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 158-164.
3. *Ковалевский М.* Первобытное право. – М., 1886. – 167 с.
4. *Ильин И.А.* О сущности правосознания. – М.: Политиздат, 1994, с. 18.

5. *Нерсесянц В.С.* Философия права. 2-е изд. – М.: Наука, 2008. – 848 с.
6. *Петражицкий Л.И.* Теория права и государства в связи с теорией нравственности. Т. 1. – СПб., 1907, с. 92.
7. *Петражицкий Л.И.* Теория и политика права. Избранные труды / Науч. ред. Е.В. Тимошина. – СПб.: «Университ. издат. консорциум «Юридическая книга», 2010. – 1104 с.
8. *Фрейд З.* Тотем и табу: Сб. – М.: Олимп; ООО «Изд-во АСТ-ЛТД», 1998. – 448 с.
9. *Щеглов В.Г.* Всеобщая история права. Вып. 1. – Ярославль, 1907. – 60 с.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» по мероприятию 1.5 "Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенных исследователей" Соглашение № 14.В 37.21.0278 «Психолого-педагогическое исследование профессиональной мобильности и правосознания молодых специалистов РФ и стран Скандинавии».

Юбилей

20 октября 2012 г. исполнилось 90 лет выдающемуся ученому и педагогу нашей страны в области синоптической метеорологии, профессору, доктору географических наук, заслуженному деятелю науки РФ, почетному работнику высшей школы, члену-корреспонденту Международной академии наук высшей школы **Воробьеву Валерию Игоревичу**.

Прямо с полей Великой Отечественной войны, отмеченный боевыми наградами и ранениями, Валерий Игоревич пришел учиться на военный факультет Ленинградского гидрометеорологического института (ЛГМИ). Вскоре военный факультет ЛГМИ был преобразован в самостоятельное высшее учебное заведение – Военно-инженерный факультет метеослужбы ВВС ВС СССР, который Валерий Игоревич закончил в 1949 г.



За годы работы на факультете (1949–1957 гг.) он закончил адъюнктуру, защитил кандидатскую диссертацию (1955 г.) и стал преподавателем кафедры синоптической и динамической метеорологии. После включения факультета в состав Военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского многие годы он отдал обучению и воспитанию военных инженеров-метеорологов, стал за это время доктором наук, профессором.

В 1976 г. Валерий Игоревич вернулся в ЛГМИ, возглавив кафедру метеорологических прогнозов. Под его руководством и при непосредственном авторском участии были созданы материалы, полностью обеспечивающие процесс обучения студентов по направлениям кафедры. С момента возвращения в ЛГМИ и до 2009 г. Валерий Игоревич вел преподавание важнейшей дисциплины кафедры «Синоптическая метеорология». Его фундаментальный учебник 1991 г. издания, аналогов которому в отечественной литературе с тех пор нет, два издания Практикума (1976 и 2006 гг.), а также «Учебный синоптический атлас» стали теоретической основой и главными учебными материалами для всех преподавателей синоптики в нашей стране.

Творческий диапазон Валерия Игоревича как ученого охватывает большой круг вопросов метеорологии, как правило, связанных с теоретическими основами и практическими методами прогнозов погоды. Среди них особо следует отметить фундаментальные работы по изучению таких важнейших элементов об-

щей циркуляции атмосферы, как высотные фронтальные зоны и струйные течения, облачный покров Северного полушария, а также серию работ по оценке возможностей использования оптических космических систем землеобзора в облачной атмосфере и др.

Широкий научный кругозор и педагогический талант Валерия Игоревича позволил ему подготовить большое число кандидатов наук, работающих ныне в ведущих метеорологических подразделениях России и за рубежом.

Несмотря на солидный возраст, профессор В.И. Воробьев продолжает служить любимой науке: он по-прежнему работает на кафедре метеорологических прогнозов, передает своим преемникам богатый опыт преподавательского мастерства. Принимает участие в работе комиссий по приему государственных экзаменов и защите дипломных проектов, является активным членом советов по защитах кандидатских и докторских диссертаций в университете и Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова.

Высокие профессиональные качества Валерия Игоревича, неизменная доброжелательность к людям, принципиальность в вопросах науки и педагогики давно утвердили его неоспоримый авторитет среди преподавательского состава и студентов Российского государственного гидрометеорологического университета.

Редколлегия «Ученых записок РГГМУ» от имени всего коллектива университета и читателей нашего издания сердечно поздравляет Валерия Игоревича Воробьева со славным юбилеем, желает крепкого здоровья, бодрости и счастья.

**А.В. Зимин^{1,2}, А.А. Родионов², Б. Шапрон^{1,3}, Д.А. Романенков²,
Р.Э. Здорovenнов⁴, И.Е. Козлов¹, А.Г. Мясоедов¹, О.И. Шевчук¹**

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ)

² Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СПбФ ИО РАН)

³ Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), France

⁴ Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

РАБОТЫ С НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ЭКОЛОГ» ПО ПРОЕКТУ «МЕГАГРАНТ» В БЕЛОМ МОРЕ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В ИЮЛЕ-АВГУСТЕ 2012 ГОДА

Ключевые слова: внутренние волны, контактные измерения, спутниковые радиолокационные снимки, Белое море.

Экспедиционные исследования на НИС «Эколог» проводились в Онежском заливе, Двинском заливе, Бассейне и Горле Белого моря с 17 июля по 7 августа 2012 г. Работы выполнялись в рамках проекта «МЕГАГРАНТ» студентами и преподавателями Российского государственного гидрометеорологического университета совместно с научными сотрудниками Санкт-Петербургского филиала института океанологии РАН и Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

Научная программа рейса разрабатывалась сотрудниками СПбФ ИО РАН и Лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ. Основная задача работы заключалась в описании по данным натурных измерений характеристики короткопериодных внутренних волн, возникающих в различных районах Белого моря в течение полусуточного приливного цикла, соответствующего гармонике M_2 , и оценке пространственной изменчивости характеристик внутренних волн на основе спутниковых снимков, полученных в оперативном режиме с радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) RADARSAT-1 и -2 в период с 22 июля по 6 августа. В рамках этой программы выполнялись судовые наблюдения и дистанционный спутниковый мониторинг акватории моря. Кроме того, ведущими специалистами СПбФ ИО РАН и лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ был проведен научно-образовательный семинар для студентов РГГМУ, проходящих производственную практику.

Экспедиционные исследования выполнялись в двух районах моря: южном, включающем проливы Западная и Восточная Соловецкие салмы, южную часть Бассейна и Онежский залив и северном, охватывающем границу Бассейна и Горла и Двинской залив (рис. 1). Указанные районы были определены на подготовительном этапе по результатам обработки радиолокационных изображений ENVISAT ASAR. В этих регионах было зарегистрировано максимальное количество поверхностных проявлений пакетов короткопериодных внутренних волн в период с июня по август 2010 г.

В ходе экспедиционных работ были выполнены специальные полигонные эксперименты с привязкой данных к фазе приливных колебаний уровня и течений, сочетающие учащенные океанографические станции (сканирования) и буйковые станции с приборами, которые производят измерения с дискретностью, близкой к частоте Вайсяля-Брента на нескольких горизонтах. Всего было выполнено 8 полигонов. На каждом полигоне проводились две мелкомасштабные океанографические съемки и устанавливались буйковые станции. Каждая съемка состояла из трех–четырёх разрезов (от 9 до 15 океанографических станций). Время выполнения съемок составляло не более 2-3 ч, что позволило четко привязаться к разным фазам прилива. Измерения выполнялись мультипараметрическим зондом STD90М (Германия).

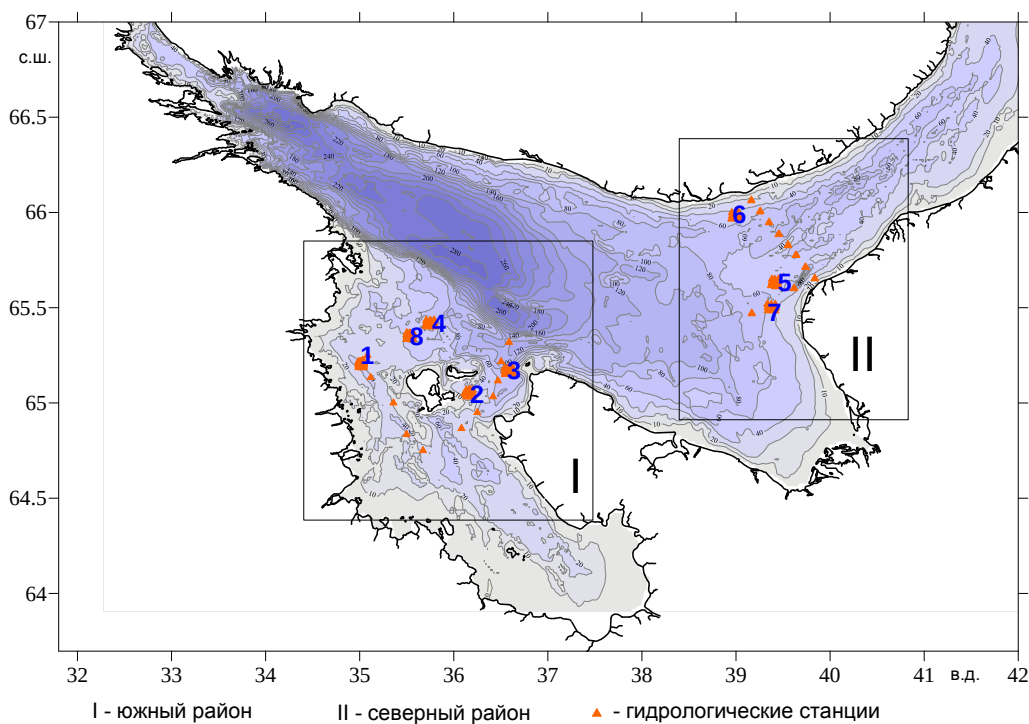


Рис. 1. Расположение районов работ и схема станций, выполненных на НИС «Эколог» с 17 июля по 7 августа 2012 г.

(арабскими цифрами обозначены номера полигонов с суточными станциями)

Дополнительно на каждом полигоне устанавливались системы из трех буйковых станций, расположенных в виде треугольников со сторонами около 1-2 км. Продолжительность наблюдений составляла более суток, что позволяло охватить 2-3 приливных цикла гармоник M_2 . С целью увеличения качества получаемой информации была разработана единая методика выполнения работ на полигонах. На южной и северной границе полигонов устанавливались допле-

ровские профилографы течений ADP SonTek-500 (США) и ADCP WHS-300 (США), оснащённые также датчиками давления и температуры. Дискретность измерений составляла 2 мин. На этих же станциях в область термоклина вывешивалось по одному прибору «Вектор-2» (Россия), фиксирующему температуру воды, скорость и направление течений с дискретностью 30 с. В центральной части полигона на горизонтах 9, 12, 15, 18, 21, 24 м с помощью электромагнитных измерителей JFE Alec (Япония) определялись скорость и направление течений с дискретностью две минуты. Также в этой точке выполнялись сканирования водной толщи от поверхности до дна зондами CTD90M и SBE-25 (США); «спуск» и «подъём» зонда занимал примерно 1–2 мин. Сканирования велись непрерывно в течение 25–26 ч при переменном использовании обоих зондов. Полный комплекс попутных метеорологических наблюдений выполнялся каждые полчаса.

Всего за время экспедиции было установлено 497 океанографических станций. Поставлено 18 автономных буйковых станций. Общее время сканирований составило 149 ч 11 мин.

На этапе предварительного анализа результатов экспедиции было установлено:

- несмотря на небольшую глубину и сильные приливные течения, на большей части прибрежной акватории Бассейна Белого моря летом наблюдается хорошо выраженный пикноклин (термоклин), в котором генерируются и распространяются внутренние волны;
- на всех исследуемых полигонах поле внутренних волн состоит из двух основных компонент: приливных волн полусуточного периода и короткопериодных волн;
- в глубоководной части шельфа в районе Бассейна наиболее интенсивное внутреннее волнение имеет полусуточный период;
- в мелководной части шельфа Бассейна в прилив наблюдается внутренняя приливная волна в виде бора, перемещающегося в сторону берега, а в отлив проявляются группы короткопериодных интенсивных внутренних волн.

Оперативный подспутниковый эксперимент был успешно выполнен в период проведения работ в северном районе с 29 июля по 1 августа. На основании данных полученных в оперативном режиме со спутника Radarsat-1 и консультаций о поверхностных проявлениях короткопериодных внутренних волн 31 июля был развернут полигон № 7. Во время работ на полигоне наблюдалось прохождение цугов внутренних волн, отчетливо представленными резкими изменениями глубины залегания термоклина (рис. 2) и спутниковыми снимками (рис. 3). Полученные данные при дальнейшей обработке могут стать основой для совершенствования алгоритмов интерпретации спутниковых данных для Белого моря.

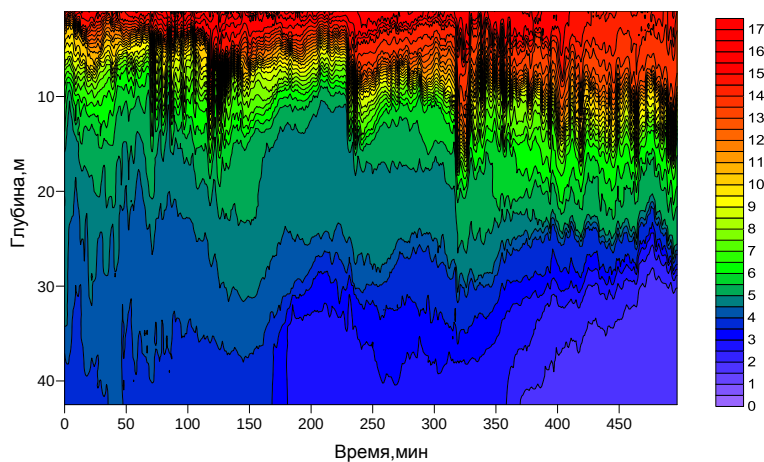


Рис. 2. Временная изменчивость температуры по данным измерений CTD-зондом на полигоне № 7 с 8:53 до 17:10 01.08.2012 г.

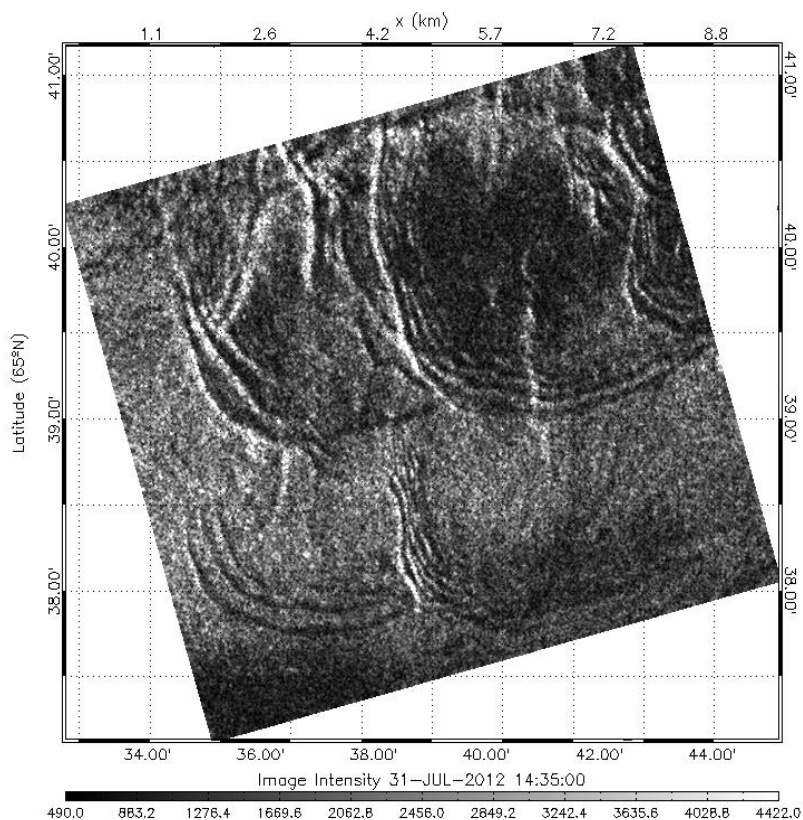


Рис. 3. Проявление океанских внутренних волн на спутниковом РЛ-снимке Radarsat-1 акватории Белого моря от 31 Июля 2012 г 14:35 UTC в районе полигона № 7. © CSA

В рамках научно-практического семинара, проводившегося при подготовке к экспедиции и на борту НИС «Эколог», студенты третьего курса океанологического факультета РГГМУ были ознакомлены с современными технологиями получения и обработки океанографической информации. Они получили представление о проблемах в сфере информационно-измерительного обеспечения исследований, которое является одним из обширных, динамично развивающихся разделов экспериментальной океанографии и находится на "стыке" фундаментальных и прикладных дисциплин. Знания и навыки, полученные в рамках семинара, студенты могли проверить и применить непосредственно путем выполнения практических заданий в ходе экспедиционных работ.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке «Мегагранта» РГГМУ контракт № 11.G34.31.0078. Также авторы выражают благодарность лично Бертрану Шапрону, Ольге Тутубалиной и Михаилу Зимину, Геопорталу МГУ и ИТЦ «СКАНЭКС» за помощь в организации и предоставлении доступа к оперативной спутниковой съёмке.

А.А. Алимов

к.и.н., доцент, зав. каф. социально-гуманитарных наук РГГМУ, Председатель Комиссии по охране природы Санкт-Петербургского отделения Русского географического общества

М.А. Ермолина

*доцент кафедры Социально-гуманитарных наук РГГМУ,
к.ю.н., с.н.с. Центра интерэкоправа ЕврАзНИИПП*

Е.В. Стецко

к.ф.н., доцент кафедры социально-гуманитарных наук РГГМУ

Рецензия

на книгу «Экологические положения конституций: сборник / Под. ред. Е.А. Высторобца; [предисл. Ю.С. Шемшученко, вступ. слово В.И. Данилова-Данильяна, интервью с С.А. Боголюбовым]» – М.-Уфа: МИРмПОС, Центр интерэкоправа, ЕврАзНИИПП, 2012. – 385 с. + ил., 1 отд. л. формата А2. ISBN 978-5-9902712-2-7.

В последние десятилетия социально-экологическая проблематика занимает одно из важнейших мест в общенаучной и специальной экологической литературе. Уже давно прошел бум на уровне экологического алармизма, характерного для первой половине 1970-х годов. Стало очевидно, что необходимо от описания проблемы переходить к ее разрешению. Мировое научное сообщество демонстрирует свою готовность к обобщению и анализу того, чтобы уже было сделано для разработки новых решений и подходов.

Проведение четырех высоких международных форумов по проблемам окружающей среды и развития – Стокгольм (1972), Рио-де-Жанейро (1992), Йоханнесбург (2002) и, наконец, Рио+20 (Рио-де-Жанейро, 2012) было обусловлено не только обеспокоенностью мирового сообщества тем, что темпы экономического роста уже давно превысили потенциал несущей емкости биосферы, но и желанием разработать систему политических и экономико-правовых мер, направленных на поддержание процессов ее саморегуляции и самовосстановления.

В этом плане выделим правовую составляющую в области политики устойчивого развития, которая стала одним из приоритетных направлений международной социально-экологической деятельности. Суть проблемы заключается в том, что современное экологическое право является мягким видом права, а следовательно, оно не в состоянии регулировать экологические отношения между государствами.

Поэтому для разработки общих международных подходов в этой сфере права необходимо изучить опыт современных государств в развитии своего национального экологического права для того, чтобы на этом основании выстроить и международные экологические отношения.

Известно, что до в последние 20 лет, исходя из решений и рекомендаций конференции ООН 1992 г. (Рио-де-Жанейро), правительства всех современных

государств должны были активно включиться в деятельность по подготовке к адекватным ответам на такие глобальные вызовы и угрозы, как глобальные климатические изменения, высоко опасный уровень загрязнения окружающей среды, снижение уровня ресурсной обеспеченности современного мирохозяйственного комплекса, обеслесивание, опустынивание и др.

Первостепенную роль в решении указанных экологических проблем играют национальные экологические стратегии и законодательства. Особое место при этом отводится основным законам государств, формулирующим принципиально значимые направления внутренней и внешней политики в области защиты экологических прав граждан, обязанностей государства в области охраны окружающей среды, а также по обеспечению рационального использования природных ресурсов и экологической безопасности.

К настоящему моменту можно считать, что конституции практически всех государств включают в себя экологические права и обязанности граждан, которые сформулированы в контексте важнейших принципов международного права: право человека на благоприятную окружающую среду, рациональное использование природных ресурсов, платность природопользования, запрет трансграничного загрязнения окружающей среды другие.

В связи с этим и, подчеркнем, весьма своевременным стал выход в свет рецензируемой нами книги.

Сборник интересен, в первую очередь тем, содержит извлечения экологических положений из около 200 основных законов 160 стран мира, а также 83 уставов субъектов Российской Федерации. Часть нормативных положений переведена авторами сборника на русский язык с оригиналов, что еще более повышает ценность и уникальность данного издания.

Поэтому можно с полной уверенностью считать, что выход рассматриваемого издания можно по праву назвать новшеством в списке изданий по вопросам охраны окружающей среды, поскольку ничего подобного по данной проблематике в отечественной литературе ранее не было.

В предисловии к рассматриваемому изданию широко известный советский и украинский ученый Ю.С. Шемшученко справедливо подчеркивает: «Положительная динамика осознания важности экологических проблем очевидна. Всего несколько десятилетий тому назад ни одна из конституций мира не содержала экологических положений. Сегодня они имеются у большинства государств. Это – убедительный ответ на экологические вызовы XXI столетия, от ответственной и профессиональной реакции на которые всех политических и общественных сил, ученых, адекватного восприятия этих проблем в обществе в значительной мере зависит дальнейшая судьба Человечества. Убежден, что это издание привлечет внимание, всех, кто размышляет о нашем будущем, занимается проблемами экологического права, искренне хочет сделать, и делает все от него зависящее для того, чтобы этот Мир стал лучше, безопасней, более надежным для нас, наших детей, внуков и правнуков».

Не менее авторитетный российский эколог, ученый, политик В.И. Данилов-Данильян пишет: «Мы будем обязательно использовать сборник в учебном процессе, и рекомендуем его всем организациям, вузам и академическим институтам, кафедрам и отделам, связанным с экологическим правом, международными природоохранными отношениями».

Свое мнение в связи с выходом Сборника высказывает российский юрист-эколог С.А.Боголюбов: «Сборник представляется весьма полезным, может помочь ориентироваться в экологических положениях зарубежных конституций, показать их достоинства и отличия от российской Конституции, стимулировать дальнейший правотворческий и правореализационный поиск. Составители пошли дальше меня, поскольку в 2003 г. мною были опубликованы конституционные основы охраны окружающей среды в некоторых государствах Европы в журнале «Черные дыры в российском законодательстве» № 1 и в Журнале российского права № 6, а в 2004 г. в научно-практическом пособии «Конституционное право государств Европы (ред. Д. А. Ковачев)». С тех пор многое изменилось: и новый выпуск, и более подробный подход являются весьма кстати. При изучении текстов зарубежных конституций надо иметь еще раз в виду, что есть конституции лишь на бумаге, называемые фиктивными, и есть конституции исполняемые, действующие, так что наряду с содержанием конституций, других законов, всегда полезно рассматривать результаты их соблюдения всеми и повсеместно».

На основании серьезного ознакомления с работой Е.А. Выстробца можно сказать, что само по себе наличие положений об охране окружающей среды, защите природных объектов, об экологическом воспитании и прочих норм в основных законах практически всех государств – свидетельствует о том, что охрана окружающей среды занимает значительное место во внутренней и внешней политике многих стран.

Но при этом следует подчеркнуть, что в текстах конституций современных государств формулировки о праве человека на благоприятную окружающую среду, не всегда совпадают, но отражают многоаспектные характеристики данного понятия, и именно в этом, на наш взгляд, проявляется ценность объекта исследования.

Так, например, право граждан на «здоровую окружающую среду» закреплено в Главе III Политической конституции Республики Чили (1980), в ст. 69 Устава Хорватской Республики (1990), в ст. 23 Конституции Бельгии (1994), в ст. 27 Конституции Республики Чад (1996), в ст. 9 Конституции Центральноафриканской Республики (2004) и в ряде других основополагающих актов стран, право на «безопасную и здоровую окружающую среду» – в ст. 5 Конституции Королевства Бутан (2008), право «на пользование экологически сбалансированной окружающей средой» – в ст. 225 Конституции Федеративной Республики Бразилии (1988), право каждого человека «на чистую окружающую среду» провозглашается в Преамбуле Конституции Камеруна (1972), «право на

пользование незагрязненной окружающей средой» – в ст. 53 Конституции Демократической Республики Конго (2005). Согласно ст. 27 Конституции Республики Бенин (1990), каждый имеет право «на здоровую, удовлетворительную, устойчивую окружающую среду». В ст. 33 Конституции Ирака (2005) провозглашается право на «чистую окружающую среду», в ст. 44 Конституции Федеративной Демократической Республики Эфиопии (1995), в ст. 42 Кении (2010) – провозглашается право на «чистую и здоровую» окружающую среду, в ст. 48 Конституции Киргизии (2010) – право на «благоприятную для жизни и здоровья экологическую среду». Согласно ст. 37 Конституции Грузии (1995) «все имеют право жить в безвредной для здоровья окружающей среде». Палестинский Основной Закон (1997) в ст. 33 провозглашает право «на сбалансированную и чистую окружающую среду».

Согласно ст. 31 Конституции Княжества Андорра (1993), государство осуществляет надзор за рациональным использованием почв и всех природных ресурсов, чтобы гарантировать каждому достойное качество жизни, а также восстановление и сохранение для будущих поколений рационального экологического баланса атмосферы, вод и земли, защиту местной флоры и фауны». Конституция Республики Болгарии (1991) в ст. 15 обеспечивает «разумное использование природных богатств и ресурсов страны».

Большой научный и практический интерес представляет непосредственный анализ оригинальных юридических текстов, в результате которого можно получить фактическую информацию о составе экологических положений конституций. Это знание формирует комплексное представление о ряде основных форм экологических положений в праве государств. Кроме того, сборник «Экологические положения конституций» в строгой и унифицированной форме обобщает представления об одном из важнейших уровней регулирования экологических отношений. Выход данного издания в свет отмечает веху на пути к созданию экологической конституции Земли.

Квинтэссенцией Сборника является ранжир экологичности конституций стран мира, нанесенный во вкладыш-карту. Методика ранжира описана в конце книги. Авторы проводят параллели между принципами интерэкоправа, экологическими положениями конституций и международными эколого-правовыми декларациями.

Идея подготовки проекта экологической конституции Земли, в принципе, не нова. Большое внимание уделялось ей в работах Ю.С. Шемшученко и других авторов [2].

Однако идея остается идеей до тех пор, пока не будут предприняты конкретные шаги для поиска ответов на вопросы: 1) что объединяет все страны в поиске решения экологических проблем? 2) какие подходы для их решения предпринимают разные страны с учетом положительного и отрицательного опыта каждой конкретной страны? 3) какое место отводится экологическим правам в системе прав человека?

Именно эти аспекты оказались в центре внимания рассматриваемого издания, предопределили общие принципы и подходы, на которых зиждется современная стратегия государств в области охраны окружающей среды и развития.

Анализ включенных в Сборник положений показывает, что экологические права занимают особое место в числе иных конституционных норм. Забота государства о состоянии окружающей среды, рациональном и бережном использовании природных ресурсов и защите экологических прав граждан – фундаментальная основа любого цивилизованного общества. В свою очередь, экологические и иные права (политические, экономические, социальные и др.) взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Весьма отрадно, что конституции молодых государств, возникших в период новейшей истории, содержат нормы об охране окружающей среды. Конституция Лесото (1993), Конституция Демократической Республики Конго (2005), Конституция Республики Мозамбик (2004), Белая книга. Основной закон Султаната Оман (1996), Конституция Республики Намибии (1990), Переходная Конституция Непала (2007), Конституция Федеративной Республики Нигерии (1999), Политическая Конституция Республики Никарагуа (1986), Конституция Независимого Государства Папуа-Новой Гвинеи (1975), Конституция Республики Руанды (2003) и множество других.

Несомненно, подобное издание внесет значимый вклад в развитие и совершенствование международного экологического права. Именно эту цель и преследовали авторы, многие из которых являются учеными и преподавателями ведущих вузов России.

Благодаря электронной форме, классификационному и алфавитному указателям облегчен доступ к искомой информации. Издание адресовано юристам, экологам географам – учащимся и студентам, профессорско-преподавательскому составу и ученым, сотрудникам подразделений, организаций и учреждений, осуществляющих внешние связи, управленческую и хозяйственную деятельность, активистам экологического и правозащитного движений.

Многие извлечения помогут определить «интегрированные» в национальные правовые системы международно-правовые принципы, которые будет возможным внести в Экологическую конституцию Земли, поскольку они есть в конституциях большинства стран. Будем также надеяться, что сборник поможет во внешнеполитической работе в переговорах и окажет влияние на заключение новых международных договоров в области охраны окружающей среды.

Из недостатков сборника следует отметить следующие:

– во-первых, то, что на данный момент он не содержит извлечения экологических положений конституций таких стран, как: Босния и Герцеговина, Ботсвана, Белиз, Бруней-Даруссалам, Бурунди, Кабо-Верде, Коморы, Конго, Эквадор, Джибути, Гана, Кирибати. Гренада, Гваделупа, Индонезия, Люксембург, Мартиника, Маврикий, Монтсеррат, Науру, Вануату, Нигер, Ниуэ, Маршалловы Острова, Гвинея-Бисау, Реюньон, Сейшелы, Сьерра-Леоне, Сингапур, Слова-

кия, Южная Африка, Суринам, Того, Токелау, Тонга, Тринидад и Тобаго, Буркина-Фасо, Уругвай, Самоа, Йемен, Замбия и некоторых других административно-территориальных образований;

– во-вторых, не дан анализ экологических положений Системы Договора об Антарктике (в том числе и новый вариант); не ко всем текстам даны комментарии;

– и, наконец, не дана ретроспектива и комментарий процесса подготовки экологической конституции Земли, что является особенно актуальным в связи с необходимостью реализации решений конференции Рио+20 (Рио-де-Жанейро, 2012). Именно эти аспекты мы пожелаем учесть авторам сборника при составлении последующего издания. Надеемся, что и оно в ближайшее время порадует читателей.

Со своей стороны отметим, что представленный на рецензию сборник по мере его получения в библиотеку РГГМУ мы будем активно использовать в читаемых нами курсах по экологическому праву РФ, европейскому экологическому праву, международному экологическому праву, социальной экологии и экологическим проблемам Российской Федерации.

Список авторов

Бабкин Алексей Владимирович, д.г.н., проф. каф. ДАКЗ (812) 444-59-47
Баранова Мария Евгеньевна, к.ф.-м.н, асс каф. МКОА РГГМУ
Барышников Николай Борисович, д.т.н., проф., зав. каф. гидрометрии РГГМУ (812) 444-82-61
Бекряев Роман Викторович, к.ф.-м.н., доц. каф.климатол. и монит. окруж. среды СПбГУ (812)323-46-47
Белязо Валерий Александрович, к.г.н., ст. науч. сотр. ААНИИ
Бильчак Елена Васильевна, асп. эконом. ф-та БФУ им. Канта
Боев Артём Сергеевич, инж.-исслед. науч.-исслед. сект., магистрант каф. химии прир. среды РГГМУ
Бородин Александр Иванович, д.э.н., проф. каф. экономики и финансов фирмы Нац. исслед. ун-та ВШЭ
Бурцев Кирилл Сергеевич, магистр каф. гидрометрии РГГМУ
Винников Сергей Дорофеевич, к.т.н., доц. каф. гидропрогнозов РГГМУ (812) 444-82-61
Гаврилов Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. МКОА РГГМУ
Гагулина Наталья Львовна, к.ф.-м.н, зам. нач. УМУ по качеству и нормативному обеспечению РГГМУ
Гайдукова Екатерина Владимировна, к.т.н., зав. лаб. математического моделирования гидрологических процессов, каф. гидрофизики РГГМУ (812)444-82-61
Даньшина Анна Владимировна, инж. СЦНИТ РГГМУ (812)4444165
Девятков Владимир Сергеевич, асп. каф.гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ (812) 444-82-61
Дмитриев Александр Алексеевич, к.г.н., вед. науч. сотр.ААНИИ
Дмитриев Алексей Леонидович, д.т.н., проф. РГГМУ
Драбенко Валерия Алексеевна, к.ф.-м.н., доц. воен. каф. РГГМУ
Дроздов Владимир Владимирович, к.г.н, доц., ст. науч. сотр. Науч.-исслед. сектора РГГМУ
Дурягина Елена Георгиевна, ст. преп. каф. химии природной среды РГГМУ(812)224-06-97
Егоров Александр Дмитриевич, д.ф.-м.н., ст. науч. сотр., зав. каф. математики РГГМУ
Зарубин Антон Сергеевич, асп. каф. метеорол. прогнозов РГГМУ (812)4448261
Зорина Екатерина Михайловна, зам. декана ЭИСГФ РГГМУ
Истомин Евгений Петрович, д.т.н., проф., зав. каф. прикладной информатики РГГМУ
Кадилов Кантибек Шокирович, асп. каф. ДАКЗ
Коваленко Виктор Васильевич, д. т. н., проф., зав. каф. гидрофизики и гидропрогнозов (812) 444 82 61
Косенко Ангелина Владимировна, асс. каф. экологии, мл. научн. сотр. науч.-исслед. сектора РГГМУ
Милютин Елена Олеговна, магистр по мониторингу окруж. среды, асп. РГГМУ
Погорельцев Александр Иванович, д.ф.-м.н, зав.каф. метеорол. прогнозов РГГМУ (812) 444-82-61
Постников А.Н., к.г.н, доц. каф. гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ (812)4448261
Потапова Ирина Александровна, к.ф.-м.н., доц. каф. физики РГГМУ (812)224-06-97
Поташко Евгений Александрович, магистр каф. гидрометрии (812) 444-82-61
Ржонсницкая Юлия Борисовна, к.ф.-м.н., доц. каф. физики РГГМУ (812)224-06-97
Рудченко Вероника Николаевна, к.э.н., доц. каф. менеджмента Института эконом. и управления СПбГУКиТ
Русин Игорь Николаевич, д.ф.-м.н., проф., зав. каф.климатол. и мониторинг. окруж. среды СПбГУ (812)323-46-47
Сабанчиева Динара Хазраталиевна, ст. преп. каф. экономики и менеджмента РГГМУ
Саноцкая Надежда Александровна, к.ф.-м.н., ст. препод. каф. математики
Слесарева Людмила Сергеевна, ст. препод. каф. прикладной информатики
Смышляев Сергей Павлович, д.ф.-м.н., проф. каф. метеорологических прогнозов РГГМУ
Соколов Александр Геннадиевич, к.в.н., зав.каф. морских информац. систем РГГМУ
Субботина Елена Сергеевна, к.г.н., доц. каф. гидрометрии РГГМУ (812)444-82-61
Суходолов Тимофей Владимирович, инж. каф. метеопрогнозов РГГМУ
Товбина Валентина Леонидовна, доц. каф. соц.-гум. наук РГГМУ
Уразгильдеева Александра Вадимовна, магистр каф.климатол. и монит. окруж. среды СПбГУ (812)323-46-47
Фрумин Григорий Тевелевич, проф.каф. экологии (812)2240697
Царев Валерий Анатольевич, д.ф.-м.н., проф., зав. каф. океанологии РГГМУ
Чанцев Валерий Юрьевич, к.г.н., доц. каф. ПО и ОПВ РГГМУ
Чихачев Кирилл Борисович, асп. метеорологич. фак-та РГГМУ
Шаратунова Мария Владимировна, асп. каф. океанологии РГГМУ
Шарина Юлия Валерьевна, инж. отдела гидролог. сети и мониторинга ФГБУ ГГИ (812) 323-12-49
Шевнина Елена Валентиновна, к.т.н., с.н.с. Арктич. и антарктич. Науч.-исслед. института
Шмакова Марина Валентиновна, к.т.н., науч. сотр. ГГИ
Эслим Хасан Абд Ал-Хамид, асп. каф. ДАКЗ РГГМУ (812) 444-59-47

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: [Иванов, 1995]. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [Иванов, 1995, с. 23]. При наличии ссылок на несколько работ одного автора, опубликованных в одном году, рядом с годом издания указывается буква русского алфавита, показывающая порядок данного издания в списке литературы: [Иванов, 1995а, 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.

Подписную 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
№ 26

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакторы: И.Г. Максимова
Компьютерная верстка: Н.И. Афанасьевой
ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 30.11.12. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 24,05. Тираж 500 экз. Заказ № 137.
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
