

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

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

# УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 25

*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 № 25. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 204 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 25. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2012. – 204 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>А.А. Волчек, Т.А. Шелест.</i> Формирование зимних паводков на реках Беларуси . . . . .	5
<i>И.Ф. Карасев, С.Д. Винников, О.Е. Кучеренко.</i> Экстраполяция максимальных расходов воды при нестационарном движении руслового потока . . . . .	20
<i>А.В. Иванов, Ю.Д. Смирнов, И.Е. Капранов.</i> Исследование процессов диспергирования жидкости при работе форсунок пылеподавления . . . . .	26
<i>М.А. Науменко, А.В. Зелинко, З.В. Стрекалова.</i> Опыт создания цифровой морфометрической модели малого озера на основе высокоточного эхолотирования . . . . .	35
<i>Р.Д. Фролов, А.В. Рождественский.</i> Русловой режим рек и их судоходное состояние . . . . .	41
<i>Е.С. Орлеанская.</i> Анализ геоэкологических аспектов водопотребления России и стран мира на основе индикатора Водный след . . . . .	49

### Метеорология

<i>В.И. Воробьев, А.А. Расторгуева.</i> Некоторые особенности многолетнего режима ежедневных значений максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге на рубеже веков . . . . .	59
<i>В.А. Шемелов, К.А. Лобанов.</i> Модель справочного полного электронного содержания плазмосферы . . . . .	68
<i>А.А. Коршунов, В.М. Шаймарданов, М.З. Шаймарданов.</i> Создание базы данных об опасных явлениях для климатических исследований и обслуживания . . . . .	79
<i>М.Р. Гахраманова.</i> Пути повышения точности наземных зенитно-радиационных измерений оптической толщины облаков . . . . .	86

### Океанология

<i>А.В. Даньшина, В.Ю. Чанцев.</i> Формирование грибовидного течения на притоленной струе . . . . .	92
---	----

### Экология

<i>М.Б. Шилин, В.Б. Погребов, М.А. Мамаева, С.В. Лукьянов, Ю.А. Леднова.</i> Уязвимость экосистем береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу . . . . .	107
<i>А.С. Боев, Ф.А. Дмитриев.</i> Оценка загрязненности почв и растительности о. Валаам нефтепродуктами и тяжелыми металлами . . . . .	122

### Геофизика

<i>М.Ю. Белевич.</i> О термодинамике вязкой жидкости . . . . .	132
--	-----

### Информационные технологии

<i>С.А. Оганова, Н.Л. Плинок.</i> Развитие геоинформационных систем как инструмента комплексного управления прибрежными зонами . . . . .	149
<i>Т.М. Татарникова, Н.В. Яготинцева.</i> Характеристика проблемы интеграции образцов радиоэлектронного вооружения корабля . . . . .	156

### Экономика

<i>А.И. Бородин.</i> Экономическая эффективность предприятия как фактор его устойчивого развития . . . . .	163
<i>М.А. Ермолина.</i> Плата за загрязнение окружающей среды и проблемы правоприменения . . . . .	172

### Социально-гуманитарные науки

<i>М.Г. Лазар.</i> Этика науки конца XX - начала XXI вв. и ее проблемы . . . . .	177
<i>С.А. Абезгауз.</i> Образование института коммерческих агентов Министерства финансов Российской империи за границей . . . . .	191

## CONTENTS

### Hydrology

<i>A.A. Volchek, T.A. Shelest.</i> Formation of winter high waters on the rivers of Belarus . . . . .	5
<i>I.F. Karasev, S.D. Vinnikov, O.E. Kucherenko.</i> Extrapolation of maximum water discharge in the unsteady channel flow . . . . .	20
<i>A.V. Ivanov, Y.D. Smirnov, I.E. Kapranov.</i> Research of processes of dispersion of the liquid at work of atomizers of dust suppression . . . . .	26
<i>M.A. Naumenko, A.V. Zelionko, Z.V. Strekalova.</i> Experience of creation of the digital morphometric model of small lake on the basis of precise echo-sounding . . . . .	35
<i>R.D. Frolov, A.V. Rojdestvenskii.</i> River regimes and their navigable conditions . . . . .	41
<i>E.S. Orleanskaya.</i> Analysis of geoecological aspects of Russia water consumption and countries of world on basis of indicator water footprint. . . . .	49

### Meteorology

<i>V.I. Vorobyev, A.A. Rastorguyeva.</i> On certain features of long-term variations in daily values of maximum and minimum air temperatures in St. Petersburg at the turn of the century . . . . .	59
<i>V.A. Shemelov, K.A. Lobanov.</i> Reference TEC model of plasmasphere . . . . .	68
<i>A.A. Korshunov, V.M. Shaimardanov, M.Z. Shaimardanov.</i> Development of a database on hazardous events for climate study and climate services. . . . .	79
<i>M.R. Gahramanova.</i> Ways to increase the accuracy of ground zenith-radiation measurements of optical depth of clouds . . . . .	86

### Oceanology

<i>A.V. Danshina, V.Yu. Chantsev.</i> Mashroom-like current formation in the submerged jet. . . . .	92
---	----

### Ecology

<i>M.B. Shilin, V.B. Pogrebov, M.A. Mamaeva, S.V. Lukyanov, Ju.A. Lednova.</i> Ecological sensitivity of the coastal zone of the eastern gulf of Finland (the Baltic sea) to dredging. . . . .	107
<i>A.S. Boev, F.A. Dmitriev.</i> Soils and plants contamination assessment from heavy metal and petroleum products pollution in Vallam island . . . . .	122

### Geophysics

<i>M.Yu. Belevich.</i> On thermodynamics of the viscous fluid . . . . .	132
---	-----

### Information technologies

<i>S.A. Oganova, N.L. Plink.</i> Development of geographic information system as a tool of integrated coastal zone management . . . . .	149
<i>T.M. Tatarnikova, N.V. Yagotinceva.</i> Problem description of ship armament radio electronic standards integration . . . . .	156

### Economics

<i>A.I. Borodin.</i> Economic efficiency of the enterprise as the factor of its sustainable development. . . . .	163
<i>M.A. Ermolina.</i> Payment for environmental pollution and problems of enforcement . . . . .	172

### Social science and humanities

<i>M.G. Lazar.</i> The Ethics of Science at the Edge of XX and XXI century and its Problems . . . . .	177
<i>S.A. Abezgausz.</i> The establishment of the institute of commercial agents abroad of the Ministry of Finance of the Russian empire . . . . .	191

*А.А. Волчек, Т.А. Шелест*

## ФОРМИРОВАНИЕ ЗИМНИХ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ

*A.A. Volchek, T.A. Shelest*

## FORMATION OF WINTER HIGH WATERS ON THE RIVERS OF BELARUS

*Выявлены пространственно-временные закономерности в формировании зимних паводков на реках Беларуси. Проанализированы многолетние ряды наблюдений за максимальными расходами воды зимних паводков, дана оценка их изменениям. Исследована роль различных типов циркуляции атмосферы в формировании зимних паводков.*

*Ключевые слова: зимние паводки, максимальные расходы воды, модули стока, многолетние колебания, типы циркуляции атмосферы, период.*

*Existential laws in formation of winter high waters on the rivers of Belarus are revealed. Long-term numbers of supervision over the maximum expenses of water of winter high waters are analysed, the estimation is given their changes. The role of various types of circulation of atmosphere in formation of winter high waters is revealed.*

*Key words: winter high waters, the maximum expenses of water, drain modules, long-term fluctuations, types of circulation of atmosphere, the period.*

### **Введение**

Географическое положение Беларуси, зона достаточного увлажнения, особенности геологического строения и рельефа создали благоприятные условия для развития гидрографической сети – рек, ручьев, озер. Реки страны принадлежат к бассейнам двух морей – Черного и Балтийского (соответственно 58 и 42 % площади). Из общего числа рек и ручьев (20,8 тыс.) суммарной протяженностью 90,6 тыс. км большинство водотоков относится к малым рекам (93 % от общего количества рек и 53 % от длины всех рек). Крупные реки, длина которых более 500 км, – Днепр, Западная Двина, Неман, Виляя, Припять, Сож, Березина.

Реки Беларуси по гидрологическому режиму являются классическими представителями восточно-европейского типа со стоком во все сезоны года и преобладанием весеннего стока. Поэтому результаты исследования могут быть полезны не только для территории Беларуси, но и для сопредельных территорий.

Сток в зимний период на реках страны формируется главным образом за счет сработки запасов подземных вод, аккумулированных в пределах бассейна. В период

оттепелей зимний сток пополняется за счет вод, образующихся от таяния снега и выпадения дождей. Увеличение расходов воды, обусловленное притоком этих вод, проявляется в виде зимних паводков.

Пространственно-временные закономерности формирования зимних паводков, в отличие от дождевых летне-осенних паводков, изучены в значительно меньшей степени. Это вызвано в первую очередь меньшими экономическими ущербами и частотой возникновения зимних паводков.

Тем не менее зимние паводки существенно влияют на гидрологический режим рек и в значительной степени формируют весеннее половодье. Кроме того, нередко случаи, когда паводки перерастают в наводнения, что приводит не только к огромным материальным потерям, но и к человеческим жертвам, а учитывая современные темпы освоения водосборов, эти потери будут возрастать.

Чаще всего в Беларуси зимние паводки перерастают в наводнения на полесских реках. Так, выдающиеся зимние паводки, перешедшие в наводнения, были зимой 1974–1975, 1980–1981, 1998–1999 гг., большие – зимой 1947–1948, 1992–1993, 1993–1994, 1997–1998 гг. [2,9]. Кроме бассейна Припяти, зимние паводки, хотя и меньших размеров, формируются на других реках Беларуси. Больше всего этому явлению подвержены бассейны рек Западная Двина, Неман, Западный Буг, Днепр, Березина, Сож.

Зимние паводки в южных районах страны нередко перерастают в весеннее половодье, как это было в 1990, 1992, 2000 гг.

Современное потепление климата привело к тому, что зимы стали более теплыми, начало их сместилось на более ранние сроки, участились оттепели, нередко наблюдается выпадение осадков в виде дождя, значительно превышающих норму, отмечается повышенная увлажненность предшествующего осеннего сезона. Все это способствует формированию высоких зимних паводков, что требует изучения их пространственно-временных колебаний.

Целью настоящего исследования является выявление пространственно-временных закономерностей в формировании зимних паводков на реках Беларуси в условиях современного изменения климата. Для реализации поставленной цели потребовалось решить следующие задачи: проанализировать многолетние ряды наблюдений за максимальными расходами воды зимних паводков; дать оценку их изменениям; выявить зависимость величины зимних паводков от типов циркуляции атмосферы; проанализировать распределение модулей стока зимних паводков по территории страны.

### **Исходные данные и методика исследования**

Исходными данными для исследования послужили материалы наблюдений Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за наибольшими единичными паводками в холодный период года, а также использованы стандартные данные наблюдений на гидрометеорологической сети, фондовые материалы различных организаций и учреждений за период инструментальных наблюдений, картографические и опубликованные источники. В исследовании использованы данные по рекам Беларуси, имеющим период инструментальных наблюдений более 50 лет.

Методологической основой исследования явились научные положения о стохастической природе колебаний зимних паводков, что позволило использовать современные статистические методы анализа временных рядов, методы математического моделирования, а системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать наиболее важные положения пространственно-временных колебаний зимних паводков.

## Полученные результаты и их обсуждение

### *Пространственная структура зимних паводков*

Для анализа пространственной структуры зимних паводков использованы гидрологические временные ряды максимальных расходов воды единичных наибольших паводков в холодный период года. Чтобы сгладить ошибки, вызванные длиной временного ряда, все ряды приведены к единому интервалу с 1946 по 2005 г. Далее, используя трехпараметрическое гамма-распределение, с помощью программного комплекса «Гидролог» [1] получены максимальные модули стока зимних паводков 5 %-ной обеспеченности, пространственная структура которых показана на рис. 1.

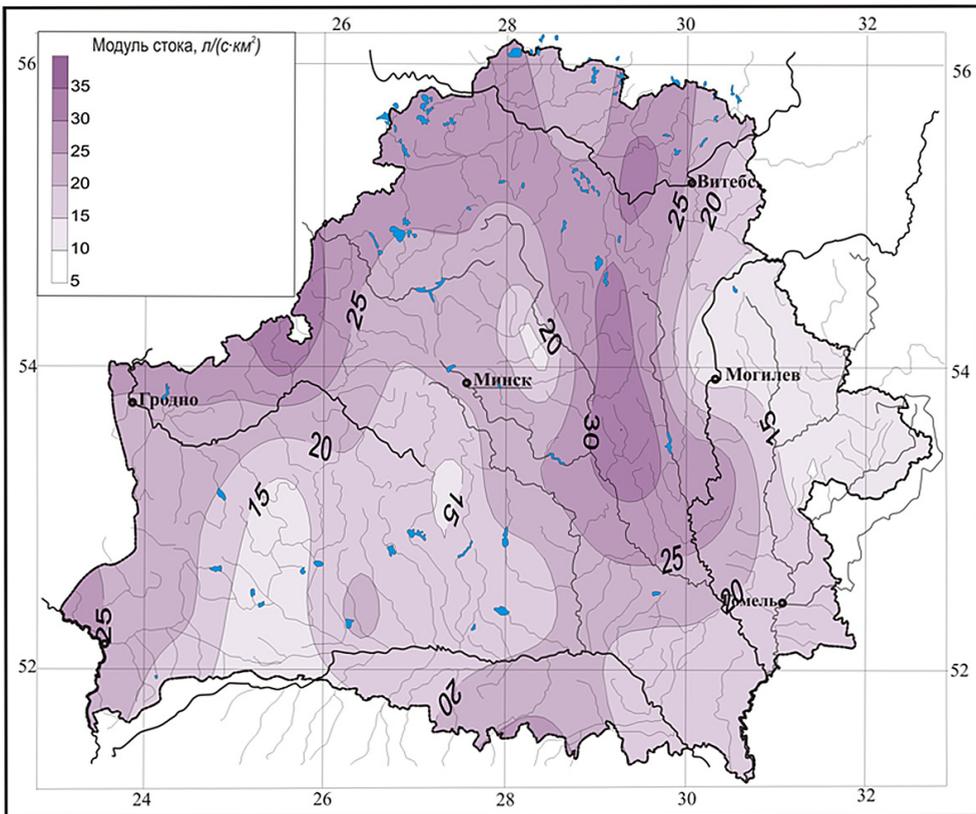
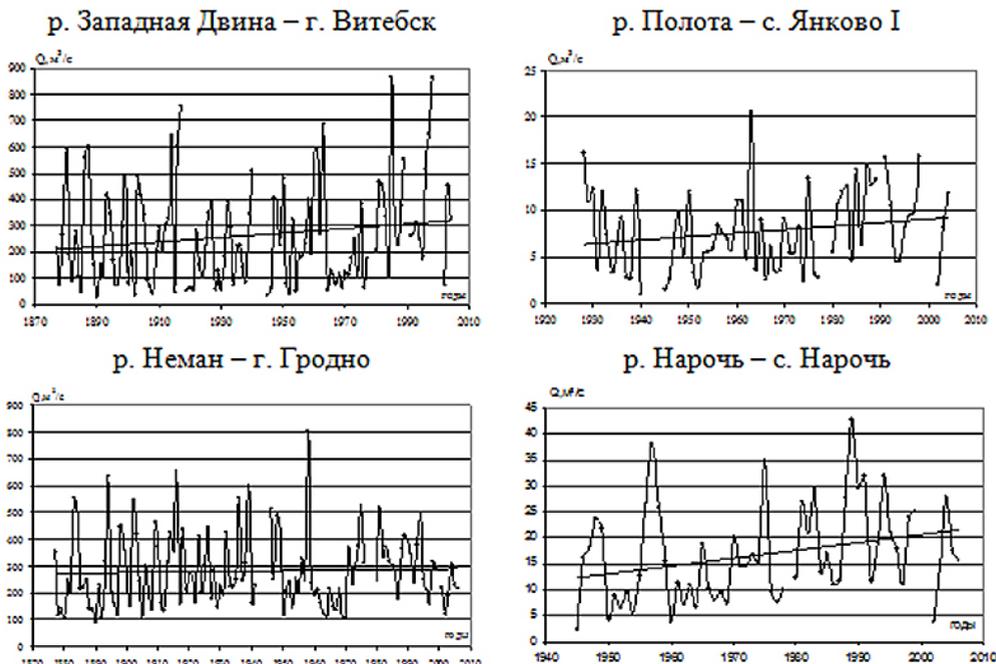


Рис. 1. Максимальные модули стока зимних паводков 5 %-ной обеспеченности рек Беларуси

Анализ показывает, что модули стока зимних паводков 5 %-ной обеспеченности на реках Беларуси варьируют в среднем в пределах от 15 до 25 л/(с·км<sup>2</sup>). Имеются территориальные различия. Так, минимальные значения модулей стока зимних паводков характерны для рек Полесья, где они составляют 10–20 л/(с·км<sup>2</sup>). В бассейне Западной Двины и Днепра, на правобережных притоках р. Неман значения модулей возрастают до 25–30 л/(с·км<sup>2</sup>). Это обусловлено различием в подстилающих грунтах, структуре ландшафтов, глубине промерзания, величине атмосферных осадков и температурном режиме, геологической структуре. Так, реки Полесья представлены в основном песчаными грунтами, которые хорошо впитывают талую воду. Кроме того, глубина промерзания грунтов значительно меньше, чем на водосборах других рек страны, меньше также количество атмосферных осадков, что и влияет на величину зимних паводков.

### Многолетние колебания зимних паводков

Для анализа имеющихся данных и выявления тенденций их изменений построены графики многолетних колебаний максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений на основных реках Беларуси, расположенных в разных частях страны (рис. 2). Паводки, у которых начало наблюдалось в предыдущем году, а конец в последующем, относились к тому году, когда отмечался максимальный расход воды.



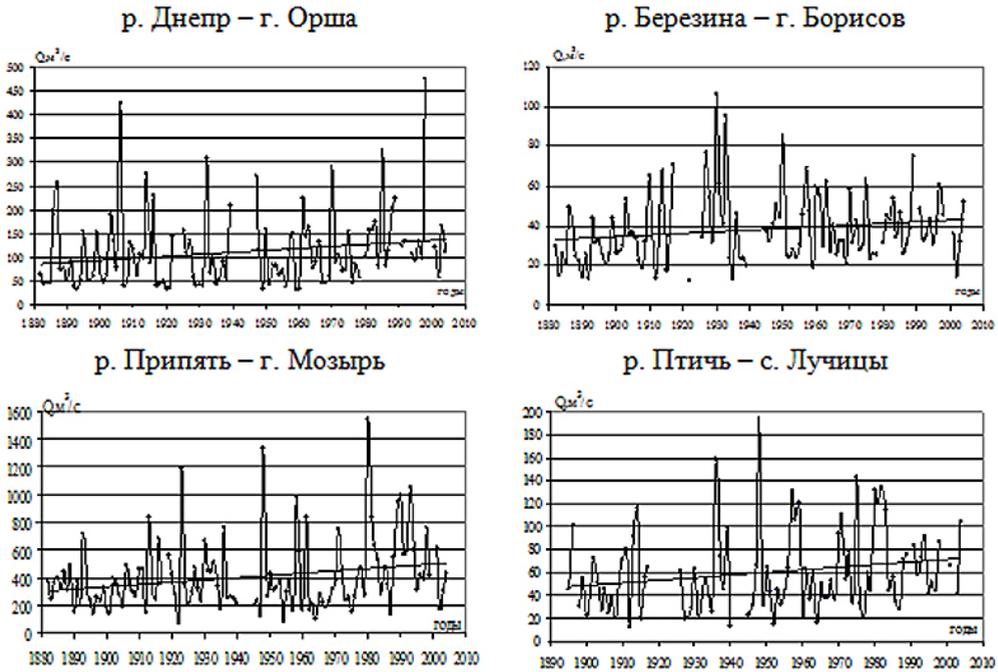


Рис. 2. Графики многолетних колебаний максимальных расходов воды зимних паводков рек Беларуси

В табл. 1 приведены основные статистические параметры трендов рядов максимальных расходов воды зимних паводков.

Таблица 1

Статистические параметры трендов зимних паводков

Река–пост	Градиент изменения, (м³/с)/10 лет	R
Западная Двина – г. Витебск	0,86	0,16
Полота – с. Янково I	0,04	0,19
Неман – г. Гродно	0,11	0,03
Нарочь – с. Нарочь	0,15	0,29
Днепр – г. Орша	0,43	0,19
Березина – г. Борисов	0,08	0,17
Припять – г. Мозырь	1,64	0,23
Птичь – с. Лучицы	0,22	0,20

На р. Западная Двина – г. Витебск наибольшие зимние паводки по величине максимального расхода за период инструментальных наблюдений отмечены в период после 1980 г. (1985, 1998 гг.). Крупные зимние паводки были также в 1880, 1887,

1914, 1916, 1917, 1961, 1963 гг. Наименьшие паводки отмечались в период с середины 60-х по начало 80-х годов XX в.

На притоках Западной Двины наибольшие паводки отмечались в 1963, 1975, 1989, 1991, 1998 гг. На реках Полота – с. Янково I, Эса – с. Гадивля, Кривинка – с. Добригоры наибольший паводок за период инструментальных наблюдений отмечен в 1963 г., на реках Улла – с. Промыслы, Дисна – г.п. Шарковщина, Березовка – с. Саутки – в 1989 г. В целом на всех реках бассейна Западной Двины наблюдается тенденция роста максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений.

Наибольшие зимние паводки на р. Неман – г. Гродно зафиксированы в 1894, 1916, 1939, 1958 гг., несколько меньшие – в 1883, 1884, 1902, 1936, 1946, 1975, 1981 и 1994 гг. После 1994 г. крупных зимних паводков на р. Неман – г. Гродно не наблюдалось. На притоках Немана (реки Исlochь – с. Боровиковщина, Гавья – с. Лубинята, Дитва – с. Поречаны, Вилия – с. Стешицы, Нарочь – с. Нарочь) отмечается явно выраженная тенденция роста максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений. Наибольшие паводки наблюдались в 1975, 1989, 1993, 1994, 2004 гг. Противоположная картина наблюдается на реках Неман – г. Столбцы и Вилия – г. Вилейка. На некоторых реках (Котра – г.п. Сахкомбинат, Свисlochь – с. Сухая Долина, Неман – г. Гродно) сдвиг в величине зимних паводков в ту или иную сторону не отмечается. Наименьшими величинами зимних паводков характеризуются 1960-е годы.

На р. Днепр – г. Орша наибольший зимний паводок за период инструментальных наблюдений (с 1882 г.) зафиксирован в 1998 г. (как и в створе г. Могилев). Крупные зимние паводки были также в 1906, 1932, 1970, 1985 гг. В конце XIX в., а также в 20-е и 50–60-е годы XX в. отмечаются наименьшие зимние паводки. В целом наблюдается тенденция роста величины максимального стока зимних паводков. Аналогичная тенденция отмечается и в других створах. На р. Днепр – г. Речица наибольшие зимние паводки зафиксированы в 1910, 1939, 1948, 1959, 1963, 1980, 1991 гг., на р. Днепр – г. Могилев – в 1933, 1934, 1947, 1961, 1985, 1989 и 1998 гг.

Наибольшие зимние паводки на р. Сож – г. Гомель были в 1939, 1948, 1975, 2001, 1985 и 1998 гг. После 1980 г. отмечается уменьшение размаха колебаний величины зимних паводков в целом, обусловленное увеличением средней величины паводков, в то время как наибольшие наблюдались в более ранние годы. Та же тенденция характерна и для других рек. Так, на р. Березина в створах Бобруйск и Борисов наибольшие зимние паводки отмечались в 1930 и 1933 гг. В последние десятилетия таких больших зимних паводков не наблюдается, однако в среднем величина их выросла.

Таким образом, на р. Днепр и практически всех его притоках отмечается тенденция роста максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений.

Аналогичная ситуация и в бассейне р. Припять. Наибольшие зимние паводки в створе г. Мозырь были в 1923, 1948, 1958, 1980, 1989, 1990, 1993 и 1998 гг. На притоках р. Припять (р. Птичь – с. Лучицы и р. Оресса – с. Андреевка) наибольшие зимние паводки по величине максимального расхода зафиксированы в 1936 и 1948 гг. Значительные по своей величине паводки были в 1957–1959, 1975, 1980–1982 гг. На

р. Оресса – с. Андреевка в 1994, 1998 и 2004 гг. отмечались большие зимние паводки (соответствуют 4–10 % обеспеченности).

На правобережных притоках р. Припять (реки Горынь, Уборть, Словечна, Чертедь) наибольшие паводки также были в 1948, 1975, 1982, 1998 гг. Хотя на реках Чертедь и Уборть отмечается тенденция некоторого снижения максимумов зимних паводков.

На р. Цна – с. Дятловичи и р. Случь – с. Ленин, имеющих более короткий период инструментальных наблюдений (с середины 50-х годов XX в.), также наблюдается рост величины зимних паводков. Наибольшие зимние паводки здесь отмечались, как и на большинстве рек бассейна Припяти, в 1975, 1981, 1990, 1994 и 1998 гг.

Период с 1960 до середины 70-х годов в бассейне р. Припять характеризуется наименьшими зимними паводками на всех реках.

Иная картина изменений наблюдается на реках бассейна Западного Буга, имеющих период инструментальных наблюдений с 50–60-х годов XX в. **Наибольшие паводки** здесь были в 1958, 1971, 1975, 1982 гг. С середины 1980-х годов отмечено резкое снижение максимумов зимних паводков.

В табл. 2 приведены годы с зимними паводками различной градации.

Таблица 2

Годы с зимними паводками различной градации

№ п/п	Река – створ	Период наблюдений	Характеристика паводка		
			$P \leq 1 \%$	$P = 1-5 \%$	$P = 5-10 \%$
1	Зап.Двина–г. Витебск	1877–1940, 1945–2005	1985, 1998	1914, 1917, 1963, 1997	1880, 1886, 1887, 1916, 1960, 1961
2	Улла – с. Бочейково	1929–1939, 1946–2005		1975, 1989, 1998	1957, 1967, 1988
3	Полота – с. Янково I	1928–1940, 1945–2005		1928, 1963, 1998	1975, 1985, 1987, 1991
4	Нача – с. Горовцы	1927–1940, 1945–2005		1939, 1963, 1988	1928, 1989, 1991, 1998
5	Дисна – г.п. Шарковщина	1945 – 2005		1981, 1988, 1989	1975, 1991
6	Неман – г. Гродно	1877–1941, 1946–2005	1958	1883, 1894, 1916, 1936, 1939	1884, 1902, 1946, 1948, 1975, 1981, 1994
7	Неман – г. Столбцы	1923–1933, 1945–2005		1926, 1930, 1939	1933, 1949, 1975, 2004
8	Виляя – г. Вилейка	1949–2005		1957, 1975	1949, 1951, 1958
9	Виляя – с. Михалишки	1946–2005		1949, 1975, 1994	1946, 1957, 1989
10	Котра – г.п. Сахкомбинат	1946–2005		1946, 1948, 1958	1971, 1989, 2004
11	Нарочь – с. Нарочь	1945–2005		1957, 1975, 1989	1990, 1991, 1994
12	Копаяювка – с. Черск	1949–2005		1971, 1975, 1982	1949, 1958, 1967
13	Лесная – г. Каменец	1946–2005		1948, 1949, 1958	1957, 1971, 1975
14	Днепр – г. Орша	1882–1939, 1947–2005	1998	1906, 1914, 1932, 1970, 1985	1887, 1916, 1947, 1961, 1989

№ п/п	Река – створ	Период наблюдений	Характеристика паводка		
			$P \leq 1 \%$	$P = 1-5 \%$	$P = 5-10 \%$
15	Днепр – г. Могилев	1931–1941, 1944–2005		1934, 1985, 1998	1933, 1947, 1961, 1989
16	Днепр – г. Жлобин	1936 – 1940, 1945–2005		1939, 1952, 1981	1947, 1961, 1991
17	Днепр – г. Речица	1895 – 1941, 1946–2005	1910	1939, 1981, 1963, 1991	1913, 1948, 1959, 1975, 1983,
18	Березина – г. Борисов	1882–1917, 1926–1939, 1945–2005	1930	1927, 1933, 1950, 1989	1910, 1914, 1917, 1957, 1963, 1975
19	Березина – г. Бобруйск	1881–1916, 1921–1939, 1945–2005	1933	1913, 1930, 1958, 1975, 1982	1949, 1950, 1959, 1965, 1981
20	Сож – г. Славгород	1898–1941, 1944– 2005	1939	1927, 1932, 1947, 1985	1916, 1958, 1970, 1981, 1988
21	Сож – г. Гомель	1901–1939, 1946–2005	1975	1939, 1948, 1985, 2001	1916, 1959, 1981, 1998
22	Жадунька – с. Костюковичи	1949–2005		1957, 1985	1966, 1974, 1988
23	Беседь – с. Светиловичи	1929–1940, 1944–2005	1970	1957, 1958	1932, 1974, 1975, 1988
24	Уза – с. Прибор	1929–1941, 1945–2005	1948	1957, 1979	1971, 1974, 1989, 1994
25	Припять – г. Мозырь	1882–1940, 1945–2005	1980	1923, 1948, 1958, 1990, 1993	1913, 1936, 1961, 1981, 1989, 1998
26	Птичь – с. Лучицы	1895–1917, 1926–1940, 1945–2005	1948	1936, 1975, 1982	1914, 1957, 1959, 1980, 1981, 1983
27	Оресса – с. Андреевка	1926–1940, 1944–2005		1936, 1980, 2004	1975, 1981, 1994, 1998
28	Горынь – пос. Речица	1922–1933, 1946–2005		1948, 1975, 1982	1960, 1971, 1981, 1998
29	Ясельда – с. Сенин	1926–1933, 1945–2005		1980, 1981, 1990	1961, 1989, 1991, 1998
30	Уборть – с. Краснобережье	1926–1940, 1945–2005		1926, 1932, 1933	1930, 1948, 1958, 1998

Анализ таблицы показывает, что в наступлении высоких зимних паводков в основном существует синхронность по территории, однако величина их может быть различной. Высокие зимние паводки на большинстве рек страны наблюдались в 1948, 1975, 1989, 1998 гг. Зимний паводок 1948 г. по величине максимального расхода воды на некоторых реках Полесья (Уза, Птичь, Горынь, Чертедь) был наибольшим за весь период инструментальных наблюдений. В бассейне же Нема-

на его обеспеченность составляла около 15 %, Западной Двины – 20 %. Паводок 1975 г. максимальным за весь период наблюдений был на р. Сож – г. Гомель, на остальных реках его величина соответствует в среднем 5–10 % обеспеченности, в бассейне Западной Двины – до 15 %. Зимний паводок 1998 г. максимальным был на реках Днепр (г. Орша и Могилев), Западная Двина (г. Витебск и Полоцк), Дрисса (с. Дерновичи). На реках бассейна Немана и Западного Буга величина паводка 1998 г. соответствует лишь 20–30 % обеспеченности, в бассейне Припяти – около 10 %.

Нередко наблюдается и асинхронность в формировании зимних паводков. Так, в бассейне Западной Двины высокий зимний паводок наблюдался в 1963 и 1985 гг., в бассейне Немана – в 1994 г., в бассейне Днепра и Припяти – зимой 1980–1981 гг., в то время на остальных реках страны величина этих паводков была средней.

Таким образом, на большинстве рек Беларуси отмечается тенденция роста величины максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений. При этом наибольшие паводки отмечались, как правило, в более ранние годы. С середины 1980-х годов увеличилась средняя величина зимних паводков, т.е. произошло некоторое выравнивание величин паводков за счет снижения больших и увеличения малых паводков. Нередко за зиму отмечается несколько паводков, что снижает величину их максимального расхода (1980–1981, 1990–1991, 1997–1998 гг.). Минимальные зимние паводки на большинстве рек отмечены в 60-е годы прошлого столетия.

#### ***Роль типов циркуляции атмосферы в формировании зимних паводков***

Для выявления закономерностей многолетних колебаний стока зимних паводков проведен сопряженный анализ стока и обобщенных характеристик циркуляции атмосферы. Наиболее удобным для анализа формирования стока является макроциркуляционный метод, предложенный Г.Я. Вангенгеймом и А.А. Гирсом. Метод основан на выделении элементарных синоптических процессов и обобщении всех видов элементарных синоптических процессов в трех типах циркуляции атмосферы: W – западном, E – восточном, C – меридиональном и нескольких комбинированных, для каждого из которых характерны свои особенности состояния атмосферы [3,4]. Макропроцессы каждого типа сохраняются в течение длительного времени (циркуляционные эпохи), в результате формируется определенный тип погоды и, как следствие, климат территории. Поэтому каждая из форм циркуляции обуславливает разные метеорологические условия на территории Беларуси, определяющие соответствующий гидрологический режим рек. При этом для каждой из циркуляционных эпох были определены статистические параметры: средние величины максимальных расходов воды, коэффициенты вариации  $C_v$  и коэффициенты автокорреляции  $r(l)$ . Помимо этого рассматривалось количество зимних паводков обеспеченностью не более 25 % в каждую из эпох.

В табл. 3 представлены основные статистические параметры временных рядов максимальных расходов воды зимних паводков для периодов с разными типами циркуляции атмосферы рек Беларуси, имеющих наиболее продолжительный период наблюдений [7].

**Статистические параметры временных рядов максимальных расходов воды зимних паводков для периодов с разными типами циркуляции атмосферы**

Река – створ	Период	$n$	Тип циркуляции атмосферы	Число паводков $P < 25\%$	$Q_{\text{ср}}'$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$r(I)$
Западная Двина – г. Витебск	1877–1889	13	С	3	267	0,71	0,16
	1890–1928	39	W	8	238	0,78	0,20
	1929–1939	11	Е	1	195	0,55	0,02
	1940–1948	5	С	3	281	0,69	
	1949–1970	22	Е+С	5	237	0,80	0,15
	1971–1995	25	Е	6	293	0,60	-0,06
	1996–2005	10	W	4	479	0,52	0,20
	Весь период	125			261	0,74	0,05
Полота – с. Янково I	1929–1939	11	Е	3	7,51	0,50	-0,18
	1940–1948	5	С	0	4,41	0,78	
	1949–1970	22	Е+С	4	6,92	0,59	-0,20
	1971–1995	25	Е	8	8,71	0,49	-0,15
	1996–2005	10	W	2	9,50	0,44	0,20
	Весь период	73			7,79	0,56	-0,10
Неман – г. Гродно	1877–1889	13	С	2	248	0,57	0,38
	1890–1928	39	W	13	289	0,49	-0,07
	1929–1939	11	Е	3	308	0,46	-0,08
	1940–1948	5	С	2	330	0,44	
	1949–1970	22	Е+С	2	228	0,66	0,10
	1971–1995	25	Е	10	339	0,26	-0,03
	1996–2005	10	W	0	227	0,27	0,07
	Весь период	125			281	0,49	0,13
Днепр – г. Орша	1882–1889	8	С	2	99,0	0,76	
	1890–1928	39	W	8	100	0,79	-0,09
	1929–1939	11	Е	2	94,6	0,87	-0,21
	1940–1948	2	С	1			
	1949–1970	22	Е+С	6	98,1	0,67	-0,10
	1971–1995	25	Е	7	125	0,50	-0,04
	1996–2005	10	W	2	165	0,79	-0,34
	Весь период	117			110	0,74	-0,19

Продолжение таблицы 3

Река – створ	Период	$n$	Тип циркуляции атмосферы	Число паводков $P < 25 \%$	$Q_{sp}$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$r(I)$
Березина – г. Борисов	1882–1889	8	C	1	28,7	0,36	
	1890–1928	32	W	7	35,3	0,48	0,02
	1929–1939	11	E	4	44,3	0,67	0,06
	1940–1948	4	C	1	40,3		
	1949–1970	22	E+C	7	40,3	0,44	-0,06
	1971–1995	25	E	5	38,7	0,32	-0,13
	1996–2005	10	W	2	40,5	0,34	-0,13
	Весь период	112			38,0	0,46	-0,01
Сож – г. Гомель	1901–1928	28	W	2	154	0,41	0,24
	1929–1939	11	E	5	196	0,43	-0,21
	1940–1948	3	C	2			
	1949–1970	22	E+C	3	142	0,46	0,13
	1971–1995	25	E	11	208	0,36	-0,17
	1996–2005	10	W	2	207	0,69	-0,24
	Весь период	99			177	0,45	0,02
	Припять – г. Мозырь	1882–1889	8	C	1	368	0,20
1890–1928		39	W	6	356	0,59	-0,22
1929–1939		11	E	3	397	0,46	-0,32
1940–1948		5	C	1	421	1,08	
1949–1970		22	E+C	3	330	0,65	-0,06
1971–1995		25	E	13	548	0,59	0,30
1996–2005		10	W	2	440	0,38	-0,15
Весь период		120			405	0,63	-0,11
Птичь – с. Лучицы	1895–1928	26	W	4	50,2	0,54	-0,06
	1929–1939	11	E	3	59,3	0,65	-0,08
	1940–1948	5	C	1	65,2	1,02	
	1949–1970	22	E+C	4	54,8	0,57	0,29
	1971–1995	25	E	10	72,3	0,50	0,15
	1996–2005	10	W	2	65,3	0,35	-0,22
	Весь период	99			59,8	0,60	0,02

На реках бассейна Западной Двины наиболее продолжительный период наблюдений, позволяющий проследить паводки по каждой из циркуляционных эпох, имеется лишь на р. Западная Двина – г. Витебск. Здесь зимние паводки наибольшей величины отмечались в период 1996–2005 гг., который соответствует западной форме циркуляции атмосферы W. На притоках Западной Двины наибольшие паводки были в периоды с восточной и западной формами циркуляции.

Наибольшие зимние паводки на реках водосбора Немана отмечались в периоды 1971–1995 гг. и 1929–1939 гг., соответствующие восточной форме циркуляции атмосферы (E).

На большинстве рек бассейна Днепра (с Припятью) наибольшая средняя величина максимальных расходов воды зимних паводков отмечается в периоды с преобладанием восточной формы циркуляции атмосферы (E): 1971–1995 гг. (Сож – г. Гомель, Припять – г. Мозырь, Птичь – с. Лучицы), 1929–1939 гг. (Березина – г. Борисов). На р. Днепр – г. Орша наиболее многоводный период 1996–2005 гг.

Проведенные исследования показали, что на большинстве рек Беларуси наибольшие зимние паводки зафиксированы в периоды с восточным типом циркуляции атмосферы (E). На некоторых реках в период 1996–2005 гг., соответствующий западному типу циркуляции (W), отмечается увеличение количества зимних паводков обеспеченностью не более 25 %. Период 1940–1948 гг. с господством меридиональных процессов (C) также имеет высокие значения максимальных расходов воды зимних паводков, однако он недостаточно репрезентативен из-за своей малой продолжительности (около 5 лет) вследствие отсутствия наблюдений в военные годы. Период 1949–1970 гг. с комбинированным восточно-меридиональным (E+C) типом циркуляции характеризуется наименьшими зимними паводками.

#### *Оценка изменения максимальных расходов воды зимних паводков*

Для количественной оценки характера изменений максимальных расходов воды зимних паводков во времени ряды наблюдений были разбиты на два периода: от начала наблюдений до 1965 г. и с 1966 по 2005 г. При этом выбраковывались ряды с периодом наблюдений менее 15 лет хотя бы за один из интервалов.

Для выявления пространственной структуры изменения максимальных расходов воды зимних паводков величины изменения максимальных расходов были представлены в виде коэффициентов изменения стока:

$$k_i = \frac{Q_{\text{ср2}} - Q_{\text{ср1}}}{Q_0},$$

где  $Q_{\text{ср1}}$  и  $Q_{\text{ср2}}$  – средние значения максимальных расходов воды паводков за первый и второй период соответственно;  $Q_0$  – среднее значение максимальных расходов за весь период наблюдений.

Коэффициенты изменения стока  $k_i$  были картографированы с использованием координат центров тяжести водосборов исследуемых рек.

В ходе анализа оценивалось влияние двух факторов. Первый фактор – антропогенное влияние крупномасштабных мелиораций [период с начала наблюдений до

1965 г. (начало крупномасштабных мелиораций) и с 1966 по 2005 г.]. Второй фактор — влияние современных климатических изменений (период с 1966 по 1987 г. — начало современного потепления и с 1988 по 2005 г.) [6].

На рис. 3 представлены коэффициенты изменения стока  $k_i$  за период 1966–2005 гг. в сравнении с периодом от начала наблюдений до 1965 г. Знак «плюс» перед коэффициентами свидетельствует об увеличении средних величин максимальных расходов воды зимних паводков во второй период, знак «минус» — об уменьшении.

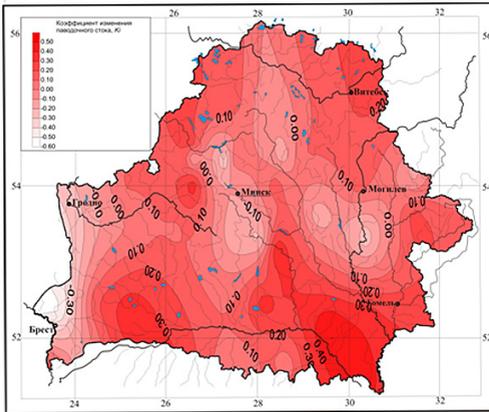


Рис. 3. Пространственная структура изменения максимальных расходов воды зимних паводков за период инструментальных наблюдений

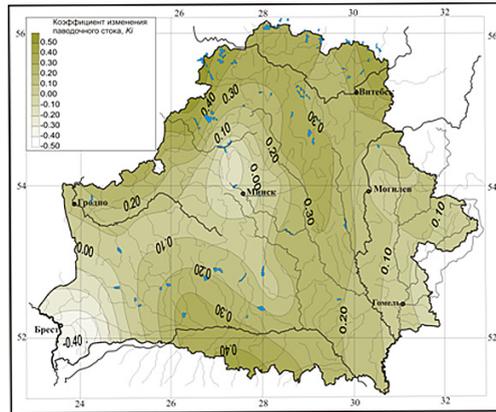


Рис. 4. Пространственная структура изменения максимальных расходов воды зимних паводков за период 1988–2005 гг. по сравнению с периодом 1966–1987 гг.

Анализ рис. 3 свидетельствует о том, что на реках Беларуси в период с 1966 по 2005 г. по сравнению с периодом от начала инструментальных наблюдений до 1965 г. наблюдается небольшое увеличение максимальных расходов воды зимних паводков, за исключением бассейна р. Западный Буг. На большинстве рек страны эти изменения незначительны (в пределах 10 %). Наиболее существенные изменения характерны для рек Полесья. Так, в бассейне Припяти (за исключением среднего течения реки) и нижнем течении Днепра в период 1966–2005 гг. отмечается увеличение максимальных расходов воды зимних паводков на 20–30 % и более по сравнению с периодом до 1965 г., в бассейне же Западного Буга — уменьшение на 30–40 %.

Результаты роли потепления климата в формировании стока зимних паводков во второй период (1966–2005 гг.) представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что на большинстве рек Беларуси существенных изменений в период 1988–2005 гг. по сравнению с периодом 1966–1987 гг. в величине максимальных расходов воды зимних паводков не выявлено. В бассейне Западной Двины наблюдается увеличение максимального стока зимних паводков на 20–40 %. Уменьшение величины максимальных расходов воды зимних паводков на 20–40 % во второй период по сравнению с первым отмечается на реках бассейна Западного Буга.

Таким образом, на севере Беларуси, в бассейне Западной Двины, наибольшие зимние паводки отмечены в период 1988–2005 гг. В средней части страны, в бассей-

нах Немана и Днепра, величина зимних паводков практически не изменилась на протяжении всего периода инструментальных наблюдений на реках. Здесь наблюдаются периоды с повышенным или пониженным зимним стоком. На реках бассейна Западного Буга наибольшие зимние паводки зафиксированы в период 70-е – первая половина 80-х годов прошлого столетия. В бассейне Припяти величина зимних паводков в среднем выросла.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволили установить некоторые закономерности в формировании зимних паводков на реках Беларуси.

Средняя величина максимальных модулей стока зимних паводков на реках страны составляет от 15 до 25 л/(с·км<sup>2</sup>), причем минимальные значения характерны для рек Полесья (10–20 л/(с·км<sup>2</sup>)). В бассейне Западной Двины и Днепра, на правобережных притоках р. Неман значения модулей составляют 30–35 л/(с·км<sup>2</sup>).

Наибольшие зимние паводки на большинстве рек зафиксированы в периоды с восточным типом циркуляции атмосферы (Е). Исключение составляет р. Западная Двина, где в период 1996–2005 гг., соответствующий западному типу циркуляции (W), отмечается увеличение количества зимних паводков обеспеченностью не более 25 %. Период 1940–1948 гг. с господством меридиональных процессов (С) также имеет высокие значения максимальных расходов воды зимних паводков. Период 1949–1970 гг. с комбинированным восточно-меридиональным (Е+С) типом циркуляции характеризуется наименьшими зимними паводками.

На большинстве рек Беларуси наблюдается тенденция роста величины зимних паводков за период инструментальных наблюдений. При этом их абсолютная величина, как правило, не увеличилась по сравнению с более ранними периодами, но зимние паводки стали чаще, что повлияло на величину их максимальных расходов.

Высокие зимние паводки на большинстве рек страны отмечались в 80–90-е годы прошлого столетия. При этом с середины 1980-х годов наблюдается уменьшение размаха колебаний величины зимних паводков в целом. В 1960-е годы на большинстве рек отмечены наименьшие зимние паводки.

Увеличение стока зимних паводков в период 1988–2005 гг. на 20–40 % отмечается на севере страны, в бассейне Западной Двины. В средней части страны, в бассейнах Немана и Днепра, величина зимних паводков практически не изменилась на протяжении всего периода инструментальных наблюдений на реках. Здесь наблюдаются периоды с повышенным или пониженным зимним стоком. В бассейне Западного Буга наибольшие зимние паводки зафиксированы в период 70-е – первая половина 80-х годов XX в. На реках Полесья в период 1966–2005 гг. отмечается увеличение максимальных расходов воды зимних паводков на 20–30 % и более по сравнению с периодом до 1965 г., в бассейне же Западного Буга – уменьшение на 30–40 %.

### **Литература**

1. Волчек А.А. Автоматизация гидрологических расчетов / Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды междунар. науч.-практ. конф. по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах–Брест–Ноттингем, 1998, с. 55-59.

2. Волчек А.А., Шпока И.Н. Закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Беларуси. / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 17, с. 64-89.
3. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 280 с.
4. Исмайылов Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Водные ресурсы, 2001, т. 28, № 5, с. 517-525.
5. Ключева К.А., Покумейко Ю.М. Оценка влияния осушительных мелиораций на водный режим рек Беларуси / Сб. работ по гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980, № 16, с. 62-97.
6. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 319 с.
7. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Ч. 1, 2: Основные гидрологические характеристики. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 720 с.
9. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справочник / Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь / Под общ. ред. М.А. Гольберга. – Минск: Белорусский научно-исследовательский центр «Экология», 2002. – 132 с.

*И.Ф. Карасев, С.Д. Винников, О.Е. Кучеренко*

## **ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ДВИЖЕНИИ РУСЛОВОГО ПОТОКА**

*I.F. Karasev, S.D. Vinnikov, O.E. Kucherenko*

## **EXTRAPOLATION OF MAXIMUM WATER DISCHARGE IN THE UNSTEADY CHANNEL FLOW**

*Рассматривается вопрос оценки нестационарности потока и максимального расхода воды в реке при его неустановившемся движении*

*Ключевые слова: неустановившееся движение потока в реке, коэффициент нестационарности потока, экстраполяция расходов воды*

*The problem of assessment of unsteady flow and maximum discharge of water in the river during its unsteady motion is considered.*

*Key words: unsteady flow in the river, coefficient of unsteady flow, extrapolation of water discharge.*

Важнейшей задачей, решаемой при эксплуатации гидротехнических сооружений и защите от затопления прибрежных территорий водотока, является оценка пропускной способности русла реки и экстраполяция расходов воды до их максимальных значений.

Наступление половодья и паводка изменяет и усложняет гидравлический режим речного потока. Характеристики его равномерного движения, достаточно надежно оцениваются как при измерениях, так и при расчетах. В условиях же половодий и паводков измерение расходов далеко не во всех случаях удается выполнить по всей амплитуде их изменения, а существующие расчетные методы не дают надежные результаты.

Именно этим определяется актуальность совершенствования методов установления пропускной способности русла и экстраполяции расходов воды в случае неустановившегося движения потока.

Основная трудность решения этой задачи заключается в неоднозначности связи гидравлических характеристик потока по фазам волны половодья (паводка) и прежде всего связи расходов с уровнями воды. Кривая расходов  $Q(H)$  приобретает петлеобразную форму, разделяется на две ветви относительно однозначной кривой расходов воды при равномерном движении. Правая ветвь отражает возрастание расходов воды, левая — их убывание. Этот эффект порождается соответствующим изменением действующих уклонов водной поверхности:  $I > i_p$  в фазе подъема и  $I < i_p$  — в фазе спада волны половодья (паводка). Здесь  $i_p$  уклон при равномерном движении потока. В свою очередь эти фазы соответствуют приращению скоростей  $\Delta v$ : положительное в первом случае и отрицательное — во втором, так что действительная скорость движения оказывается соответственно равной (рис. 1):

$$v_{n,c} = v_p \pm \Delta v. \quad (1)$$

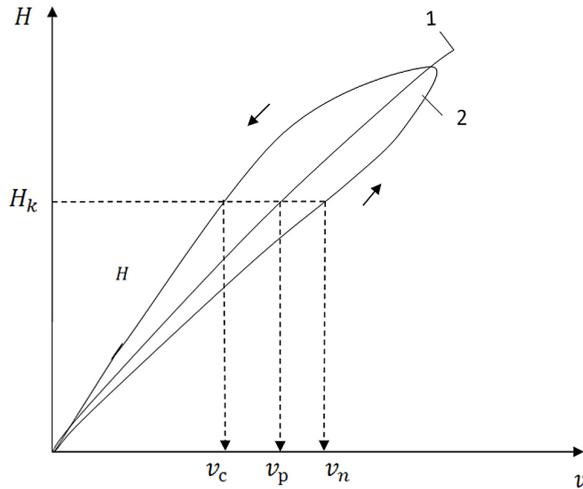


Рис. 1. Кривые средней скорости в гидростворе реки при равномерном (1) и неустановившемся (2) движениях воды;  $v_n$  и  $v_c$  – скорости потока при подъеме и спаде уровня воды в реке;  $v_p$  – скорость потока при его равномерном движении

Количественная оценка приращения  $\Delta v$  получена С. Д. Винниковым [1, 2] по данным наблюдений, выполненных Государственным гидрологическим институтом на р. Тверце в 1959 году [3]. Оказалось, что значение  $\Delta v$  зависит от разности уклонов водной поверхности  $\Delta I = I - i_p$ :

$$\Delta v = \alpha_{n,c} i_p \Delta I \tag{2}$$

с коэффициентом, имеющим размерность м/с, который принимает значение для ветви подъема  $\alpha_n = 1,3 \times 10^7$  и для ветви спада  $\alpha_c = 2,3 \times 10^7$ .

Уклон равномерного потока  $i_p$  всегда известен, а уклон поверхности воды при неустановившемся движении не во всех случаях удастся измерить. Поэтому целесообразно представить разность уклонов  $\Delta I$  в функции параметра нестационарности  $\alpha_n$ , например, согласно уравнению Джонса [4, 5]:

$$\alpha_n = \frac{\Delta z}{i_p C \Delta t} = \frac{\Delta h}{i \Delta x},$$

где  $C_e$  – скорость добегания данного расхода;  $\Delta z/\Delta t$  – изменение уровня воды во времени в створе;  $\Delta h/\Delta x$  – изменение глубины потока в створах, расположенных на расстоянии  $\Delta x$ , и тогда будем иметь:

$$\Delta v = \alpha_{n,c} \alpha_n^2 i_p^2. \tag{3}$$

В зависимости от крутизны волны попуска (уклона водной поверхности) параметр нестационарности  $\alpha_n$  может составлять  $1 \div 4$ , а скорость подъема уровня воды не превысит 10 см в минуту.

Соотношения (1) и (2) получены по данным тщательной обработки результатов уникальных по пространственно-временному разрешению исследований, проведенных ГГИ на р. Тверце [3], что служит основанием считать достаточно общими и достоверными.

Для расчетной практики особое значение имеет как неоднозначность кривых  $Q(H)$ , так и несовпадение моментов наступления максимумов расходов и уровней воды: сначала первого, затем второго. При этом, чем выше параметр нестационарности, тем в большей степени проявляется эта неоднозначность.

Эффект несинхронности максимумов уровней и расходов воды совершенно несовместим, в частности, с экстраполяцией последних по тенденции положения кривой расходов в зоне отсутствия измерений. Подобная графическая операция вообще недопустима, а еще в большей степени – для ветвей подъема и спада волны паводка. В настоящее время, в отличие от прошлых лет, все в большей мере используются редуцированные соотношения расходов воды и гидравлических элементов, вытекающие из уравнений движения, а не только их регрессионно-статистические связи. Конечно, уравнения регрессии приводят к достаточно достоверным локальным решениям, но в них далеко не всегда отражается физическая природа изучаемых явлений. В этом смысле вполне можно поддержать сформулированное в недавнее время понятие о нелокальной гидрологии [6], изучающей общие закономерности формирования стока и разрабатывающей методику использования их для решения локальных задач.

Эффект несовпадения максимумов расходов и уровней воды наблюдается и при естественных паводках, но вызывается он не динамическими приращениями скоростей течения, а деформациями русла, повышающими его гидравлические сопротивления. Так, в легкодеформируемом русле каждый раз после прохождения максимальных расходов воды наблюдается вал выноса наносов ниже по течению, который создает подпор уровня при уже убывающих расходах воды. Подобное, например, наблюдалось на р. Амударье в створе г. Керки в многоводном 1969 г. Максимальные расходы, полученные в результате экстраполяции «по тенденции» до наивысшего уровня были завышены на 30 %, что потребовало чрезвычайных мероприятий для предотвращения прорывов обвалования орошаемых земель в нижнем течении реки. Тревога оказалась напрасной и дорогостоящей!

В свое время экспедицией Нижневолгопроекта [7] была выполнена серия высокоточных измерений расходов воды р. Волги, в частности в створе г. Камышина. Кривая  $Q(H)$  оказалась явно неоднозначной с расхождением ветвей подъема и спада до 20 %. Не остается сомнений в том, что полноводный поток создает новый, как правило, грядовой рельеф дна, изменяющий режим гидравлических сопротивлений.

Эффект несинхронности наступления максимумов расходов и уровней воды как по динамическим условиям движения потока, так и в результате резких изменений гидравлических сопротивлений целесообразно рассматривать в качестве определяющего признака нестационарности потока в широком смысле. Это тем более целесообразно, что такая точка зрения позволяет избежать те систематические погрешности, прецеденты которых были приведены выше.

Сложность общей картины течений в условиях смены фаз паводочной волны вынуждает обращаться к феноменологическим соотношениям, основанным на

принципах динамического подобия. Так, К.В. Гришанину [8], удалось представить нестационарный поток как движение в режиме так называемой кинематической волны, при котором связь расходов и уровней воды остается однозначной, а само течение может считаться квазиравномерным [9]. Получаемое при этом соотношение для расходов воды не включает уклонов водной поверхности и основывается только на геометрических характеристиках русла и малоизменяющемся параметре  $M$ , выражающем отношение ширины потока  $B$  к его глубине  $h$  и числу Фруда:

$$Q = \frac{h^2}{M^2} (gB)^{0.5}. \quad (4)$$

Это соотношение действительно для динамически равновесных русел в пойменных бровках. Отсюда, если известен расход воды  $Q_0$  по данным измерений, то экстраполируемое значение максимального расхода  $Q_3$  может быть получено непосредственно на основе его редукции по геометрическим характеристикам потока:

$$Q_3 = Q_0 \left( \frac{h_3}{h_0} \right)^2 \left( \frac{B_3}{B_0} \right)^{0.5}, \quad (5)$$

где  $h_0$  и  $h_3$ ,  $B_0$  и  $B_3$  – глубины и ширины потока, соответствующие расходам  $Q_0$  и  $Q_3$ .

Достоверность получаемых решений подтверждена большим количеством проверочных расчетов.

Общепризнанной основой синтеза факторов, определяющих неустановившееся движение потока, является гидродинамическое уравнение Сен-Венана. Различные формы его конечно-разностной интерпретации позволяют упростить расчетные алгоритмы и получить столь же приемлемые результаты [9]. Непосредственно из этого уравнения с учетом предпосылок кинематической волны И.Ф. Карасевым [4] получено расчетное соотношение с более широкой вариативностью параметров по сравнению с (5):

$$Q_3 = Q_0 \left( \frac{\omega_3}{\omega_0} \right)^S, \quad (6)$$

где  $\omega_0$  и  $\omega_3$  – поперечные сечения потока, соответствующие расходам  $Q_0$  и  $Q_3$ .

Разложение правой части в ряд раскрывает физический смысл показателя степени  $S$ , а именно, он является безразмерной скоростью, выражающей отношение скорости движения волны по Седдону  $C_g$  к начальной скорости потока:

$$S = \frac{C_g}{v_0} = \frac{\Delta Q}{v_0 \Delta \omega}. \quad (7)$$

В общем случае для определения  $S$  предложен ряд теоретических и эмпирических формул, в которых  $v_0$  является актуальной скоростью потока в любой его фазе. Одну из таких формул рекомендует М.С. Грушевский [9]. На ее основе для зоны максимальных уровней, учитывая соотношение скоростей

$$\frac{v_3}{v_0} = \left( \frac{h_3}{h_0} \right)^{2/3},$$

получим:

$$S = \left( \frac{h_3}{h_0} \right)^{2/3} \left( 1 + \frac{2}{3} \phi \right), \quad (8)$$

где  $v_3$  – экстраполируемое значение скорости;  $\phi = h/h_{\max}$  – параметр формы поперечного сечения русла.

Подчеркнем: приведенные экстраполяционные зависимости действительны лишь для однозначной кривой расходов воды и неправомерно их использование применительно к ветвям подъема и спада паводковых (попускных) волн. Знание же однозначной кривой, позволяет получить соотношение для приращения скорости  $\Delta v$  соответствующей петлеобразной кривой  $Q(H)$ .

Изучая изменения характеристик потока по всей амплитуде отметок уровня воды приходим к выводу, что можно пренебречь динамическим приращением скорости  $\Delta v$  в том случае, если оно на порядок меньше скорости равномерного течения при том же наполнении русла:

$$|\Delta v| \leq 0,1; \quad v_p = 0,1 \frac{h^{2/3}}{n} i^{0,5}.$$

Из этого неравенства с учетом (3) устанавливаем критериальное соотношение параметра нестационарности:

$$\alpha_{\text{нк}} \leq \frac{0,077 h^{2/3}}{n i_p^{1,5} 10^7}, \quad (9)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости.

Для некоторых характерных данных реки, например:  $h = 4,0$  м,  $n = 0,025$ ,  $i_p = 0,0002$  будем иметь  $\alpha_{\text{нк}} = 0,27$ , что соответствует значениям  $\alpha_{\text{нк}}$ , полученным по условиям минимизации погрешности экстраполяции расходов воды [4].

Продemonстрируем применение зависимостей (5) и (6) на примере р. Тверцы в гидростворе 2 (см. таблицу). Задача облегчается тем, что однозначная связь  $Q(H)$  была получена по данным наблюдений при достаточно большом осредненном параметре нестационарности  $\alpha_n = 2,0$ . Результаты расчетов представлены относительно шагов экстраполяции  $\alpha_3 = (\omega_3 - \omega_0)/\omega_0$ . Как видим, при достаточно большом шаге экстраполяции  $\alpha_3 = 0,53$  ее точность оказалась неожиданно высокой. Однако следующий шаг  $\alpha_3 = 0,95$  явно неприемлем.

Варианты экстраполяции максимальных расходов воды р. Тверцы в гидростворе 2

Шаг экстраполяции	$Q$	$\omega$	$h$	$\alpha$	$S$	Метод кинематической волны		Метод регрессии по геометрическим элементам потока		
						$Q_3, \text{ м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \%$	$Q_3, \text{ м}^3/\text{с}$	$\delta Q, \%$	
	Максимальные фактические значения									
	115	107	2,84	2,0	Исходные данные для экстраполяции		Результаты экстраполяции			
шаг 1	80,0	90,0	2,40	0,19	1,63	113	-1,7	106	-7,8	
шаг 2	60,0	75,0	1,97	0,42	1,84	123	7,3	115	0,1	
шаг 3	50,0	70,0	1,84	0,53	1,95	119	3,5	114	-0,5	
шаг 4	40,0	55,0	1,45	0,95	2,29	153	39,4	1,84	60,7	

**Выводы**

1. Представляется целесообразным по определяющему признаку несинхронности наступления максимумов расхода и уровня воды при распространении волны паводка или попуска на реках рассматривать как общенестационарное движение потока независимо от того, вызвано ли оно по динамическим условиям или в результате деформации русла.
2. Подобный подход позволит избежать грубейших систематических погрешностей в оценке экстраполяции максимальных расходов воды на реках.

**Литература**

1. Винников С.Д. Некоторые аспекты речной гидравлики // Ученые записки РГГМУ, 2007, № 4, с. 67-76.
2. Винников С.Д. Расчет уровней при неустановившемся движении воды в канале // Ученые записки РГГМУ, 2008, № 7, с. 36-41.
3. Исследование неустановившегося движения воды на реках Тверце и Ордеж. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 288 с.
4. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
5. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.
6. Коваленко В.В. Нелокальная гидрология // РГГМУ, Санкт-Петербург, 2010 – 91 с.
7. Поляков Б.В. Гидрологические исследования нижней Волги. – М.–Л.: Госстройиздат, 1938. – 160 с.
8. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979 – 311 с.
9. Грушевский М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 288 с.
10. Розовский И.Л., Еременко Е.В., Базилевич В.А. Неустановившееся движение водного потока ниже гидроэлектростанции и его влияние на русло. – Киев.: Наука Думка, 1968. – 276 с.

*А.В. Иванов, Ю.Д. Смирнов, И.Е. Капранов*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ РАБОТЕ ФОРСУНОК ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ**

*A.V. Ivanov, Y.D. Smirnov, I.E. Kapranov*

**RESEARCH OF PROCESSES OF DISPERSION OF THE LIQUID AT WORK OF ATOMIZERS OF DUST SUPPRESSION**

*В Национальном минерально-сырьевом университете «Горном» была предложена конструкция пневмогидравлической форсунки для систем пылеподавления. Важным этапом исследования работы распылителя является изучение процессов диспергирования жидкости с целью определения гидравлических параметров конструкции.*

*Ключевые слова: форсунка, лигаментные структуры, ячеистые структуры, жидкостная пленка, фрагментация*

*In Mining University there was set construction of pneumohydraulic sprayer for dust suppression systems. Important investigation phase of work of a spray there is studying of fluid dispersion processes for the purpose of hydraulic parameters definition.*

*Key words: sprayer, ligament structures, tesseral structures, fluid membrane, fragmentation*

В Национальном минерально-сырьевом университете «Горном» был предложен способ круглогодичного пылеподавления с использованием специальных пневмогидравлических форсунок, работа, которой основана на пневмогидравлическом распылении воды в потоке сжатого воздуха [1,2]. Сжатый воздух проходит через профилированное сопло Лавалья, сжимаясь и разгоняясь до сверхзвуковой скорости, а затем, адиабатически расширяясь и снижая свою температуру, далее смешивается с водой и выходит через выходной диффузор.

Важным этапом исследования работы форсунки является изучение процессов распыления жидкой фазы, характера формирования частиц аэрозоля в потоке воздуха и зависимость этих процессов от тех или иных конструктивных особенностей каналов прохождения жидкости. Такие исследования могут проводиться на натуральных моделях или с помощью вычислительного моделирования.

В данной статье приведен обзор материалов, рассматривающих различные типы распылительных форсунок, служащих для преобразования потока жидкости в совокупность мельчайших капель, диспергированных в воздушной среде.

Рассматриваемый тип форсунок, представленный на рис. 1, представляет собой устройство с соосной подачей газа и жидкости, где газ подается через центральный цилиндрический канал, а жидкость втекает через кольцевую щель, образованную внешней стенкой центрального канала и цилиндрической/конической поверхностью большего диаметра.

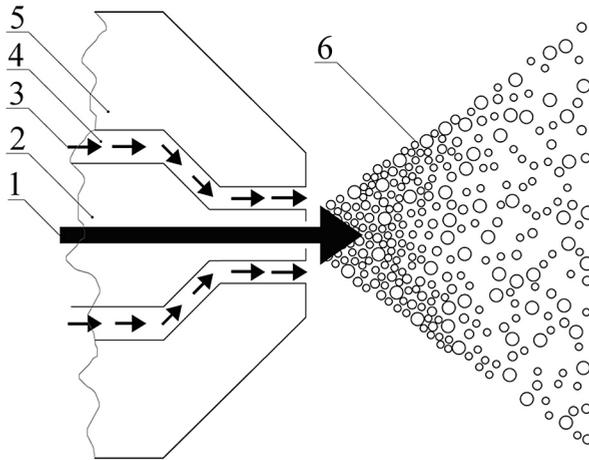


Рис. 1. Схема распылительной форсунки рассматриваемого типа.

1 – направление движения воздуха, 2 – канал для подачи нагнетаемого воздуха, 3 – направление движения жидкости, 4 – канал для подачи жидкости, 5 – корпус распылительной форсунки, 6 – сформированный водный аэрозоль.

Интерес представляют физика процесса фрагментации струи на, так называемые, лигаментные структуры и их дальнейшее дробление на более мелкие жидкостные частицы, современные подходы для моделирования процесса, ключевые физические факторы, определяющие процесс взаимодействия жидкостной пленки и струи газа.

Жидкостная пленка (рис. 2) – тонкая плоская струя жидкости, проистекающая из отверстия кольцеобразного или прямоугольного сечения, величина длины которого более чем на порядок превосходит его ширину.

Лигаментные структуры (рис. 2) – это промежуточная стадия между неустойчивой жидкой пленкой и каплями, обычно бывают в виде круглых протяженных порций жидкости, отделившихся от жидкостной пленки.

Процесс формирования капель определяется характером фрагментации жидкостной пленки, истекающей из кольцевого канала [3]. В устройствах рассматриваемого типа ключевыми физическими факторами, влияющими на параметры распыления жидкости, являются природа взаимодействия потока газа (воздуха) с пленкой жидкости и роль, которую играет струя газа на процесс фрагментации пленки. Подробные экспериментальные исследования [4] позволили выявить влияние параметров потока (скорость жидкой пленки, степень турбулизации обеих фаз в выходных сечениях форсунки и т.п.), а также геометрические параметры каналов подачи компонентов на распад жидкой пленки.

Силы аэродинамического трения, возникающие на границе раздела фаз жидкость-газ приводят к возникновению волн на поверхности жидкостной пленки, которые, нарастая, «срывают» порции жидкости в виде лигаментных структур (рис. 2).

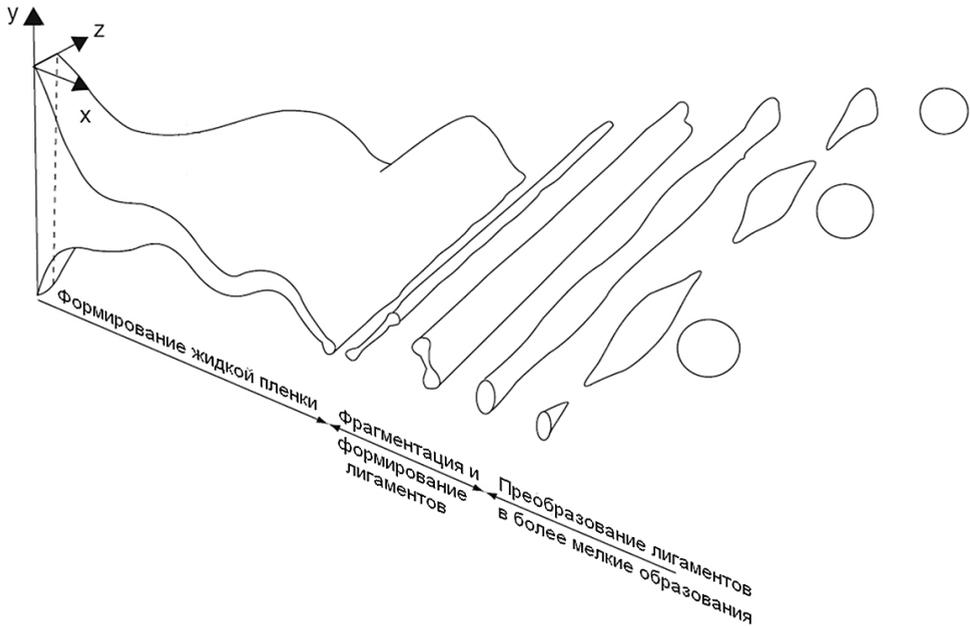


Рис. 2. Формирование лигаментных структур и более мелких образований.

Эти образования в свою очередь продолжают дробиться на более мелкие образования. Выделяют два типа волн на поверхности жидкостной пленки, которые способствуют ее фрагментации. Первый тип – синусные волны, формируются, когда обе поверхности жидкостной пленки совершают колебательные перемещения синфазно, (рис. 3а). Другой тип волн – продольные, возникают при колебаниях поверхностей жидкой пленки в противофазе, (рис. 3б). Многими исследователями, в частности [6], было показано, что при невысоких скоростях течения потоков жидкости и газа, а также при небольших отношениях плотностей газа и жидкости синусные волны оказывают влияние на рост продольных волн. Также было выявлено, что с ростом скорости обеих сред становится все сложнее различить тот или иной тип волн, возмущающих жидкостную пленку. В работе [5] представлены результаты обобщения выполненных ранее теоретических исследований, связанных с распространением этих волн в жидких пленках и их влиянии на устойчивость пленочной структуры.



Рис. 3. Типы волн, возмущающие жидкую пленку.

При работе форсунки рассматриваемого типа, в определенных условиях, в жидкой пленке формируются характерные ячеистые образования, которые представляют собой тонкие жидкие мембраны, окруженные лигаментными структурами значительно большей толщины (рис. 4.). В работе [7] сделано предположение, что такой режим фрагментации потока жидкости реализуется при высоких относительных скоростях жидкой пленки и струи газа.

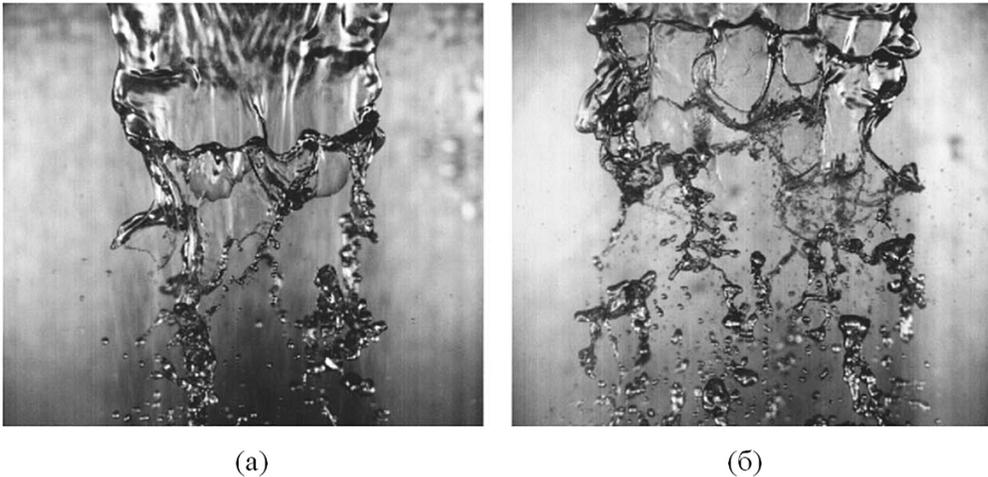


Рис. 4. Режим фрагментации жидкой пленки с образованием ячеистых структур. Скорость жидкости  $V_l = 2.9$  м/с (для а и б), скорость воздуха: а)  $V_g = 23.7$  м/с; б)  $V_g = 37.0$  м/с. [7].

Более качественные экспериментальные исследования, описанные в [8] позволили сделать вывод о том, что режим распада жидкостной пленки с ячеистыми структурами реализуется при наличии неустойчивых синусных волн, распространяющихся по жидкостной пленке. Данный режим приводит к широкому разбросу по размерам капель, поскольку тонкие жидкие мембраны, входящие в состав ячеистых структур распадаются на капли существенно меньшего диаметра, чем капли образованные при дроблении лигаментных колец. Классификация режимов распада жидкой пленки при работе форсунок рассматриваемого типа для невысоких скоростей воздушного потока выполнена в работе [9]. Авторы этого исследования выявили три основных режима: режим Кельвина-Гельмгольца, режим ячеистых структур и режим диспергирования.

В работе [9] представлены, также, результаты экспериментов по определению режимов фрагментации жидкой струи. Эксперименты проводились на форсунке (рис. 5), особенностью являлось наличие, помимо центральной струи воздуха, дополнительной кольцевой струи воздуха движущейся вокруг кольцевой струи жидкости т.е. вода текла и распадалась между двумя потоками воздуха. Но определяющий вклад в процесс распыления вносит все же центральная струя воздуха, описание работы форсунки при различных скоростных режимах приводится в табл. 1.

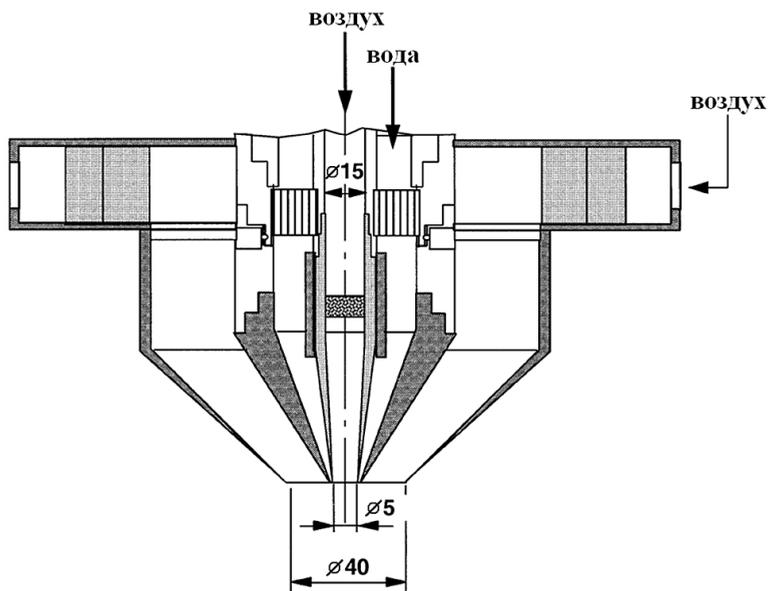


Рис. 5. Схема форсунки для определения режимов фрагментации жидкой струи со смесительной камерой с 12 тангенциальными отверстиями

Таблица 1

**Режимы фрагментации жидкой струи**

Режим	Условия	Описание
1	$U_{\text{воздуха}} = 0 \text{ м/с}$	Истечение жидкости происходит без соосно подаваемого воздуха, распад потока жидкости соответствует модели процесса, описанного Рэлеем: жидкая пленка фрагментируется на лигаменты (в данном случае тонкие кольца или фрагменты колец) которым сопутствуют капли – спутники (спутники)
2	$0 < U_{\text{воздуха}} < 5 \text{ м/с}$	Происходит формирование воздушного пузыря, окружающего жидкую пленку, смыкаемую вниз по потоку, поскольку скорость воздуха слишком мала, чтобы предотвратить смыкание. Смыкание вызвано действием сил поверхностного натяжения в жидкой пленке
3	$5 < U_{\text{воздуха}} < 40 \text{ м/с}$	Наблюдается значительное сокращение длины распада, при увеличении скорости воздуха в этом диапазоне. Появление ячеистых структур
4	$40 < U_{\text{воздуха}} < 120 \text{ м/с}$	Длина распада уменьшается менее выражено
5	$U_{\text{воздуха}} > 120 \text{ м/с}$	Наблюдается режим скоротечного диспергирования. Длина распада уменьшается слабо и теоретически может достигнуть нуля при определенном значении $U_{\text{воздуха}}$ , то есть струя будет распадаться сразу же за выходным сечением форсунки

В другом систематическом исследовании влияния соосно подаваемого газа на фрагментацию жидкой пленки [10] авторы включили в рассмотрение факторы присутствия воздушного пограничного слоя и наличия вязкости у воздуха. В этой работе было сделано заключение об определяющей роли скорости потока газа на колебательные явления в пленке жидкости, а также заключение о необходимости учета вязкости газа для повышения точности определения колебательных характеристик пленки.

Параметры течения жидкой пленки истекающей из кольцевого отверстия могут быть охарактеризованы через безразмерный критерий – число Вебера  $We_l$  [11]. В рассматриваемом случае число Вебера будет иметь вид:

$$We_l = \frac{\rho_l U_l^2 t_f}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\rho_l$  – плотность жидкости (для воды – 998 кг/м<sup>3</sup>);  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения (0,0728 Н/м – для воды при нормальных условиях);  $U_l$  – осевая скорость жидкой пленки в выходном сечении кольцевого канала;  $t_f$  – толщина жидкостной пленки.

Значение  $t_f$  можно вычислить с использованием аналитической зависимости:

$$t_f = 3,66 \left( \frac{D_0 m_l \mu_l}{\rho_l (\Delta P)_l} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

где  $D_0$  – больший диаметр кольцевого отверстия;  $m_l$  – массовый расход жидкости;  $(\Delta P)_l$  – перепад давления в выходном сечении;  $\mu_l$  – динамическая вязкость жидкости ( $1,003 \times 10^{-3}$  кг/(м·с)).

Осевая скорость в выходном сечении может быть определена из закона сохранения массы:

$$U_l = \frac{m_l}{\rho_l \pi t_f (D_0 - t_f)}, \quad (3)$$

Для характеристики параметров потока газа используется число Рейнольдса  $Re_g$ , выражение для которого имеет вид:

$$Re_g = \frac{\rho_g U_g D_i}{\mu_g}, \quad (4)$$

где  $\rho_g$  – плотность воздуха (1,2 кг/м<sup>3</sup>);  $U_g$  – осевая компонента скорости потока газа в выходном сечении;  $\mu_g$  – динамическая вязкость воздуха ( $1,81 \times 10^{-5}$  кг/(м·с)).

Значение скорости газа  $U_g$ , истекающего из круглого отверстия:

$$U_g = \frac{4m_g}{\rho_g \pi D_i^2}, \quad (5)$$

где  $m_g$  – массовый расход газа.

Охарактеризовать структуру и параметры распадающейся жидкой пленки возможно с помощью ряда величин (рис. 6).



Рис. 6. Параметры, характеризующие распадающуюся жидкую пленку [10].

Угол  $\theta$  представляет собой угол между касательной к наружной поверхности жидкой пленки у выходного сечения и осью выпускного канала. Параметр  $SW(z)$  характеризует удвоенное радиальное расстояние между осью течения и жидкой пленкой в зависимости от осевой координаты  $z$ . Значение  $L_b$  определяет осевое расстояние от выходного сечения устройства до границы начала фрагментации жидкой пленки.

Связь между параметрами конуса распыла будет зависеть от геометрических особенностей конкретной форсунки, а также режимов истечения воды и воздуха, то есть чисел Рейнольдса и Вебера.

Представленные в работе [11] результаты экспериментальных исследований демонстрируют влияние чисел  $We_l$  и  $Re_g$  на картину распада жидкой пленки истекающей соосно с потоком воздуха. На рис. 7 приведены фотоснимки, выполненные авторами этой работы, которые проводили исследование с использованием форсунки рассматриваемого типа.

На снимках можно наблюдать, как с ростом числа  $Re_g$ , при неизменном  $We_l$ , неустойчивость жидкой пленки при удалении от выходного сечения развивается быстрее. При этом длина участка  $L_b$ , после которого происходит фрагментация потока жидкости, сокращается. Рост числа  $Re_g$  может быть обусловлен увеличением плотности газа, большей скоростью газа, увеличением диаметра выходного отверстия, а также снижением вязкости газовой среды. С другой стороны повышение  $We_l$  при неизменном  $Re_g$  увеличивает протяженность  $L_b$ . Увеличение числа  $We_l$  в первую очередь связано с повышением скорости жидкости, так как скорость входит в данный критерий в квадрате. Повышение числа Вебера также связано с увеличением плотности жидкости, толщины жидкой пленки  $t_f$  и уменьшением коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

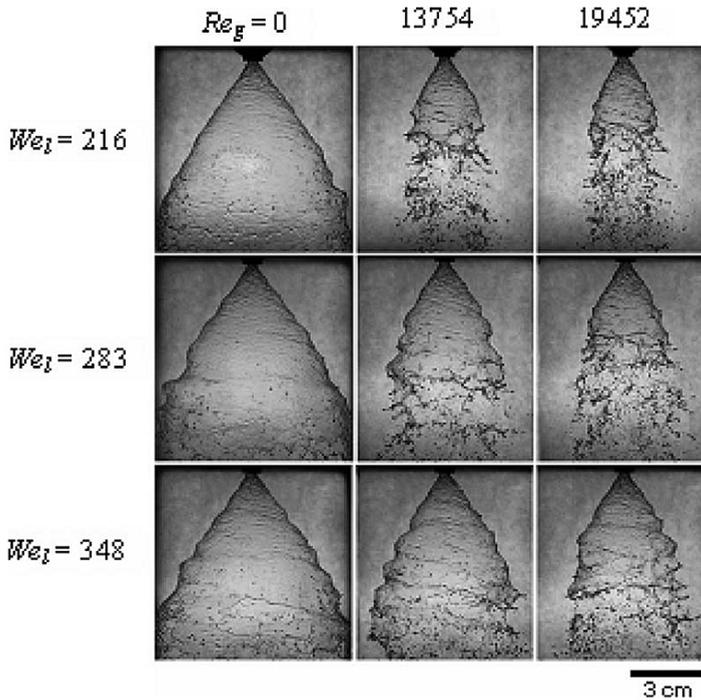


Рис. 7. Фото изображения [11] распыляемой жидкостной пленки для различных режимов истечения воды и воздуха.

В ходе анализа литературных источников, также, было установлено, что для дозвукового разгона, как правило, используется сужающийся канал, в некоторых случаях канал специальным образом профилируется для получения равномерного профиля скорости в поперечном сечении на выходе, а для ускорения газовой фазы до сверхзвуковой скорости и выше, что является необходимым условием снегообразования на выходе, единственным вариантом профилированного отверстия является сопло Лаваля.

Научно-исследовательская работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Правительства г. Санкт-Петербурга, Центра коллективного пользования ЦКП Национального минерально-сырьевого университета «Горного» и американского фонда гражданских некоммерческих исследований CRDF.

### Литература

1. Патент № 2446021 РФ. Форсунка для пылеподавления / М.А. Пашкевич и др. 2012. Бюл. № 9.
2. Смирнов Ю.Д. Разработка инновационного пылеподавляющего устройства для условий северных регионов / Ю.Д. Смирнов, С.В. Ковшов, А.В. Иванов // Записки горного института – СПб.: Горный университет, т. 195, 2012, с. 133-137.

3. *Lefebvre A.H.*, 1989, *Atomization and Sprays*, Hemisphere, New York.
4. *Dombrowski N. and Fraser R.P.*, 1954, "A Photographic Investigation Into the Disintegration of Liquid Sheets," *Philos. Trans. R. Soc. London*, 247, pp. 101–130.
5. *Lin S. P.*, 2003, *Breakup of Liquid Sheets and Jets*, Cambridge University Press, London.
6. *Senecal P.K., D.P. Schmidt, I. Nouar, C.J. Rutland, R.D. Reitz and M.L. Corradini* (1999). Modeling high-speed viscous liquid sheet atomization. *Int. J. Multiphase Flow* 25, pp. 1073-1097.
7. *Stapper B.E., Sowa W.A. and Samuelsen G.S.*, 1992, "An Experimental Study of the Effects of Liquid Properties on the Breakup of a Two-Dimensional Liquid Sheet," *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 114, pp. 39–45.
8. *Park J., Huh K.Y., Li X. and Renksizbulut M.*, 2004, "Experimental Investigations on Cellular Breakup of a Planar Liquid Sheet From an Air-Blast Nozzle," *Phys. Fluids*, 16, pp. 625–632.
9. *Adzic M., Carvalho I.S. and Heitor M.V.*, 2001, "Visualization of the Disintegration of an Annular Liquid Sheet in a Coaxial Air Blast Injector at Low Atomizing Air Velocities," *Optical Diagnostics in Engineering*, 5, pp. 27–38.
10. *Lozano A., Barreras F., Hauke G. and Dopazo C.*, 2001, "Longitudinal Instabilities in an Air-Blasted Liquid Sheet," *J. Fluid Mech.*, 437, pp. 143–173.
11. *V. Kulkarni, D. Sivakumar, C. Oommen and T.J. Tharakan*, 2010, «Liquid Sheet Breakup in Gas-Centered Swirl Coaxial Atomizers», *ASME J. Fluids Eng.*, 132, pp. 62-68.

*М.А. Науменко, А.В. Зелионко, З.В. Стрекалова*

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЛОГО ОЗЕРА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТОЧНОГО ЭХОЛОТИРОВАНИЯ**

*М.А. Naumenko, A.V. Zelionko, Z.V. Strekalova*

## **EXPERIENCE OF CREATION OF THE DIGITAL MORPHOMETRIC MODEL OF SMALL LAKE ON THE BASIS OF PRECISE ECHO-SOUNDING**

*Статья посвящена разработке методов и проведению вычислений характеристик подводного рельефа малого озера Нижегородской области – оз. Светлояр. Все вычисления сделаны на основе натуральных измерений современным эхолотом в озере. Впервые создана морфометрическая модель глубин и уклонов малого озера Светлояр с пространственным разрешением  $10 \times 10$  м. Обсуждаются как результаты вычислений, так и методические аспекты вычислений.*

*Ключевые слова: цифровая модель подводного рельефа, морфометрические характеристики, оз. Светлояр.*

*The article is devoted to development of method of calculation of morphometric characteristics of small lake bottom relief. The small Lake Svetloyar is situated in the Nezhgorodskii Region of Russia. Based on the precise measurements of the depth the digital morphometric model is created for the first time with spatial resolution  $10 \times 10$  m. Results are discussed in respect to the lake depth and slope distributions as well as to the method of calculation.*

*Keywords: digital model of bottom relief, morphometric characteristics, Lake Svetloyar.*

Современное состояние цифрового моделирования разнообразных ландшафтов и территорий требует цифрового представления различных форм рельефа все с большей точностью [4]. Малые озера представляют собой наиболее многочисленные формы отрицательного рельефа земной поверхности, заполненные водой. Озерная котловина – это всегда депрессия по сравнению с окружающими формами рельефа. Морфометрические характеристики, форма котловины дают информацию о генезисе озера, подводном рельефе и определяют пространственную структуру гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров [1,3,4,6].

Создание цифровой модели подводного рельефа малого озера должно опираться на точные измерения глубины с достаточно высоким пространственным разрешением.

Малое озеро Светлояр, расположенное в Нижегородской области на Семеновском плато, было выбрано в качестве эталонного водного объекта для отработки методики определения морфометрических параметров. Для измерения глубин был использован эхолот Lowrance (точность определения глубины 0,1 м) с системой определения координат GPS. Измерения проводились с надувной лодки при штилевой погоде в течение 2-х дней. Общее количество измеренных глубин составило 22 230, береговая линия (урез воды) представлена 60 точками.

Географические координаты (долгота, широта) точек измерений были преобразованы в метрическую систему относительно реперной точки с координатами 45° восточной долготы и 56° северной широты по формулам Ф.Н. Красовского:

$$X = (a - 45) \cdot 111,321 \cdot \cos\left(b \cdot \frac{3,1415965}{180}\right) - 0,094 \cdot \cos\left(3 \cdot b \cdot \frac{3,1415965}{180}\right),$$
$$Y = (b - 56) \cdot 111,143 - 0,562 \cdot \cos\left(2 \cdot b \cdot \frac{3,1415965}{180}\right),$$

где  $X$  – километры от 45° восточной долготы;  $Y$  – километры от 56° северной широты;  $a$  – доли градуса от 45° восточной долготы;  $b$  – доли градуса от 56° северной широты.

Это позволило проводить корректное интерполирование глубин в равноотстоящие узлы и вычислять площади и объемы озерной котловины.

Анализ пространственного распределения точек измерений показал, что существует 1 038 точек с одинаковыми координатами, а среднее минимальное расстояние между измерениями без учета дублей составляет 0,7 м.

Изначальная карта распределения глубин оз. Светлояр была построена с помощью программы Surfer (рис.1). Для этой и всех последующих построенных карт в качестве метода интерполирования был выбран метод Кригинга (Kriging), так как он часто используется в географических и топографических работах. Все карты построены с одинаковым количеством узлов  $50 \times 37$  с пространственным шагом 10 м.

В связи с тем что большое количество точек измерений (около 5 %) имели одинаковые координаты, но при этом разные значения глубин, были проведены тестовые расчеты площади и объема озера с различными условиями, а именно:

- а) с глубиной по первой точке,
- б) со средним значением глубин,
- в) с максимальным значением глубины,
- г) с минимальным значением глубины,
- д) с медианным значением глубины.

Сравнение полученных результатов показало, что имеются только незначительные различия между величинами площади (в шестом знаке после запятой) и объема (в седьмом знаке после запятой) при изменении условий принятия глубины. Таким образом, было принято, что в случае одинаковых координат будет использоваться глубина, средняя из всех измеренных.

Радиус интерполирования – расстояние, на котором необходимо учитывать измерения глубин при расчете глубины в данной точке, – был выбран на основе сравнения площадей и объемов озера при радиусах 50, 100, 200 и 300 м. В расчетах использовался радиус интерполирования, равный 300 м, предложенный программой Surfer.

Всякая модель нуждается в верификации. Соответствие между измеренными величинами глубины и рассчитанными по морфометрической модели было определено на основе расчета их средней разности  $\Delta Z$  и ошибки среднего  $\delta Z$ . Соответственно они равны  $0,13 \pm 0,01$  м, что сравнимо с инструментальной ошибкой измерения. Для проверки надежности морфометрической модели из данных измерений глубины

были удалены случайным образом 10 % от общего количества, а именно 2 190 точек измерений, и проведено новое построение модели по оставшимся данным. Сравнение новых модельных результатов с удаленными 10 % данных дало те же самые величины  $0,13 \pm 0,01$  м, что свидетельствует о надежности морфометрической модели.

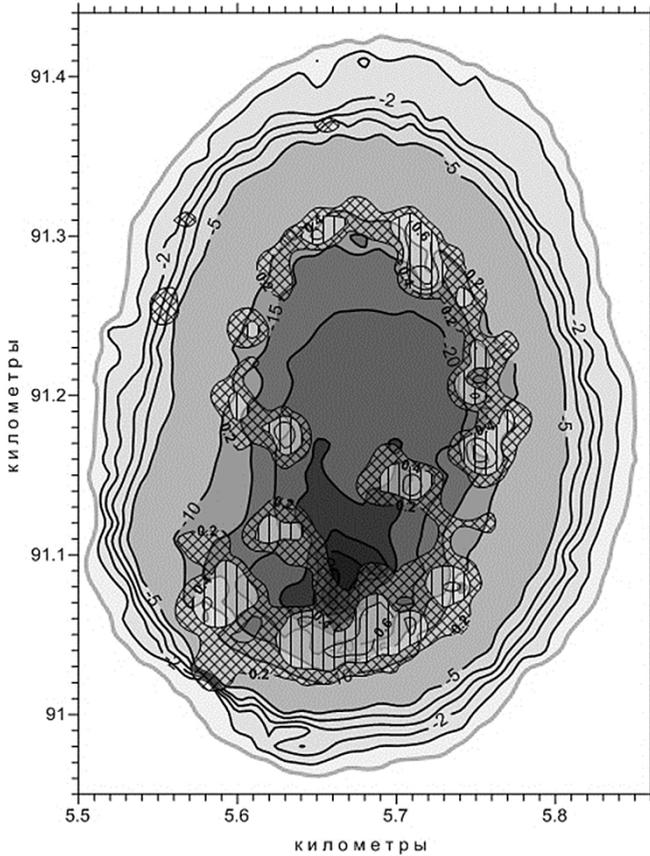


Рис. 1. Распределение глубин и ошибок измерения (более 0,2 м) оз. Светлояр.

На основе верифицированной модели распределения глубин была впервые построена карта уклонов оз. Светлояр (рис. 2). Морфометрические модели глубин и уклонов позволили впервые корректно рассчитать основные морфометрические характеристики озерной котловины (табл. 1) и построить гистограммы глубин и уклонов для эквидистантной сетки. Построены батиграфическая и объемная кривые по значениям, снятым через каждые 0,5 м по глубине, что крайне сложно сделать по топографической карте (рис. 3).

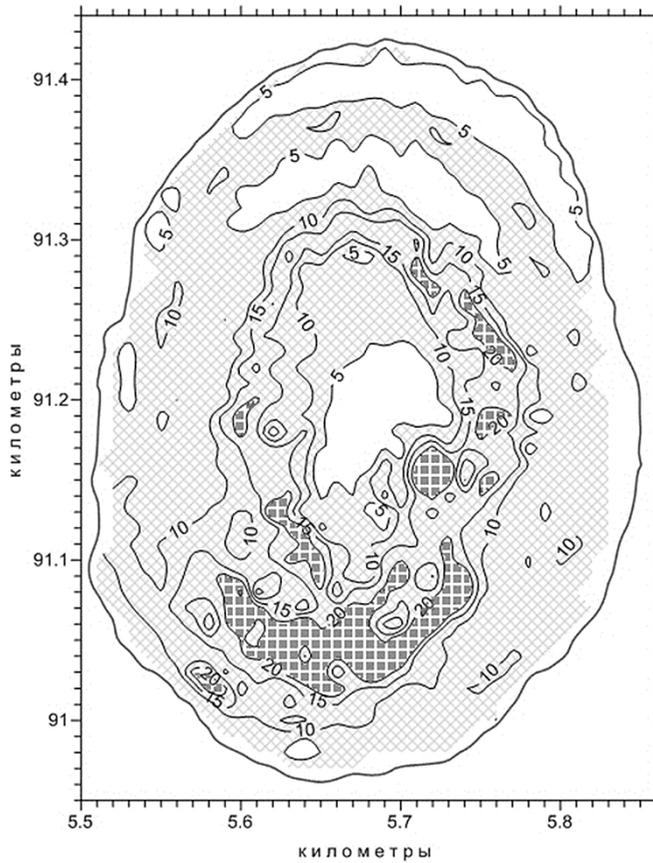


Рис. 2. Распределение уклонов дна оз. Светлояр.

Таблица 1

**Основные морфометрические характеристики озерной котловины**

Морфометрический параметр	Значение
Площадь зеркала, м <sup>2</sup>	123 234
Объем, 10 <sup>6</sup> *м <sup>3</sup>	1,1514
Направление главной оси, град.	5° к востоку от N-S
Максимальная длина, м	472
Максимальная ширина, м	338
Длина береговой линии, м	1 328
Изрезанность относительно длины эллипса	1,04
Коэффициент емкости	0,29
Коэффициент формы	1,4

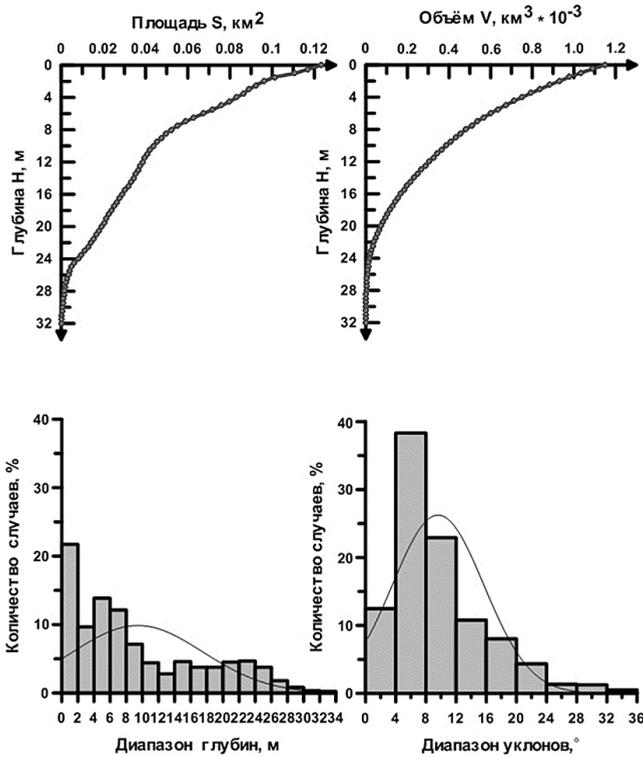


Рис. 3. Батиграфическая и объемная кривые, гистограммы глубин и уклонов дна оз. Светлояр.

Площадь озера лишь на 1,7 % меньше площади эллипса с наибольшими длиной и шириной озера, длина береговой линии на 4 % больше длины этого эллипса.

Гистограммы глубин и уклонов указывают на резкое отличие их функций распределения от нормального распределения. Глубины распределяются в виде трех ступеней в диапазоне: 0-2 , 4-8 и 20-26 м. В табл. 2 приведены основные статистики распределения глубин и уклонов, рассчитанные по морфометрической модели [значения средней глубины получены путем осреднения равномерных значений глубины и (в скобках) путем деления объема озера на площадь].

В любом озере при измерении глубин наблюдаются ошибки, они связаны как с методикой измерений, так и с подводным рельефом. Для оценивания возможных ошибок и их пространственного расположения поверхность озера была разделена на 1 121 квадрат со стороной 10 м. Для каждого квадрата, в котором имелось больше одного измерения, были рассчитаны основные статистики, в том числе стандартная ошибка среднего по формуле:

$$\delta Z = \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где  $s$  – среднее квадратическое отклонение;  $n$  – количество членов выборки.

**Основные статистики распределения глубин и уклонов**

Параметр	Глубина, м	Уклон, град.
Средняя величина	9,5 (9,3)	9,8
Медиана	6,7	8,0
Максимальная величина	32,7	32,4
Среднее квадратическое отклонение	8,15	5,95
Коэффициент вариации	0,85	0,61
Коэффициент асимметрии	0,78	1,17
Коэффициент эксцесса	0,61	0,87

Пространственное распределение ошибок было совмещено с распределением глубин озера (см. рис.1). Для его построения были использованы средние координаты квадратов. После сравнения карт очевидно, что наибольшие ошибки (от 0,6 м до максимальной 1,67 м) наблюдаются на свалах глубин и больших уклонах, а на плоском дне ошибки намного меньше (от 0 до 0,1 м), сравнимы с точностью измерений.

Озеро Светлояр практически с идеальной эллипсообразной поверхностью относится, вероятно, к провальным (карстовым) озерам, форма котловины которого близка к конусообразной [2]. Средний уклон дна озера составляет около 10°, модальный – 6° при максимальном 32,4°. Значения уклонов очень большие по сравнению с уклонами дна, например, Ладожского озера.

Таким образом, использование высокоточного эхолотирования малого озера позволило разработать методику построения, верификации и применения морфометрической модели для исследования распределения глубин и уклонов оз. Светлояр.

### **Литература**

1. *Барышников Н.Б.* Морфометрические характеристики речных русел и пойм. / Ученые записки РГГМУ, 2010, № 13, с. 13-17.
2. *Баянов Н.Г., Кривдина Т.В.* Типология свойства озер Нижегородского Заволжья. // Изв. РАН. Сер. геогр., 2011, №5, с.85-96.
3. *Науменко М.А.* Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера // Докл. РАН, 1995, т. 345, №4, с.514-517.
4. *Науменко М.А.* Новое определение морфометрических характеристик Онежского озера // Докл. РАН, 2000, т. 370, № 3, с. 393-396.
5. *Пузаченко Ю.Г., Онуфрениа И.А., Алещенко Г.М.* Анализ иерархической организации рельефа // Изв. РАН. Сер. геогр., 2002, №4, с. 29-38.
6. *Симонов Ю.Г.* Морфометрический анализ рельефа. – М.-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. – 272 с.

*Р.Д. Фролов, А.В. Рождественский*

## РУСЛОВОЙ РЕЖИМ РЕК И ИХ СУДОХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ

*R.D. Frolov, A.V. Rojdestvenskii*

## RIVER REGIMES AND THEIR NAVIGABLE CONDITIONS

*Рассмотрено влияние путевых работ на русловые процессы. Выполнен анализ работы отдельных гидротехнических сооружений в условиях различных типов русловых процессов на примере верхнего и нижнего участков р.Волги.*

*Ключевые слова: реки, русловые процессы, судоходное состояние.*

*The impact of the different hydrotechnical work to the river-bed processes is considered. The work of some hydrotechnical constructions under different types of river-bed processes on the upper and low parts of flowing of Volga is analyzed.*

*Key words: rivers, river-bed processes, navigable conditions*

Конкретному русловому режиму рек присущ определенный характер деформаций речного русла. В свою очередь переформирования русла обуславливают соответствующие деформации судового хода.

Таким образом, в ходе гидротехнического строительства на реках, при решении проблем их судоходного освоения обязателен, во-первых, учет современной стадии развития руслового процесса, а во-вторых, прогноз возможной перспективной ситуации.

Практика проектирования и строительства долговременных гидротехнических сооружений на реках, или приспособление рек для современного судоходства, подтверждает, что положительный экономический и экологический эффект может быть достигнут только при условии исследования и учета специфики руслового режима реки. Масштабная и разносторонняя оценка руслового режима реки является необходимой базой, благоприятствующей разработке достоверного прогноза возможных долговременных деформаций всей системы русло – судоходной.

С учетом изложенного в речной судоходной гидротехнике принято разделять деформации, носящие долговременный характер, и «оперативные» сезонные деформации отдельных участков реки. Практика показывает, что и те и другие деформации русла требуют к себе надлежащего внимания и их игнорирование при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений пагубно.

Известно, что многолетние деформации речных русел в их «судоходном» понимании сопряжены с изменением положения участков русла в плане [1].

Так, наиболее характерным примером этого являются деформации русла в процессе его меандрирования. В прошлом классическое меандрирование определялось постепенным развитием излучины русла и периодическим возможным прорывом перешейка весенним потоком. Однако в условиях все более интенсивного антропогенного воздействия на русло эта классическая схема встречается все реже.

Наличие в излучине населенных пунктов, водозаборов, причалов требует ограничения развития излучины и возможности ее последующего естественного спрям-

ления. С помощью берегоукрепительных работ завершение процесса свободного меандрирования русла до его логического естественного конца обычно не допускается. В этой ситуации подобный характер деформации русла для судоходства перестает быть проблемным, так как регулируется человеком.

К одному из видов многолетних деформаций русла, более негативно влияющих на судоходство, можно отнести деформации элементов перекатных участков реки. Здесь многолетние долговременные деформации русла в плане в основном заключаются в более или менее циклических изменениях конфигурации и размеров побочной, являющихся элементами переката.

Бытующее мнение (к сожалению, даже у ряда специалистов) о постепенном смещении – «сползании» побочной вниз по реке не подтверждено жизнью [2]. Перекат и даже весь перекатный участок, как правило, стабильно сохраняет свое местоположение по длине реки. Подобная ситуация обусловлена местными и в рамках реального времени постоянными условиями (очертание коренных берегов, наличие, плотных неразмываемых грунтов, возведенные человеком инженерные сооружения и др.).

Одним из многочисленных наглядных примеров подобных естественных и вынужденно периодически корректируемых человеком являются деформации русла Волги в районе водозаборного комплекса Нижнего Новгорода (рис. 1).

Здесь, несколько ниже мощного правобережного побочня, был построен водозаборный комплекс (рис. 1 а). С вводом в 1955 г. в эксплуатацию Нижегородской ГЭС интенсивность местных переформирований русла резко возросла. Развивающийся правобережный побочень по существу парализовал работу водозабора.

С целью нормализации положения, с учетом конфигурации русла было принято решение о частичном «отторжении» от бровки поймы этого побочня и смещения динамической оси потока и судоходного хода к правому берегу – к водозабору.

Выполненная с помощью земснарядов работа примерно на 20 лет нормализовала ситуацию (рис. 1, б).

Однако увеличившийся в размерах левобережный побочень стеснил поток и спровоцировал размыв дна в районе водозабора с увеличением глубины с 5-6 до 11 м (рис. 1, в).

Для предотвращения обрушения сооружений водозабора рассматривался вариант строительства системы дорогостоящих выправительных сооружений из камня. В связи с тем, что водозабор находится в нижнем бьефе НН ГЭС со сложной ледовой обстановкой, от этого варианта было решено воздержаться. Реализовано предложение Волжской государственной академии водного транспорта - с помощью земснарядов «отторгнуть» от берега мощный левобережный побочень и перенести динамическую ось потока и судоходный ход к левому берегу (рис. 1, г).

В результате этого скорости течения в зоне водозабора снизились, глубинная эрозия русла прекратилась.

Подобными действиями, учитывавшими тенденцию в деформациях побочной и русла, обеспечена нормальная работа водозабора в течение уже более чем 50 лет. При этом примыкающие к участку верхний и нижний перекаты практически стабильно сохраняли свое местоположение по длине реки.

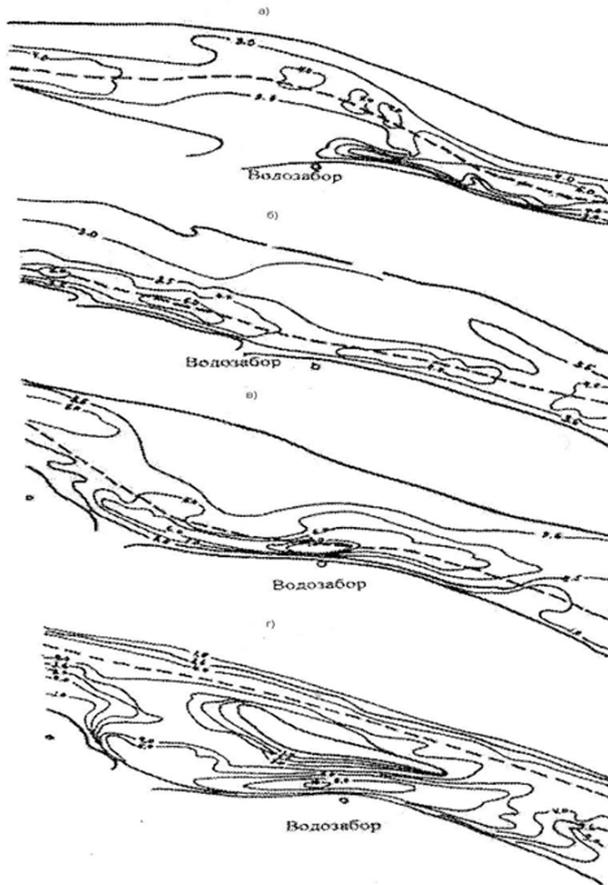


Рис. 1. Схема изменений положения судового хода на р. Волге.

При многорукавном типе руслового процесса наблюдается периодическое развитие (размыв) и частичное отмирание (аккумуляция наносов) одного или нескольких рукавов разветвленного участка реки.

В случае прогрессирующего занесения наносами используемого для судоходства рукава поддержание в нем требуемых судоходных глубин становится все более затруднительным. Резко возрастает потребность в дноуглубительных работах, увеличивается кривизна судового хода. Одновременно наблюдается боковая эрозия русла, судоходный рукав постепенно меняет свое положение в плане.

Из практики судоходства известно, что выдерживание в течение навигации установленных в деформируемом русле габаритов судового хода требует регулярного производства дноуглубительных работ. Дноуглубительные работы подразделяются на ряд видов. Для целей обеспечения транзитного судоходства с помощью земснарядов выполняются эксплуатационные и капитальные дноуглубительные работы.

В ходе эксплуатационных дноуглубительных работ разрабатываются судоходные прорези (подводные каналы) по трассе существующего судового хода. При выявившихся интенсивных переформированиях русла и возникновении неблагоприятной для судоходства ситуации разрабатываются капитальные судоходные прорези. Подобные прорези, как правило, требуют значительных затрат и сопряжены с кардинальным изменением положения судового хода — переноса в ранее несудоходный рукав или отторжением побочня и смещением оси судового хода в пределах меженного русла (рис. 1).

В связи с замедленным процессом переформирований русла принятие решения о типе прорези на ранней стадии развития возможных неблагоприятных для судоходства деформаций затруднено. Очень важно выявить направленность и интенсивность деформаций, установить и обосновать необходимость принятия того или иного решения — более экономичного или требующего значительных капиталовложений. Помимо затратной составляющей необходимо учитывать, что капитальные судоходные прорези оказывают большую техногенную нагрузку на речной поток и русло. При неудачно принятом решении они могут спровоцировать неблагоприятные для окружающей среды деформации русла реки на ее определенном протяжении.

Надлежащий уровень обоснования принимаемого решения особенно важен при выборе одного из вариантов: или «силовое» сохранение судоходства в отмирающем рукаве реки, или ускоренный перенос судоходства в развивающийся рукав. При этом необходимо установить оптимальные сроки начала комплекса путевых работ.

Одним из важных признаков приближения необходимости кардинального вторжения в режим реки или занятия еще «выжидательной» позиции является изменение интенсивности общих русловых переформирований.

Эта ситуация особенно наглядно проявляется в нижних бьефах ГЭС с началом регулирования ими и на реках с пойменной многорукавностью. Подобным примером является Нижняя Волга. Здесь регулирование стока Волгоградским водохранилищем и Волжским каскадом вызвало исключительно интенсивное развитие или отмирание рукавов, необходимость частого переноса судового хода из одного рукава в другой.

Такая возросшая подверженность русла изменениям проявляется в течение первого (с неизвестной продолжительностью) этапа регулирования стока. В этих условиях временно легкодеформируемого русла выполнение капитальных дноуглубительных работ или работ по стабилизации русла такой большой реки было признано нерациональным.

Институт водных проблем АН предпринял попытку оценки стабильности русла путем учета его плановых перемещений [3]. Волжской государственной академией водного транспорта длительность рассматриваемого периода была увеличена [4].

Оценка плановых деформаций русла заключается в определении изменения положения оси судового хода относительно постоянной для конкретного участка условной оси (рис. 2). Исследования охватили почти 400-километровый участок Нижней Волги, верхняя граница которого находится в 20 км ниже створа ГЭС. Осредненная для участка величина  $\Delta b$ , отнесенная к длительности рассматриваемого периода, характеризует общую интенсивность плановых деформаций русла (рис. 3).

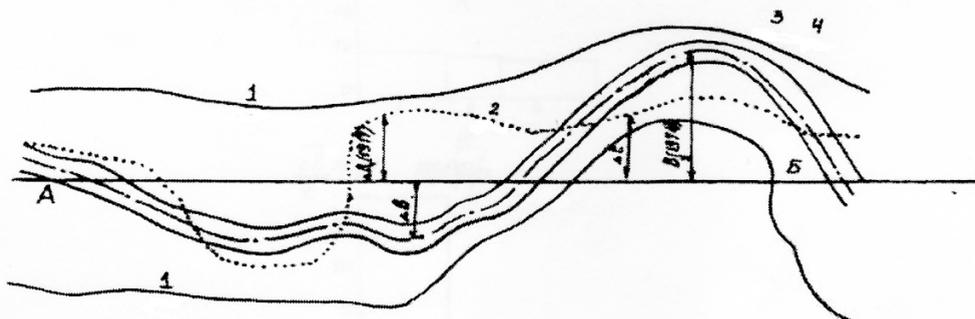


Рис. 2. Схема к оценке плановых деформаций.  
 АБ – условная ось, 1 – бровка поймы, 2 – ось судового хода 1917г., 3 – русло реки 1974 г.,  
 4 – ось судового хода 1974г.

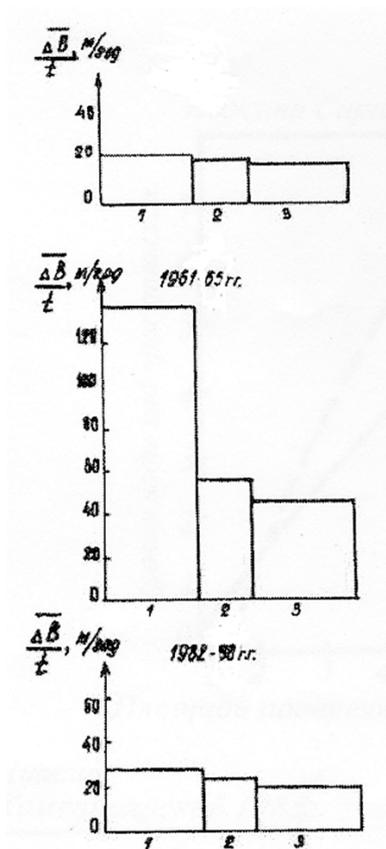


Рис. 3. Интенсивность деформаций оси судового хода в плане.

Из диаграмм четко видно, что в естественных условиях, до начала регулирования стока (1917–1952 гг.), интенсивность деформаций по длине реки была невысокой и стабильной. С началом регулирования стока русло на протяжении 119 км потеряло устойчивость.

Последующая стабилизация русла (1982–1988 гг.) явилась основанием для возврата к практикуемому на естественных водных путях выборочному капитальному их улучшению.

Таким образом, приведенные примеры, как значительных деформаций побочней, так и развития или отмирания рукавов, относят к категории многолетних, и сохранение на реках благоприятных условий для судоходства, по наступлению благоприятного момента, достигается с помощью капитальных работ.

Помимо многолетних деформаций на реках имеют место сезонные деформации перекатов.

Известно, что формы и размеры русла реки в зоне переката и примыкающих к нему плесовых лощин принципиально различаются. В большинстве случаев поперечные сечения русла в районе гребня переката при низких уровнях меньше, чем в плесовой ложине, а при высоких половодья – больше, чем в ложине. Эта аномалия обусловлена тем, что многие перекаты расположены на уширенных участках русла и их берега представлены относительно низкими побочнями.

В связи с изложенным, у весеннего потока, перемещающего значительный объем наносов, при подходе к перекату уменьшается скорость течения, его транспортирующая способность снижается.

В итоге часть наносов временно аккумулируется на перекате, гребень которого повышается. В последующем при какой-то отметке уровня воды спада половодья площади живых сечений выравниваются и поток короткое время обеспечивает транзитное перемещение наносов по плесовой ложине и перекату. Затем, при понижении уровня воды, соотношение размеров поперечных сечений меняется на обратное – происходит постепенный размыв гребня переката [2].

По существу, подобные вертикальные перемещения отметки гребня переката носят циклический характер, повторяясь каждый год. Величина амплитуды этих деформаций зависит от множества факторов: водности реки, объема стока наносов, размеров и формы поперечных сечений, высоты и интенсивности спада половодья и др.

Частичный размыв гребней перекатов обычно происходит замедленно, и достигнутые в прошлом с помощью земснарядов судоходные глубины к наступлению низких уровней воды очередной навигации не восстанавливаются. В связи с этим в период спада половодья на сотнях перекатов равнинных судоходных рек должны быть своевременно разработаны эксплуатационные судоходные прорези.

Подобные закономерности, обуславливающие природу сезонных деформаций перекатов, наглядно иллюстрируются графиками связи уровней воды с площадями живого сечения русла на перекате и плесовой ложине р. Волги (рис. 4).

Аналогичная ситуация прослеживается на перекатах р. Вятки. Здесь на горизонтальной шкале графиков вместо размера живой площади приведена средняя скорость течения воды.

На рассмотренных двух реках, значительно различающихся водностью и размерами, общая закономерность процесса сезонных деформаций сохраняется.

Для производства дноуглубительных работ исключительно важно установление отметки уровня воды, когда поток начинает размывать гребня переката. Разрабатываемые в этих условиях судоходные прорезы имеют большую сохранность, и работа земснарядов наиболее продуктивна. Перекаты судоходных рек отличаются большим разнообразием и уровень пересечения двух кривых (рис.4 и 5) характеризуется разными отметками. Поэтому для повышения эффективности ежегодно выполняемых эксплуатационных дноуглубительных работ перекаты условно объединяют в однотипные группы.

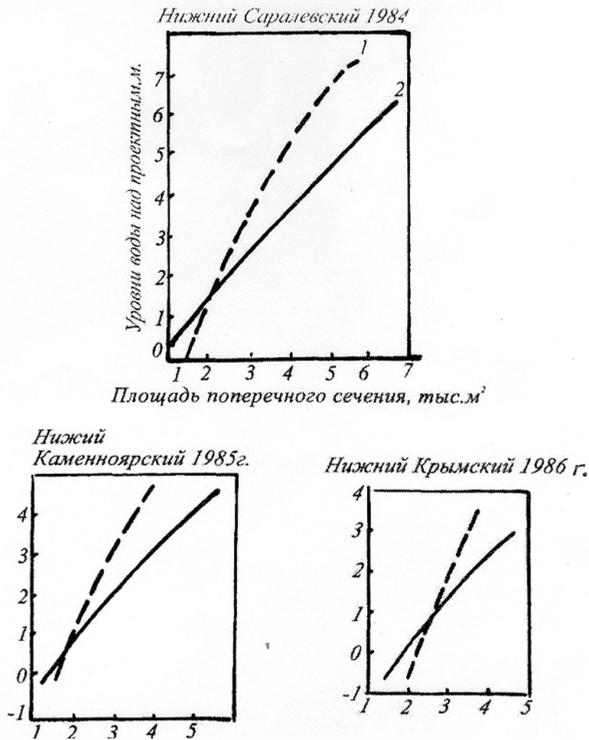


Рис. 4. Перекаты Нижней Волги.  
1 – плесовая лощина, 2 – перекат.

Подобным образом обоснованные отметки целесообразного углубления групп перекатов способствуют возможности оперативного маневрирования дноуглубительной техникой.

Изложенное выше свидетельствует об исключительной зависимости продуктивности путевых дноуглубительных работ на судоходных реках от степени учета их руслового режима.

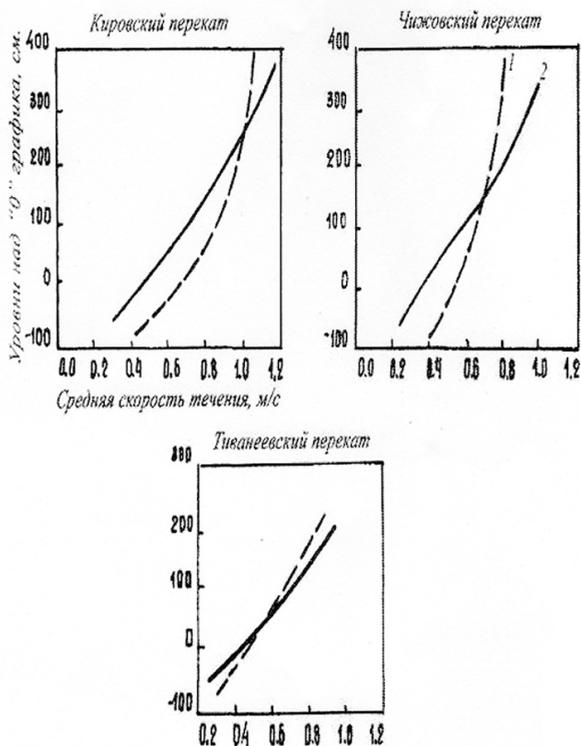


Рис. 5. Перекаты р. Вятки.  
1 – перекат, 2 – плесовая ложина.

### Литература

1. Барышников Н.Б. Морфометрические характеристики речных русел и пойм. / Ученые записки РГГМУ, 2010, № 13, с. 13-17.
2. Гришанин К.В., Дегтярев В.В., Селезнев В.М. Водные пути. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
3. Дебольский В.К., Долгополова В.Н., Орлов А.С., Сеземан В.И. Статистическое описание изменчивости русла Нижней Волги, ВНН: Гидрографический процесс в реках и водохранилищах. – М.: Наука, 1985, с. 181-185.
4. Исследовать водный и русловой режимы Нижней Волги, обосновать и внедрить комплекс путевых работ по поддержанию гарантированных габаритов судового хода в условиях планируемого отбора части стока и ограничений Минрыбхоза. Отчет НИР №874245, ГИИВТ, 989. – 181 с.

*Е.С. Орлеанская*

## АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ РОССИИ И СТРАН МИРА НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРА ВОДНЫЙ СЛЕД

*E.S. Orleanskaya*

## ANALYSIS OF GEOECOLOGICAL ASPECTS OF RUSSIA WATER CONSUMPTION AND COUNTRIES OF WORLD ON BASIS OF INDICATOR WATER FOOTPRINT

*Рассматриваются понятия: глобальный экологический кризис, кризис природных ресурсов, водный след, виртуальная вода. Приводятся количественные оценки водопотребления различных стран мира за период с 1996 по 2005 гг. Представлены значения общего, внутреннего и внешнего водного следа России. Обсуждаются мировые экологические последствия, связанные с недостатком водных ресурсов.*

*Ключевые слова: глобальный экологический кризис, водный след, экологический след, виртуальная вода, кризис водных ресурсов, экологические проблемы, устойчивое развитие.*

*The paper deals with the concept of a global ecological crisis, a crisis of natural resources, Water Footprint, Virtual Water, are quantitative estimates of water use around the world, for the period from 1996 to 2005. Shows the values of the total, internal and external water footprint of Russia. In conclusion, described global environmental impacts associated with lack of water resources.*

*Key words: Global ecological crisis, Water Footprint, Ecological Footprint, Virtual Water, the crisis of water resources, ecological problems, sustainable development.*

В настоящее время в связи с продолжающимся глобальным экологическим кризисом (ГЭК) [4,5] остро встает вопрос даже не о дальнейшем устойчивом развитии, а выживании человечества в техногенной среде с увеличивающимся числом экологических катастроф, опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ), эпидемий и прочих последствий, вызванных изменением и загрязнением окружающей среды. Еще в 90-х годах XX века академик К.Я. Кондратьев публикует множество работ, статей и монографий, посвященных экологическому кризису, где он указывает, что для выхода из него «достаточно лишь ослабить антропогенное давление на естественную биоту, снизив уровень ее освоения» [4]. Но человечество находится в гонке за экономической прибылью, безвозвратно преобразовывая ландшафты, загрязняя и истощая ресурсы планеты и получая вместе с денежной прибылью глобальные проблемы. В декабре 2008 г. на XIV Международной Конференции ООН, посвященной глобальным изменениям климата планеты, президент Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), лауреат Нобелевской премии мира 2007 г. Раджендра Пачаури отметил, что «более половины населения планеты живет в районах, уже сегодня испытывающих недостаток пресной воды и подверженных засухам» [5].

Безответственная трата «природного капитала» весьма ощутимо отражается на экономическом положении всех стран, приводит к росту цен на продовольствие, воду и энергоресурсы, вызывает дополнительные расходы на медицину и здравоохранение и, в конце концов, ухудшает качество жизни людей [7]. Обеспечение повсеместного доступа к воде составляет одну из величайших проблем в области развития, с которой столкнулось международное сообщество. Ограничение доступа к воде является источником глубокого неравенства и гендерной дискриминации и служит одним из основных препятствий для ускорения прогресса на пути к достижению целей развития тысячелетия [15]. Многие страны отброшены назад в своем развитии в результате пагубного соединения нищеты и отсутствия водной безопасности.

Количественной оценкой использования населением водных ресурсов планеты помимо традиционных характеристик может служить индикатор водный след (Water Footprint). Водный след (ВС) является географическим индикатором, показывающим не только объемы потребления и загрязнения воды, но и их пространственное распределение. Принципиально ВС делится на ВС производства и ВС потребления, а также можно рассчитать ВС отдельного человека, организации или продукта. Данный показатель включает в себя термин «виртуальная вода» (Virtual Water) [10] — объем пресной воды, используемой для производства товара, взятый в том районе, где товар был фактически произведен [11]. Таким образом, ВС страны представляет собой общий объем воды, используемой для производства товаров и услуг, потребляемых населением этой страны. Единицей измерения ВС производства служит м<sup>3</sup>/год, а для ВС потребления м<sup>3</sup>/год/чел. В состав ВС входит вода, забираемая из рек, озер и водоносных горизонтов (поверхностных и подземных источников) и используемая в сельском хозяйстве, промышленности и для бытовых целей, а также дождевая вода, используемая в растениеводстве. Тем не менее ВС не дает качественных характеристик того, как виртуальная вода влияет на местные водные ресурсы и экосистемы.

К водным ресурсам относят все пригодные для использования поверхностные и подземные воды Земли. Особенно велика потребность людей в пресной воде, запасы которой на Земле ограничены. Общие запасы воды на Земле, образующие ее гидросферу, оцениваются в 1338 млн. км<sup>3</sup>. Из них 96,5 % водных ресурсов приходится на соленые воды Мирового океана и 1 % — на соленые подземные воды. И только 2,5 % объема гидросферы составляют ресурсы пресной воды на земном шаре [3].

Население земного шара, испытывающее дефицит водных ресурсов или водный стресс (менее 1 тыс. м<sup>3</sup> пресной воды на человека в год), составляло в 2005 г. около 1 млрд. человек, причем у 2,6 млрд. отсутствовала элементарная канализация. В 2025 г. водный стресс может наступить для 3,7 млрд. человек, а к 2050 г. — для 5,4 млрд. Рост населения, урбанизация, промышленное развитие и запросы сельского хозяйства породили потребность в ресурсе, имеющим свой предел. В результате глобальный водный кризис обрекает широкие слои населения на жизнь в нищете, уязвимости и опасности [15].

В настоящее время для непосредственного использования человеком доступен лишь один процент пресноводных ресурсов Земли [14], хотя на планете достаточно воды для удовлетворения потребностей человека и различных компонентов окружающей среды. Задача состоит в том, чтобы обеспечить достаточное количество воды

необходимого качества, не разрушив при этом те самые природные системы, которые служат источником этой воды — реки, озера и водоносные горизонты.

Водный след аналогичен экологическому следу [12]: если последний отражает общую продуктивную площадь, необходимую для производства товаров и услуг, потребляемых данным населением, то водный след отражает количество воды, необходимое для производства тех же товаров и услуг.

Общий водный след какой-либо территории (рис. 1) состоит из двух компонент [3]:

- внутренний водный след, представляющий собой объем воды, необходимый для получения товаров и услуг, которые производятся и потребляются внутри данной страны;
- внешний водный след, являющийся результатом потребления импортируемых товаров или, иными словами, отражающий использование воды при производстве товаров в стране-экспортере. Использование воды для производства товаров, поставляемых на экспорт, не учитывается в составе водного следа страны-экспортера.

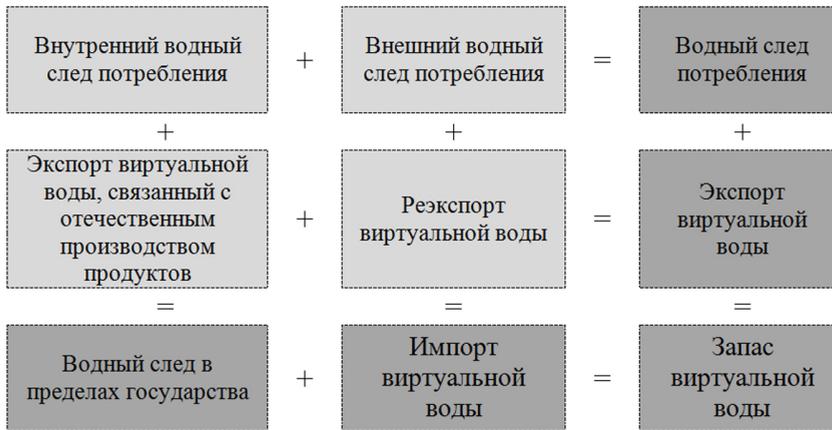


Рис. 1. Схема формирования водного следа потребления какой-либо территории.

Среднемировой ВС потребления в период с 1997 по 2001 г. составлял 1,24 млн. л на человека в год; это соответствует половине объема олимпийского плавательного бассейна. Методика расчета ВС [9], разработанная в 2002 г. как альтернативный метод оценки водопользования, в настоящее время распространяется и совершенствуется Всемирной сетью водного следа (Water Footprint Network).

Водный след потребления рассчитывается путем сложения прямого ВС потребителей и двух косвенных компонент ВС:

$$WF_{\text{cons}} = WF_{\text{cons, dir}} + WF_{\text{cons, indir (с/х товары)}} + WF_{\text{cons, indir (пром. товары)}} \quad (1)$$

где  $WF_{\text{cons}}$  — ВС потребления;  $WF_{\text{cons, dir}}$  — прямой ВС, объем потребляемой и загрязняемой воды, связанный с хозяйственно-питьевым водоснабжением в преде-

лах страны;  $WF_{\text{cons, indir (с/х товары)}}$  – косвенный ВС, объем воды, используемый для производства сельскохозяйственных товаров, потребляемых в данной стране;  $WF_{\text{cons, indir (пром. товары)}}$  – косвенный ВС, объем воды, идущий для производства промышленных товаров, используемых населением данной страны.

В данном исследовании для оценки ВС используется база данных по отдельным странам за период с 1996–2005 гг. [14]. Прежде всего рассмотрим значения ВС потребления для отдельных континентов (табл. 1). Как видно из табл. 1, везде на земном шаре значения внутреннего ВС больше внешнего, т.е. использование собственных водных ресурсов преобладает над импортируемыми. Континентом с наибольшим показателем импортируемой воды является Европа. Лидирующие позиции в потреблении воды занимает Северная Америка, причем 80 % от общего ВС составляет внутренний ВС. Далее следует Австралия и Океания, а Южная Америка на третьем месте, внешний ВС которой всего 20 % от общего. Наименьшие показатели ВС – в Азиатском регионе, где общий ВС в 2,16 раза меньше, чем в Северной Америке. Оценки ВС России находятся примерно посередине от показателей континентов. Исключение составляет импорт виртуальной воды в РФ, который один из наименьших.

Таблица 1

**Общий водный след потребления по отдельным континентам за период 1996 – 2005 гг.**

Регион	Общий водный след потребления, м <sup>3</sup> /год/чел		
	внутренний	внешний	общий
Азия	998	178	1176
Европа	1051	711	1762
Африка	1084	191	1274
Южная Америка	1473	369	1843
Австралия и Океания	1752	394	2146
Северная Америка	2014	531	2545
Россия	1622	229	1851

В табл. 2 приводятся страны с максимальным и минимальным значением составляющих ВС. Монголия, Нигер, Боливия, США, Люксембург – страны, занимающие лидирующие позиции в своих регионах по потреблению воды в целях производства товаров и услуг, необходимых для их жизнеобеспечения. Проанализировав представленные цифры, можно сделать выводы, что даже в одном регионе показатели ВС меняются в широком диапазоне: Азия – от 769 до 3775 м<sup>3</sup>/год/чел, Африка – от 552 до 3519 м<sup>3</sup>/год/чел, что обусловлено различием количества водных ресурсов и развитием экономики страны. Из представленных стран Монголия и Люксембург, имеющие максимальные ВС в своих регионах, большую часть воды импортируют из других стран, их внешний ВС составляет 61,7 % и 75 % от общего ВС соответственно. Мировыми лидерами по значениям ВС потребления являются Монголия, Нигер, Боливия, в то время как среднемировое значение ВС – 1653 м<sup>3</sup>/год/чел, которое сравнимо с внутренним ВС России.

Таблица 2

Максимальные и минимальные значения водного следа потребления стран для отдельных стран за период 1996 – 2005 гг.

Регион / значение	Страна	Водный след потребления, м <sup>3</sup> /год/чел		
		общий	внутренний	внешний
<b>Азия</b>				
Мин	Бангладеш	769	635,0	133,6
Макс	Монголия	3775	1444,0	2330,6
<b>Северная Америка</b>				
Мин	Никарагуа	912	766,5	145,6
Макс	США	2842	2267,0	575,5
<b>Южная Америка</b>				
Мин	Перу	1088	735,0	353,1
Макс	Боливия	3468	3140,5	327,4
<b>Европа</b>				
Мин	Босния и Герцеговина	1256	696,9	559,3
Макс	Люксембург	2514	626,3	1888,0
	<i>Россия</i>	1851	1622	229
<b>Африка</b>				
Мин	Дем. Республика Конго	552	535,8	16,2
Макс	Нигер	3519	3429,1	89,6

Россия занимает 55-е место с показателем общего ВС потребления в 1851 м<sup>3</sup>/год/чел, имея богатые запасы водных ресурсов, в том числе внутренний ВС составляет 87,6 % от общего ВС, т.е. импорт виртуальной воды составляет не больше 12,4 %. В исследуемый период 1996 – 2005 гг. самое большое потребление воды в России в сельском хозяйстве – ВС потребления 1690,8 м<sup>3</sup>/год/чел, а меньше всего идет на промышленные нужды – 69,7 м<sup>3</sup>/год/чел.

Для выделения групп риска было выполнено разбиение ВС потребления на душу населения по странам за период с 1997 – 2001 гг. на 5 однородных градаций методом кластерного анализа [6]. В качестве меры близости использовалось манхэттенское расстояние, а разбиение осуществлялось методом Уорда (табл. 3).

Среднее значение градации “Н” очень близко соответствует аналогичной величине, рассчитанной непосредственно по исходным данным для всего ряда, т.е. распределение значений водного следа близко к нормальному закону. Для более наглядного представления полученных результатов составлена табл. 4, в которой представлено распределение числа государств на 5 градаций по разным континентам.

Таблица 3

Разбиение водного следа государств ( $n=139$ ) за период 1997-2001 гг. по градациям методом Уорда (ЗНН – значительно ниже нормы, НН – ниже нормы, Н – норма, ВН – выше нормы, ЗВН – значительно выше нормы), единица измерения - тыс. м<sup>3</sup> на человека в год.

Параметр	Градация				
	ЗНН	НН	Н	ВН	ЗВН
Число случаев	29	27	43	22	18
Нижняя граница	0,55	0,97	1,22	1,58	1,92
Среднее	0,80	1,10	1,36	1,70	2,15
Верхняя граница	0,95	1,20	1,55	1,88	2,46
Стандартное откл. ( $\sigma$ )	0,11	0,07	0,09	0,09	0,17
Ср. значение выборки	1,35				

Таблица 4

Распределение числа государств (в скобках – в процентах) на 5 градаций по величине водного следа потребления на душу населения за 1997-2001 гг.

КОНТИНЕНТЫ				
ЗНН	НН	Н	ВН	ЗВН
Северная Америка				
5 (31,3 %)	5 (31,3 %)	2 (12,5 %)	2 (12,5 %)	2 (12,5 %)
Южная Америка				
3 (30 %)	2 (20 %)	4 (40 %)	0	1 (10 %)
Европа				
3 (10 %)	2 (6,7 %)	11 (36,7 %)	9 (30 %)	5 (16,6 %)
Азия				
7 (18,9 %)	8 (21,6 %)	11 (29,7 %)	8 (21,6 %)	3 (8,2 %)
Африка				
11 (25 %)	10 (22,7 %)	13 (29,6 %)	3 (6,8 %)	7 (15,9 %)
Австралия				
0	0	2 (100 %)	0	0

Введем три зоны риска: недопустимая (“ЗНН” и “НН”), повышенная (“Н”) и допустимая (“ВН” и “ЗВН”). Как следует из табл. 4, вся территория Австралийского континента, больше половины государств Северной Америки, половина территории Южной Америки и почти половина территории Африки относятся к зоне недопустимого риска, т.е. существует угроза недостатка водных ресурсов.

Водные запасы России велики, на её территории насчитывается более 2,5 млн. рек и 2,7 млн. озёр, естественные ресурсы подземных вод составляют примерно

790 км<sup>3</sup>/год и служат, главным образом, для питьевых целей [1,2]. На сегодняшний день чрезмерно активное использование водных ресурсов обусловлено увеличением населения и особенно ростом процесса его урбанизации. По данным Росстата в России численность населения убывает: в 1996 г. проживало 148,3 млн. чел., в 2005 г. — 143,5 млн. чел., в 2011 г. — 141,99 млн. чел., а к 2030 г. ожидается 139,37 млн. чел. [8]. Но нельзя утверждать, что Россия не будет испытывать водного стресса через несколько лет, поскольку её водные объекты являются источниками виртуальной воды для стран, которые уже сейчас испытывают или в ближайшее время будут испытывать острую нехватку воды. В связи с этим представляет интерес рассмотреть такое понятие, как водный след производства.

В каждой стране вода используется для производства товаров и услуг, которые либо потребляются внутри страны, либо экспортируются. ВС производства учитывает все потребление воды в стране для хозяйственно-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных нужд независимо от того, где потребляется произведенная продукция. ВС производства состоит из трех компонент — «голубого», «зеленого» и «серого» водных следов — представляющих различные типы водопользования: «Зеленый» ВС — объем хранимой в почве дождевой воды, который испаряется с полей, используемых в сельском хозяйстве; «Голубой» ВС представляет собой объем пресной воды, безвозвратно забираемой из водных объектов. Основная часть этой воды используется в поливном земледелии и испаряется с полей; «Серый» ВС — объем воды, загрязненной в процессе производства. Он рассчитывается как количество воды, необходимое для разбавления сбрасываемых загрязняющих веществ до такого состояния, при котором качество воды отвечает приемлемым нормативам.

ВС производства используется для оценки нагрузки на водные ресурсы. Нагрузка на «голубые» водные ресурсы (водный стресс) рассчитывается за год как отношение общего ВС производства ( $WF_{\text{общ}}$ ) за вычетом «зеленой» составляющей ( $WF_{\text{зел}}$ ) к общему объему возобновляемых водных ресурсов ( $V_{\text{общ}}$ ). В настоящее время около 45 стран уже испытывают постоянный умеренный или сильный водный стресс, в то время как многие другие сталкиваются с дефицитом воды в определенные периоды года. Из формулы видно, что минимальное значение  $K_s$  для континентов составляет 4,65 % (Южная Америка), а максимальное — 42,41 % (Азия).

$$K_s = (WF_{\text{общ}} - WF_{\text{зел}}) / V_{\text{общ}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Рассматривая параметры ВС для континентов (табл. 5), видно, что наибольший водный стресс испытывает Азиатская часть мира, а наименьший — Африка и Южная Америка, на фоне этих значений Россия почти не испытывает водного стресса. Вышеуказанные показатели связаны с географическим распределением водоемких промышленных объектов и территорий орошаемых сельскохозяйственных угодий.

По данным за 1997–2001 г. сильный водный стресс испытывают: Египет (111,79%), Узбекистан (115,44%), Саудовская Аравия (717,81%), Йемен (159,21%), Израиль (112,28%), Кувейт (2148,57%), Мальта (117,22%) [14]. Россия с показателем 2,52%, входит в группу стран, которые не испытывают водного стресса (меньше 5%), Это Бразилия (0,71%), Канада (1,57%), Нигерия (2,65%) [14].

**Оценки общего водного следа и водного стресса континентов и России**

Регион	Общий ВС (WF <sub>общ</sub> ), км <sup>3</sup> /год	Запас пресной воды (V <sub>общ</sub> ) тыс. км <sup>3</sup> /год	Зеленый ВС (WF <sub>зел</sub> ) км <sup>3</sup> /год	Водный стресс, %
Европа	1214339	1400	931066	20,23
Азия	4301369	3455	2836113	42,41
Юж. Америка	1064360	3010	924518	4,65
Сев. Америка	1310182	4400	940602	8,40
Африка	1025064	2390	906448	4,96
Россия	396164	1025	370286	2,52

Китай, США, Бразилия, Россия, Нигерия, Австралия имеют наибольшие значения общего ВС производства в своих регионах (табл. 6). Россия занимает четвертое место в мире по значению общего ВС производства. Мировыми лидерами являются Китай, Индия, США, Бразилия, Россия, Индонезия, для которых общий ВС равен соответственно 1207, 1181, 1053, 481, 396, 332 км<sup>3</sup>/год [3]. Высокие показатели ВС Китая, Индии и Индонезии обусловлены процессами затраты воды на орошение сельскохозяйственных культур, а в странах США, Бразилии и России - наибольшие затраты на водоснабжение промышленного производства. В начале XX в. в России 90 % всей используемой воды расходовалось в сельском хозяйстве. В последующие десятилетия резко возросло водопотребление в промышленности и к началу 1980-х годов промышленное и сельскохозяйственное водопотребление почти сравнялись, но в последнее время, (табл. 5) лидирующую позицию по потреблению воды в России снова занимает сельское хозяйство (зеленый водный след) [1,2].

Проблема обеспеченностью водными ресурсами с каждым годом становится всё острее, темпы роста водопотребления в мире оцениваются в современных условиях в среднем 5–6 % в год, а в отдельных странах – в 10–12 % [3]. В связи с неравномерным распределением водных ресурсов по земному шару возникает ряд проблем:

- появление «экологических беженцев» - людей, которым пришлось покинуть свои дома из-за ухудшения экологической обстановки (недостаток воды, опустынивание);
- увеличение числа эпидемий из-за отсутствия доступа к качественной питьевой воде;
- ухудшение продовольственной ситуации, голод;
- возникновение вооруженных конфликтов на почве регулирования стоков или владения водными объектами.

Поскольку экологические проблемы уже давно приобрели глобальный масштаб, и человечество осознало, что большинство из них невозможно решить на локальном уровне, понятие ВС даёт интегрированные оценки количества водных ресурсов в любом масштабе – от земного шара до индивидуального человека, помогает составить прогноз экономических последствий при изменении природной среды. Например, климатические изменения, включая колебания температуры, осадков и уровня морей, влияют на доступность пресной воды в мире. При этом влияние изменений климата будет наибольшим в странах с высоким соотношением относительного ис-

пользования водных ресурсов к их общему запасу (с высоким водным стрессом). Регионы, богатые водными запасами, вряд ли сильно ощутят изменения климата, за исключением возможного увеличения количества наводнений. Схожая ситуация, как это ни парадоксально, предполагается и в странах, которые в настоящее время не имеют запасов пресной воды и получают ее в значительной степени путем опреснения соленой или приобретением виртуальной воды.

Таблица 5

**Страны с максимальными и минимальными значениями общего водного следа производства для отдельных стран континентов**

Регион / значение	Страна	Водный след производства, км <sup>3</sup> /год
<b>Азия</b>		
Мин	Сингапур	20
Макс	Китай	1 207 393
<b>Северная Америка</b>		
Мин	Багамы	56
Макс	США	1 053 462
<b>Южная Америка</b>		
Мин	Суринам	444
Макс	Бразилия	481 722
<b>Европа</b>		
Мин	Мальта	85
Макс	Россия	<b>396 164</b>
<b>Африка</b>		
Мин	Сейшельские острова	84
Макс	Нигерия	200 512

Итак, водный след – это интегральный индикатор, который количественно показывает распределение водных ресурсов по территории, по отраслям и по экономической значимости. Принимая во внимание характеристики ВС, государство или регион может корректировать эффективность стратегии устойчивого развития. Например, столкнувшись с дефицитом собственных водных ресурсов, формирование ВС за счет внешних источников может оказаться эффективной политикой, но одновременно такой подход подразумевает экспорт воздействия на окружающую среду. Для восполнения недостатка воды в районах с малой водообеспеченностью, но большим водопотреблением используют системы переброски воды, которые, в свою очередь, влекут за собой ряд экологических проблем.

К сожалению, оценить ВС для отдельных регионов России в настоящее время весьма сложно из-за несовершенства государственного статистического учета, особенно товарных потоков межрегионального экспорта и импорта, а также из-за отсутствия полных

данных по потреблению продукции населением. В связи с этим важной задачей представляется совершенствование статистического учета на региональном уровне.

### Литература

1. *Алексеевский Н.И., Гладкевич Г.И.* Россия в окружающем мире: 2003 (Аналитический ежегодник). – М.: Изд-во МНЭПУ, 2003. – 336 с.
2. *Бабкин В.Н., Клиге Р.К.* Приток речных вод в Мировой океан. / Ученые записки РГГМУ, 2009, № 13, с. 17-20.
3. *Догановский А.М., Малинин В.Н.* Гидросфера Земли. – СПб., Гидрометеиздат, 2004. – 365 с.
4. *Кондратьев К.Я., Донченко В.К.* Экодинамика и геополитика Т.1. Глобальные проблемы (К.Я. Кондратьев). – СПб., 1999. – 1032 с.
5. *Кравчук М.А., Краснов Ю.И., Малинин В.Н.* Глобальные экологические проблемы: стратегия выживания. // Общество. Среда. Развитие, 2009, №1, с. 194-205.
6. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 406 с.
7. *Орлеанская Е.С.* Изменение глобальной экосистемы в период потепления климата. // Общество. Среда. Развитие, 2011, №1, с. 223-227.
8. Федеральная служба государственной статистики «Предположительная численность населения Российской Федерации до 2030 года» (статистический бюллетень). – М., 2010.
9. *Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya and Mesfin M. Mekonnen.* The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London, Washington, 2011.
10. *Hoekstra A.Y.* (2003) (ed.) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE.
11. *Hoekstra A.Y., Chapagain A.K.* (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21 (1).
12. *Loh J., Collen B., McRae L., Carranza T.T., Pamplin F.A., Amin R. and Baillie J.E.M.,* 2008. Living Planet Index. In: Hails, C. (ed.), *Living Planet Report 2008*, WWF International, Gland, Switzerland.
13. *Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y.* (2011) National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
14. UNESCO-WWAP (2006) *Water a shared responsibility: The United Nations World Water Development Report 2*. UNESCO, Paris, France, 550 p.
15. [Электронный ресурс]: <http://www.un.org/russian/esa/hdr/2006/>.
16. Сборник статистической информации России [Электронный ресурс]: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticJournals/doc\\_1140095525812](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticJournals/doc_1140095525812).

*В.И. Воробьев, А.А. Расторгуева*

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕГО РЕЖИМА ЕЖЕДНЕВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ**

*V.I. Vorobyev, A.A. Rastorguyeva*

## **ON CERTAIN FEATURES OF LONG-TERM VARIATIONS IN DAILY VALUES OF MAXIMUM AND MINIMUM AIR TEMPERATURES IN ST. PETERSBURG AT THE TURN OF THE CENTURY**

*Дается общая характеристика режима ежедневных значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за двадцатилетний период (1987-2006 гг). Приводятся количественные оценки вклада каждого сезона в их годовую изменчивость. Детально рассматривается осенний сезон, дающий наибольший вклад в рост экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за упомянутый период. Показано, что повышение и понижение осенних средних значений экстремальных температур воздуха тесно связано с изменениями режима атмосферной циркуляции.*

*Ключевые слова. Максимальная температура воздуха. Минимальная температура воздуха. Адвективное изменение температуры воздуха. Временная изменчивость экстремальных температур воздуха.*

*A general description of the variations in extreme daily values of air temperature in St. Petersburg for the twenty-year period (1986-2006) is given. Quantitative estimates of the contribution of each season in its annual variability are presented. Details of the fall season are considered as producing the largest contribution to the rise of extreme air temperatures in St. Petersburg in the period mentioned. The rise and fall in autumn mean values of extreme air temperatures are shown to be closely associated with changes in the atmospheric circulation regime.*

*Key words: maximum air temperature, minimum air temperature, advective change of air temperature, temporal variability of extreme air temperatures.*

Исходными данными для описания многолетнего температурного режима какого-либо пункта или территории обычно являются результаты расчетов средней суточной температуры воздуха. Эти данные лежат в основе современных оценок изменения климата [2,6], а применительно к Санкт-Петербургу, например, в статье [4]. В тоже время есть и другие, пожалуй, не менее информативные сведения о темпе-

ратурном режиме каждых суток. Имеются в виду результаты ежедневных наблюдений за максимальной температурой воздуха днем и минимальной его температурой ночью. Эти данные для населения и некоторых предприятий и организаций представляют больший интерес, чем среднесуточная температура. Поэтому не случайно в краткосрочных прогнозах общего пользования (от 12 часов до 3-х суток) указывается не средняя суточная температура воздуха, а его минимальная температура ночью и максимальная температура днем [7].

К сожалению сведения об особенностях многолетнего режима ежедневных значений экстремальных (минимальных и максимальных) температур воздуха носят, в основном выборочный характер, как, например, в [8]. Применительно к теме настоящей статьи несомненный интерес представляет монография [5]. В главе «Температурный режим Санкт-Петербурга и его изменения» представлены некоторые результаты обработки данных о максимальной и минимальной температурах воздуха за период с 1881 по 2007 гг. Так, например, по осредненным за весь упомянутый период наблюдений данным рассчитаны средние месячные значения максимальной и минимальной температуры, их абсолютные значения и средних из них приведены данные о средних месячных значениях средней суточной амплитуде воздуха. Кроме того, даны оценки изменений во времени средних максимальных и минимальных температур зимой и летом за 1901–2006 гг. (106 лет) и за последние 32 года этого же периода (1975–2006 гг.). Сравнение результатов расчетов коэффициентов линейных трендов для этих перекрывающихся периодов позволило авторам монографии сделать вывод, что реальные временные изменения, происходящие в ряду, даже при большом временном сглаживании, не являются монотонными, а испытывают циклические колебания. Поэтому оценки тренда для коротких отрезков ряда могут существенно отличаться от общего тренда, как в большую, так и в меньшую сторону, вплоть до изменения знака.

В тоже время, поиски закономерностей в рядах характеристик температуры, длительностью 20–30 лет могут оказать помощь при разработке долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов погоды и других целей. В данной статье на основе анализа средних годовых и средних сезонных значений максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге за 20-летний (1987–2006 гг.) сделана попытка найти основную причину их значительных изменений во времени.

В качестве исходного материала за двадцатилетний период (1987–2006 гг.) послужили ежедневные значения максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге. Кроме того, за этот же период использовались ежедневные данные о направлении ветра за осенний сезон, которые использовались для оценки их роли в формировании режима ежедневных значений максимальной и минимальной температуры воздуха.

Для решения поставленной задачи в первую очередь был рассмотрен общий многолетний режим экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за 1987–2006 гг. Для этого подвергнуты анализу многолетние изменения средних годовых значений максимальной и минимальной температуры воздуха (рис.1).

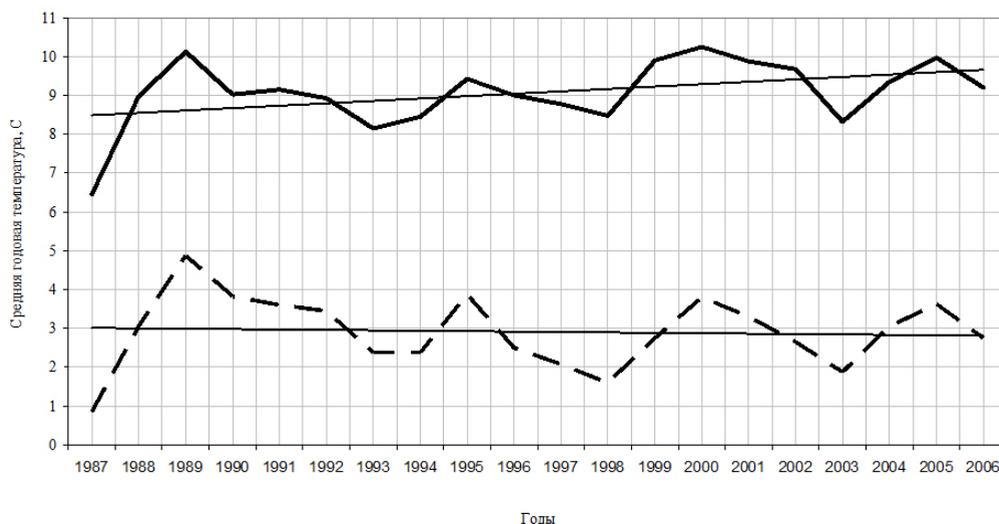


Рис.1. График временного хода среднегодовых значений и линейных трендов максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге с 1987 по 2006 г.

На рис. 1 хорошо видно, что за 20-летний период во временном ходе среднегодовых значений как максимальных, так и минимальных температур имеется по четыре максимума и минимума. Их отклонения от линии тренда, как правило, не превышают 1,0-1,5 °С. Но существенное изменение за этот промежуток времени претерпевает только максимальная среднегодовая температура воздуха. За этот период среднегодовые максимальные температуры воздуха выросли на 0,9 °С. Общий фон среднегодовых значений минимальной температуры воздуха изменился мало и характеризуется незначительным падением на 0,1 °С. Таким образом, за прошедшее двадцатилетие среднегодовая амплитуда суточного хода среднегодовых значений температуры воздуха увеличилась на 1 °С.

Такие небольшие отклонения среднегодовых значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге от линии тренда связаны с тем, что вклад в них средних сезонных значений экстремальных температур не только различен по величине, но может быть противоположным по знаку. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1.

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что наибольший вклад в рост годовых значений максимальной и минимальной температуры воздуха вносит осенний сезон. Надо полагать, что именно в этот сезон наиболее четко проявятся причины, приводящие к появлению максимумов и минимумов во временном ходе максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге. Поэтому выберем его для решения этой задачи.

**Средние годовые и сезонные характеристики режима максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге за 1987-2006 гг.**

Период	T °C	$t_{cp}$	$\beta \cdot n$	$\beta \cdot 10$
Год	max	9,1	0,90	0,45
	min	2,9	-0,1	-0,06
Зима	max	-2,1	-0,7	-0,34
	min	-6,6	-2,3	-1,17
Весна	max	9,0	0,0	0,0
	min	14	-1,1	-0,54
Лето	max	21,2	1,6	0,79
	min	13,5	1,1	0,54
Осень	max	8,2	2,6	1,32
	min	3,6	1,7	0,84

Примечание:

$t_{cp}$  — средняя за период максимальная или минимальная температура воздуха;

$\beta \cdot n$  — суммарное изменение максимальной или минимальной температуры воздуха за 1987-2006 гг.;

$\beta \cdot 10$  — коэффициент линейных трендов.

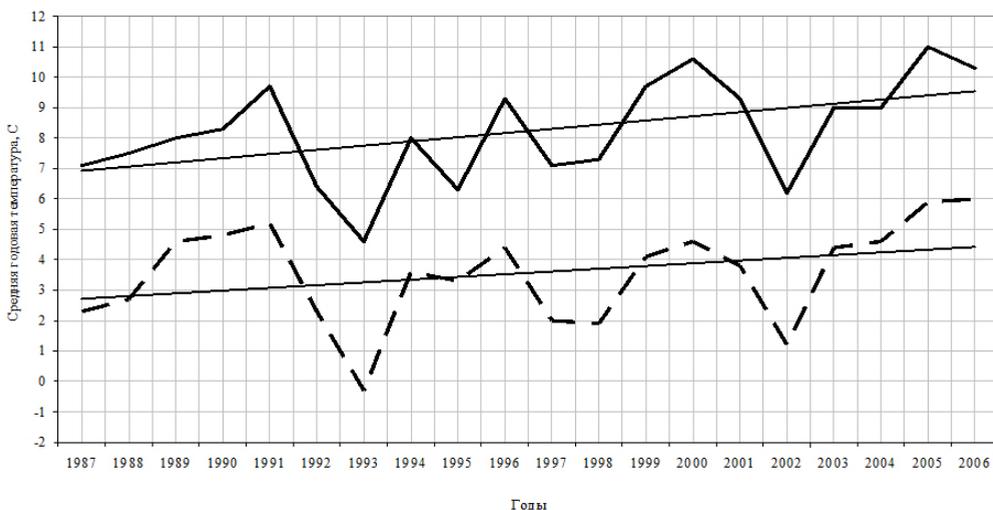


Рис.2. График временного хода средних за осенний сезон значений и линейных трендов максимальной и минимальной температуры воздуха в Санкт-Петербурге с 1987 по 2006 гг.

Известно, что изменение температуры воздуха на станции на уровне психрометрической будки состоит из адвективных и трансформационных изменений. Причем

вклад первых, как правило, существенно больше, чем вторых. На это обстоятельство было неоднократно обращено внимание не только в научных публикациях, но и в учебной литературе (см. например, [3], стр. 101-104). Адвективные изменения формируют основную часть температурного фона суток, месяца, сезона, а трансформационные изменения-внутрисуточный ход температуры, т.е. изменения максимальных и минимальных температур, При этом, максимумы и минимумы во временном ходе максимальных и минимальных температур совпадают, т.е. амплитуды меняются сравнительно мало (рис. 1 и 2).

Отсюда следует, что изменения максимальной и минимальной температуры воздуха внутри интервала осреднения, в основном, определяются, в зависимости от интервала осреднения, изменениями средней месячной, сезонной, годовой температуры, которые, в свою очередь, определяются её адвективными изменениями. Эти изменения зависят от географического положения очагов тепла и холода относительно Санкт-Петербурга и направления переноса теплого или холодного воздуха от них.

По ежемесячным картам средней температуры воздуха, приведенным в [1], были определены положения очагов тепла и холода относительно Санкт-Петербурга и направления ветра, с которым эти воздушные массы могут достигнуть города. Эти сведения приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Направления ветра в Санкт-Петербурге, при которых должны наблюдаться наиболее значительное адвективное повышение или понижение максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге в осенние месяцы и осенью в целом.**

Период	Направление ветра	
	Адвекция тепла	Адвекция холода
Сентябрь	ЮЗ, Ю, ЮВ.	СЗ, С, СВ.
Октябрь	Ю, ЮЗ, З.	СЗ, С, СВ, В.
Ноябрь	Ю, ЮЗ, З.	С, СВ, В, ЮВ.
Осень	Ю, ЮЗ, З.	СЗ, С, СВ.

Далее, за каждый осенний сезон с 1987 по 2006 г. по осреднённым по всем срокам наблюдений были рассчитаны повторяемости направлений ветра в Санкт-Петербурге по восьми румбам (без учета штилей). Результаты приведены в табл. 3.

Данные расчетов повторяемости направлений ветра в Санкт-Петербурге в осенний сезон, приведенные в табл. 3, позволяют оценить суммарный вклад направлений ветра, при которых адвективные изменения температуры будут наиболее значительны. В соответствии с данными табл. 2 осенью при активной адвекции тепла это будут ветры южного, юго-западного и западного направлений, а при активной адвекции холода – ветры северо-западного, северного и северо-восточного направлений. Сведения о годовой повторяемости суммы этих направлений приводятся в табл. 4.

Таблица 3

**Повторяемость направления ветра в осенние сезоны с 1987 по 2006 гг.**

Направление ветра	Повторяемость, %									
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
С	8.9	15.5	20.2	16.3	8.2	16.3	16.9	10.2	19.3	15.6
СВ	0.0	0.0	1.2	12.8	1.4	6.9	6.7	4.5	6.8	7.8
В	8.6	0.0	4.8	14.0	0.0	16.3	0.8	9.1	3.5	8.9
ЮВ	24.1	0.0	6.0	6.9	1.4	14.0	14.6	11.1	10.2	11.1
Ю	21.6	19.7	22.6	9.3	34.2	11.6	18.0	28.9	10.2	24.3
ЮЗ	16.5	38.0	21.4	10.5	23.3	12.8	23.9	14.6	29.5	17.8
З	5.1	14.1	10.7	20.9	20.5	10.5	12.4	12.5	11.4	7.8
СЗ	15.2	12.7	13.1	9.3	11.0	11.6	6.7	9.1	9.1	6.7
Направление ветра	Повторяемость, %									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
С	10.1	7.8	15.5	6.0	10.2	12.8	6.3	9.3	5.1	10.2
СВ	6.9	5.2	5.3	3.6	3.5	11.2	4.7	7.9	2.4	6.4
В	14.1	11.4	5.1	7.2	17.8	12.4	5.7	4.1	4.9	9.8
ЮВ	11.0	15.4	9.0	13.8	15.9	7.8	11.5	5.3	2.9	7.0
Ю	15.9	27.9	19.8	31.0	13.5	8.9	18.2	24.8	33.4	15.7
ЮЗ	17.7	18.5	19.8	21.4	17.1	12.3	21.2	24.1	36.5	19.9
З	11.0	7.4	16.1	11.6	11.8	13.9	23.9	13.6	9.7	20.4
СЗ	13.3	6.4	9.4	5.4	10.2	20.7	8.5	10.9	5.1	10.6

Таблица 4

**Суммарная повторяемость направлений ветра осенью в Санкт-Петербурге, с которыми связаны наиболее значительные адвективные изменения температуры.**

Направление ветра	Повторяемость, %									
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Ю+ЮЗ+З	43.2	43.0	54.5	40.7	78.0	34.9	54.2	51.0	51.1	49.9
СЗ+С+СВ	24.1	28.2	34.5	38.4	20.6	34.8	30.3	23.8	35.2	30.1
Направление ветра	Повторяемость, %									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ю+ЮЗ+З	44.6	53.8	56.3	64.0	42.4	35.1	63.3	62.5	79.6	56.0
СЗ+С+СВ	30.3	19.4	30.2	15.0	23.9	44.7	19.5	25.7	19.6	27.2

Проведем сравнение данных, приведенных в табл. 4, с графическим представлением изменения осенней максимальной и минимальной температуры воздуха с 1987 по 2006 г. (рис. 2). Это сравнение показывает, что многие особенности этих изменений связаны с их адвективной составляющей, знак которой определяется направлением ветра. Повышение повторяемости ветров южных румбов (Ю+ЮЗ+З) должно приводить к росту максимальной и минимальной температуры, повышение повторяемости ветров северных румбов наоборот к понижению этих температур.

Например, повышение максимальной и минимальной температуры с 1987 по 1991 г. хорошо согласуется с повышением повторяемости ветров южных румбов с 43,2 % до 78,0 %, а также с образованием максимума в годовом ходе этих температур в 1991 г. Резкое падение экстремальных (максимальной и минимальной) температур в 1992 и 1993 гг. скорее всего связано с резким понижением повторяемости ветров южных румбов в 1992 г. и, возможно, со сравнительно высокой повторяемостью ветров северных румбов в этом же году. Превышение линии тренда в 1996 г. можно связать с сохранением высокой повторяемости ветров южных румбов и уменьшением повторяемости ветров северных направлений.

Последний десятилетний период (1997-2006 гг.) был проанализирован более детально с привлечением данных о направлении «холодных» и «теплых» ветров по 16 румбам. В этом периоде имеется два максимума (2000 и 2005 гг.) и один минимум (2002 г.). Для этих лет на рис. 3, 4 и 5 приведены гистограммы, описывающие распределение числа случаев направлений ветра. Эти гистограммы наглядно показывают, что осенью в годы максимальных значений экстремальных температур воздуха в Санкт-Петербурге имеет место явное преобладание южных и юго-западных ветров (рис. 3 и 5). В год минимальных значений экстремальных температур (2002 г.) наибольший вклад в формирование температурного режима вносят ветры с северной составляющей (рис. 4).

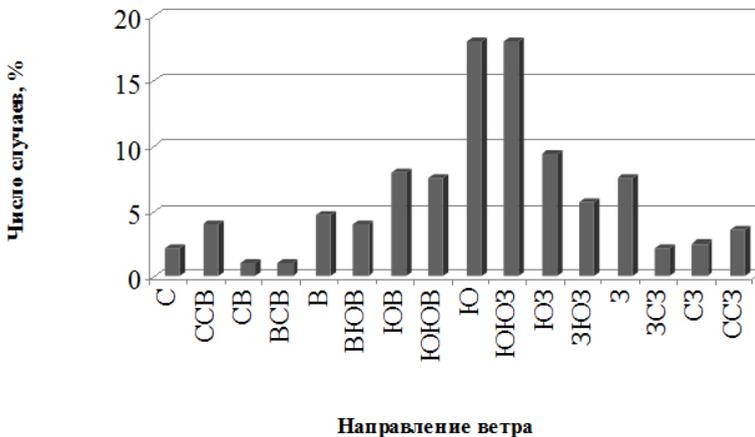


Рис. 3. Распределение повторяемости (количества случаев) направлений ветра осенью 2000 года.



Рис. 4. Распределение повторяемости (количества случаев) направлений ветра осенью 2002 года



Рис. 5. Распределение повторяемости (количества случаев) направлений ветра осенью 2005 года.

Если вновь обратиться к таблице 3, то можно прийти к аналогичным выводам. Действительно, максимум экстремальных температур в 2000 году возник при очень высокой суммарной повторяемости ветров южного и западного направлений (повторяемость 64 %) и весьма низкой повторяемости северных ветров (15 %). Второй максимум (2005 г.) возник при подобных же условиях: повторяемость ветров южного западного направлений почти 80 %.

Минимум экстремальных температур, наблюдавшийся в 2002 г., связан с высокой повторяемостью ветров северных направлений (44,7 %). Интересно, что впервые за двадцатилетний период наблюдений повторяемость ветров северной части горизонта превысила его южную часть.

В итоге можно сделать вывод, что изменение многолетнего режима максимальных и минимальных температур воздуха в Санкт-Петербурге в первую очередь определяется изменением типов и интенсивности атмосферных циркуляционных процессов. С этим связана основная (адвективная) часть изменения режима максимальных и минимальных температур.

Например, если представить, что в какой-то осенний сезон траектории западных атлантических циклонов будут проходить севернее Санкт-Петербурга, то будут преобладать «теплые» ветры южных направлений, что создаст условия для создания очередного максимума или существенного повышения значений максимальной и минимальной температуры. Если же траектории этих циклонов будут проходить южнее Санкт-Петербурга, то будут преобладать «холодные» северные, северо-западные ветры, что понизит как минимальные, так и максимальные температуры воздуха.

### Литература

1. Атлас климатических характеристик температуры, плотности и давления воздуха, ветра и геопотенциала в тропосфере и нижней стратосфере Северного полушария. Вып. 1. Гидрометеоздат, 1975, 128 с.
2. Воробьев В.Н., Саруханян Э.Н., Смирнов Н.П. «Глобальное потепление»—гипотеза или реальность? / Ученые записки РГГМУ, 2010, № 1, с. 6-21.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. — Л.: 1977, 711 с.
4. Карлин Л.Н., Ефимова Ю.В., Никифоров А.В. Некоторые климатические характеристики Санкт-Петербурга в эпоху глобального потепления. / Ученые записки РГГМУ, 2010, № 1, с.22-29.
5. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. — СПб.: 2010, 256 с.
6. Оценочный доклад об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.1. Изменение. климата. — М. 2008, 227 с
7. Руководящий документ РД.52.88.629. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — М.2002, 42.с.
8. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. Изд. 2 — СПб, Гидрометеоздат, 1997, 580с.

*В.А. Шемелов, К.А. Лобанов*

**МОДЕЛЬ СПРАВОЧНОГО ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ  
ПЛАЗМОСФЕРЫ**

*V.A. Shemelov, K.A. Lobanov*

**REFERENCE TEC MODEL OF PLASMASPHERE**

*В работе рассмотрен вопрос моделирования вертикального профиля концентрации электронов на высотах выше максимума концентрации электронов в ионосфере. Показана актуальность и выполнена разработка модели справочного полного электронного содержания (ПЭС) плазмосферы по данным экспериментальных измерений ПЭС в интервале высот от 500 до 20 000 км на основе регистрации сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GPS на борту низкоорбитальных космических аппаратов системы COSMIC. Проверка качества разработанной модели справочного ПЭС плазмосферы выполнялась путем расчета эффективного индекса солнечной активности и уточнения с его помощью модельного значения критической частоты слоя F2 ионосферы. По результатам апробации относительная ошибка восстановления значений  $f_0F2$  при невозмущенных геомагнитных условиях в дневные и ночные часы суток составила 7 – 10 %.*

*Ключевые слова: плазмосфера, верхняя ионосфера, модель плазмосферы, полное электронное содержание, концентрация электронов, GPS, COSMIC.*

*In work the question of modelling of a vertical structure of electron concentration at heights above a maximum of electron concentration in an ionosphere is considered. The urgency is shown and development of the reference total electron contents (TEC) model of plasmasphere according to experimental TEC measurements in an interval of heights from 500 up to 20 000 km on the basis of registration of signals of GPS radionavigating system satellite onboard space vehicles in low orbits of system COSMIC is executed. Quality check of the developed reference TEC model of plasmasphere was carried out by calculation of an effective index of solar activity and specification with its help of modelling value of critical frequency of layer F2 of an ionosphere. By results of approbation the relative error of restoration of values  $f_0F2$  under not indignat geomagnetic conditions in day time and night hours of day has made 7 – 10 %.*

*Key words: plasmasphere, upper ionosphere, model of plasmasphere, total electron contents, electron concentration, GPS, COSMIC.*

**Введение**

Геофизическое обеспечение функционирования средств радиосвязи, радиопеленгации и радионавигации является задачей, требующей знания состояния ионосферы. В связи с тем что в настоящее время сеть регулярных наблюдений за состоянием ионосферы не позволяет в полной мере освещать требуемую территорию, для диагностирования ионосферы пользуются справочными ионосферами, основанными на эмпирических моделях. В частности, при организации коротковолновой радиосвязи хорошо

себя зарекомендовала международная справочная ионосфера [9], полезным свойством которой является способность адаптировать среднемесячные значения параметров ионосферы к текущему её состоянию на основе измерений либо параметров ионосферы (например, высота уровня максимума концентрации электронов слоя F2, критическая частота слоя F2, ПЭС), либо параметров радиосигналов (например, разность фаз двух когерентных радиоволн), связанных с состоянием ионосферы. Процедура адаптации справочной ионосферы к её фактическому состоянию основана на использовании эффективного индекса солнечной активности. Под эффективным индексом солнечной активности обычно понимают такое значение индекса солнечной активности (например,  $W$  или F10.7) – входного параметра модели ионосферы, при котором значения её выходных параметров соответствуют измеренным значениям параметров ионосферы [1,5,14,15]. Определив эффективный индекс солнечной активности и задав его значение в качестве исходного модели ионосферы, можно получить справочную ионосферу, адаптированную к текущему уровню солнечной активности.

ПЭС ионосферы вызывает наибольший интерес в связи с глобальностью, непрерывностью и дешевизной получения данного параметра при использовании приемной двухчастотной аппаратуры потребителя СРНС.

### Предпосылки

С 1997 г. в Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского проводились экспериментальные измерения ПЭС на основе регистрации сигналов СРНС “Циклон/Цикада” с помощью модернизированной навигационной аппаратуры потребителя “Шхуна” [1,15]. Тогда на основе экспериментальных и модельных данных ПЭС выполнялся расчет эффективного индекса солнечной активности, уточнение модели ионосферы IRI и восстановление критических частот слоя F2 ионосферы. При этом погрешность восстановления значений  $f_0F2$ , выраженная относительной ошибкой, в среднем составила 6–9 % для г. Санкт-Петербурга и г. Москвы.

Однако при смене используемой СРНС в методике расчета эффективного индекса солнечной активности с “Циклон/Цикада” (высота орбиты 1000 км) на ГЛОНАСС/GPS (высота орбиты 19 000–20 000 км), произошло увеличение погрешности восстановления значений  $f_0F2$  в среднем до 9–12 % [6].

В качестве возможной причины данного эффекта может быть неадекватность моделей вертикального распределения концентрации электронов на высотах выше 1000 км (включая высоты плазмосферы), вызванная малым числом эмпирических данных к моменту построения последних. К аналогичному заключению также пришли авторы [6,16].

В настоящей работе выдвинута гипотеза, что привлечение новых данных при разработке справочной плазмосферы позволит повысить качество диагностирования ионосферы с применением радиофизического метода, использующего в качестве исходных данных параметры сигналов среднеорбитальных СРНС.

Таким образом, целью работы является проверка этой гипотезы.

Для достижения поставленной цели работы следует решить следующие частные задачи исследования:

- выполнить анализ существующих моделей плазмосферы на предмет соответствия данным измерений;

- проанализировать наличие и возможность использования данных измерений, пригодных для целей разработки новой модели плазмосферы;
- разработать опытную модель плазмосферы на основе доступных эмпирических данных в случае выявления существенных погрешностей в описании плазмосферы рассмотренными моделями;
- выполнить апробацию разработанной модели плазмосферы.

В продолжение логики исследований проанализируем существующие возможности модельного описания состояния плазмосферы.

**Анализ моделей плазмосферы**

Используемые при расчетах в режиме реального времени модели плазмосферы являются эмпирическими или гибридными. Например, это:

- а) стандартная модель ионосферы СМИ (ГОСТ 25645.146-89);
- б) параметрическая модель ионосферы PIM;
- в) глобальная модель плазмосферы GCPM;
- г) трехмерная аналитическая модель ионосферы NeQuick;
- д) глобальная модель ионосферы и плазмосферы NeUoG-plas;
- е) стандартная модель ионосферы и плазмосферы SPIM.

Представленные модели описывают осредненное состояние среды, и это является существенным недостатком, который в какой-то степени компенсируется адаптационными возможностями моделей.

К примеру, на рис. 1 а изображены аналитические профили электронной концентрации, используемые на высотах выше максимума концентрации электронов в гибридных моделях ионосферы. Очевидно, что то или иное аналитическое представление профиля параметра ионосферы является более или менее грубым приближением к реальному состоянию среды и, несмотря на вариации с высотой параметров аналитических зависимостей, наличие погрешностей неизбежно.

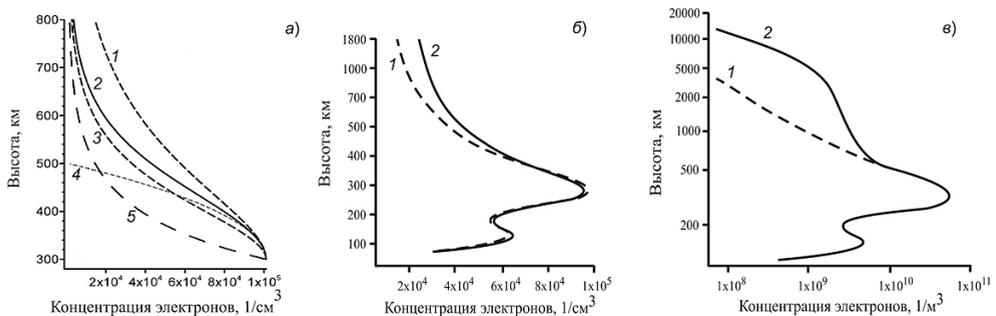


Рис. 1. Вертикальные профили концентрации электронов по данным моделей ионосферы.

а: 1 –  $\alpha$ -Чепмена, 2 – хи-квадрат, 3 –  $\beta$ -Чепмена, 4 – параболическая, 5 – экспоненциальная зависимость; б: 1 – по данным модели IRI [8], 2 – по экспериментальным данным; в: 1 – по данным модели NeQuick [9], 2 – по данным модели NeQuick с верхней частью из модели Галлахера [1].

Далее, в работах [6,16] выполнено сравнение экспериментальных профилей электронной концентрации с профилями, полученными из эмпирических моделей ионосферы (рис. 1 б), а в работе [11] – сравнение профилей, полученных по разным моделям (рис. 1 в).

Анализ представленных зависимостей показывает, что существующие эмпирические модели ионосферы, применяемые для оперативных расчетов параметров среды, даже будучи адаптированными на текущие гелиогеофизические условия, недостаточно корректно описывают вертикальный профиль концентрации электронов, особенно на высотах плазмосферы. Это влечет за собой ошибки при получении модельных значений ПЭС, используемых наряду с экспериментальными измерениями для определения эффективного индекса SA, применяемого в качестве параметра адаптации модели ионосферы.

В настоящее время для определения значений ПЭС при эксплуатации средне-орбитальных систем наибольшее применение нашли модели SPIM [13] и NeQuick. Рассмотрим, каким образом они описывают ПЭС на высотах плазмосферы.

На рис. 2 представлены графики суточного хода ПЭС, полученного по моделям SPIM (рис. 2 а) и NeQuick (рис. 2 б), для различных интервалов высот. На рис. 2 в представлено сравнение результатов расчета ПЭС моделями SPIM и NeQuick, на рис. 2 г – сравнение ПЭС по двум моделям и данным центра CODE.

Из анализа представленных зависимостей видно, что модельные данные довольно противоречивы и нуждаются в существенной коррекции, желательно на основе данных экспериментальных измерений. ПЭС по модели NeQuick имеет суточный ход, сильно отличающийся от суточного хода ПЭС по модели SPIM (рис. 2 в). Центр CODE для построения карт ПЭС использует ассимиляционную модель, позволяющую использовать данные измерений в режиме времени, близком к реальному. Считается, что данные центра CODE обладают малой погрешностью, хоть и занижают экспериментальные данные. Из рис. 2 г видно, что характер суточного хода по модели SPIM хорошо согласуется с данными центра CODE.

Таким образом, выполненный анализ подтверждает высказанное ранее предположение о неудовлетворительной точности описания вертикального профиля концентрации электронов эмпирическими моделями ионосферы.

Однако в рамках применяемого метода [15] диагностирования состояния ионосферы возможно отказаться от вертикального профиля концентрации электронов и использовать параметр ПЭС.

О появившихся на сегодняшний день возможностях измерения ПЭС на высотах плазмосферы речь пойдет далее.

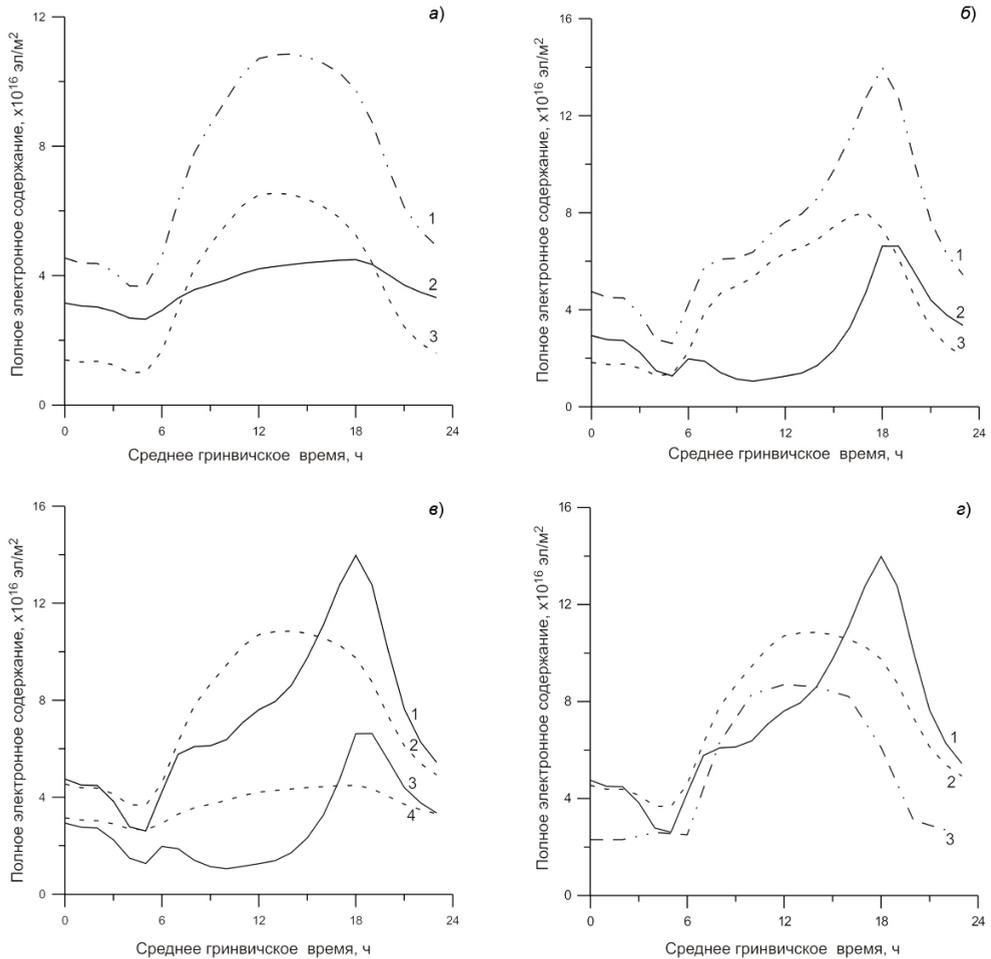


Рис. 2. ПЭС по моделям SPIM, NeQuick и данным центра CODE.

*а* и *б*: 1 – от 60 до 20 000 км по моделям NeQuick и SPIM соответственно, 2 – от 500 до 20 000 км по моделям NeQuick и SPIM, 3 – от 60 до 500 км по моделям NeQuick и SPIM; *в*: 1 и 2 – от 60 до 20 000 км по моделям NeQuick и SPIM соответственно, 3 и 4 – от 500 до 20 000 км по моделям NeQuick и SPIM; *г*: 1 и 2 – от 60 до 20 000 км по моделям NeQuick и SPIM соответственно, 3 – по данным центра CODE).

### Измерение ПЭС плазмосферы

В настоящее время в связи с развитием трансионосферных методов зондирования среды появляются возможности для более полного описания верхней ионосферы путем использования данных измерений с геофизических и навигационных космических аппаратов. Большие перспективы заключаются в использовании космических аппаратов с установленными на борту двухчастотными приемниками сигналов

СРНС например, системы COSMIC (система обзора для задач метеорологии, климата и изучения ионосферы), созданной в целях развития радиозатменных методов.

На борту космических аппаратов системы COSMIC расположена двухчастотная приемная аппаратура среднеорбитальной системы GPS. Специфика данного способа измерения заключается во взаимном расположении космических аппаратов двух систем и возможности регистрации сигналов космических аппаратов системы GPS как при положительных, так и при отрицательных углах места на навигационный космический аппарат. Сущность радиозатменных методов состоит в обработке принятой информации и восстановлении метеорологических и геофизических параметров путем решения обратной радиофизической задачи. Данные регистрации сигналов передаются на наземные пункты приема информации для последующей обработки и расчета значений ПЭС в диапазоне просвечиваемых радиосигналом высот. Такие данные применяются в задачах метеорологии при расчетах индексов конвекции [2].

В настоящий момент орбитальная группировка системы COSMIC в количестве шести аппаратов расположена на круговых орбитах в шести плоскостях с наклоном  $\sim 72^\circ$  на высотах  $\sim 500$  и  $\sim 800$  км с последующим переходом на единую высоту орбит. Численность группировки системы планируется увеличить до 12, а впоследствии – и до 24 аппаратов.

Применяемый нами метод диагностирования состояния ионосферы в качестве входных данных использует значения ПЭС до высоты орбиты среднеорбитальной навигационной системы (20 000 км). Средства системы COSMIC позволяют диагностировать значения ПЭС в диапазоне высот от 500 км до 20 000 км. Значения ПЭС, полученные при больших положительных углах места радиолуча и доступные по адресу в сети Интернет <http://cosmic-io.cosmic.ucar.edu>, обладают погрешностью измерений  $2\text{--}3 \cdot 10^{16}$  эл/м<sup>2</sup>, что соответствует погрешности определения ПЭС с помощью наземных двухчастотных приемников системы GPS.

Перспективность радиофизического метода диагностирования параметров среды обусловлена его глобальностью, дешевизной и приемлемой точностью, а также доступностью экспериментальных данных.

Таким образом, подтверждается наличие и возможность использования данных измерений ПЭС средствами системы COSMIC, пригодных для целей разработки новой модели плазмосферы.

### **Модель справочного ПЭС плазмосферы**

Следует отметить, что использование зарубежных источников данных при геофизическом обеспечении прикладных задач нежелательно, что обуславливает необходимость создания системы, аналогичной системе COSMIC, в нашей стране. Однако проверку выдвинутой гипотезы возможно осуществить на основе имеющихся экспериментальных данных путем разработки новой математической модели ПЭС плазмосферы, пригодной для решения прикладных задач.

Известно, что разработке математических моделей физических объектов должна предшествовать концептуальная (или вербальная) модель физических процессов, определяющих состояние изучаемого объекта.

Для понимания данных процессов вначале нами были изучены факторы, оказывающие влияние на численные характеристики ПЭС плазмосферы. Данными факторами явились: солнечная активность (индекс СА – число Вольфа (W) или поток радиоизлучения на длине волны 10,7 см ( $F_{10,7}$ )), геомагнитная активность (индекс  $A_p$ ), местное время или геомагнитная долгота ( $\Lambda$ ) и геомагнитная широта (X). Данные предикторы будут являться входными параметрами в модель.

Также следует определить граничные условия для предикторов. Таковыми являются: W – от 0 до 50 (низкий уровень солнечной активности);  $A_p$  – от 10 до 100 нТл (низкий уровень геомагнитной активности);  $\Lambda$  – от 0 до 360 град; X – от -80 до 80 град. Следует отметить, что выбор граничных условий по некоторым гелиогеофизическим параметрам был продиктован условиями, имевшими место при составлении выборки из ряда данных наблюдений.

Далее, при наличии ясной для понимания и непротиворечивой вербальной модели физических процессов в изучаемой объекте, целесообразно перейти к разработке математической модели ПЭС плазмосферы, например, в рамках физико-статистического подхода к построению моделей [4].

В основе разработки математической модели ПЭС плазмосферы будет положен алгоритм идентификации параметров модели, состоящий из следующих этапов.

На первом этапе, в целях получения осредненных численных характеристик изучаемого параметра, выполнялся расчет математического ожидания ПЭС плазмосферы в узлах регулярной сетки, в которые значения ПЭС интерполировались из узлов хаотической сетки подионосферных точек.

На втором этапе выполнялось количественное оценивание имеющего определяющее значение параметра, такого, как временной интервал осреднения экспериментальных данных ПЭС плазмосферы. Он определяется периодом стационарности ПЭС плазмосферы, зависящим от времени суток и уровня гелиогеофизической возмущенности среды. Экспериментально было установлено, что во время спокойных геомагнитных условий, а также в дневные и ночные времена суток период стационарности ПЭС плазмосферы составляет 60-90 мин, в восходно-заходные времена и при геомагнитных возмущениях – 10-20 мин.

На третьем этапе, в целях пространственной аппроксимации экспериментальных значений ПЭС плазмосферы, было использовано аналитическое представление поля с помощью известного математического аппарата – сферического гармонического разложения величины по ортогональным функциям, широко применяемого при климатическом описании геофизических параметров. Это, например, параметры магнитного поля Земли и слоя F2 ионосферы, такие, как потенциал (U) индукции и составляющие ( $B_x, B_y, B_z$ ) вектора индукции геомагнитного поля внутриземных источников [2], критическая частота слоя F2 ионосферы ( $f_0F2$ ), максимально применимая частота для скачка на расстояние 3000 км (M(3000)F2) [7].

Основное выражение метода сферического гармонического анализа имеет вид:

$$F(X, \Lambda) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=m}^N [g_n^m \cos(m\Lambda) + h_n^m \sin(m\Lambda)] \cdot P_n^m(\cos X'), \quad (1)$$

где  $F(X, \Lambda)$  – экспериментальное распределение ПЭС;  $\Lambda$  – геомагнитная долгота;

$X' = 90 - X$  – модифицированная широта, где  $X = \arctg(I_{500} / \cos\Phi)$ ;  $I_{500}$  – магнитное наклонение на высоте 500 км;  $g_n^m$ ,  $h_n^m$  – коэффициенты разложения;  $P_n^m(\cos X')$  – присоединенные функции Лежандра порядка  $n$  и индекса  $m$  в нормировке Шмидта.

Таким образом, определение коэффициентов сферического разложения для данного месяца, четного часа и уровней солнечной и геомагнитной активности выполнялось на основе рассчитанных значений математического ожидания на основе выборки ПЭС с 2007 по 2010 г., при этом коэффициенты соотносились с 15-м числом месяца. Между 15-ми числами соседних месяцев для определения ПЭС плазмосферы в модели реализован алгоритм линейной интерполяции значений ПЭС, полученных по двум наборам коэффициентов. Аналогичная процедура интерполяции предусмотрена для коррекции модели ПЭС плазмосферы по текущему уровню SA.

При этом идентифицируемыми параметрами модели являлись рассчитываемые коэффициенты сферического гармонического разложения ПЭС по ортогональным функциям.

Таким образом, модель справочного ПЭС плазмосферы включает в себя вербальную модель физических процессов изучаемого объекта и математическую модель ПЭС плазмосферы. Вербальная модель физических процессов изучаемого объекта служит для обоснования перечня влияющих факторов на объект, а математическая модель ПЭС плазмосферы – для функциональной связи предикторов (параметров влияющих факторов) и предиктанта (ПЭС плазмосферы).

Отметим, что построенная модель справочного ПЭС плазмосферы выгодно отличается от предшествующих [10,12,13], а именно:

- а) выявленными влияющими факторами на ПЭС плазмосферы и сформулированными градациями данных факторов, позволившими корректно использовать исходные данные для построения модели;
- б) принципиально новыми эмпирическими данными, положенными в ее основу.

Для иллюстрации результатов работы модели на рис. 3 представлен суточный ход ПЭС, полученный для диапазона высот 500-20 000 км для станции Fairford (51.7°N, 1.5°W) для 3 марта 2007 г. с помощью моделей SPIM (2) и NeQuick (3), а также по разработанной модели справочного ПЭС плазмосферы (1). Из анализа рисунка видно, что данные моделей SPIM и NeQuick довольно противоречивы, а модель справочного ПЭС плазмосферы дает более высокие значения относительно других моделей. Однако характер суточного хода ПЭС по модели справочного ПЭС плазмосферы больше сходен с данными модели SPIM.

Таким образом, мы рассмотрели входные параметры и граничные условия модели, математический аппарат, использованный при расчете коэффициентов модели, и алгоритм ее разработки.

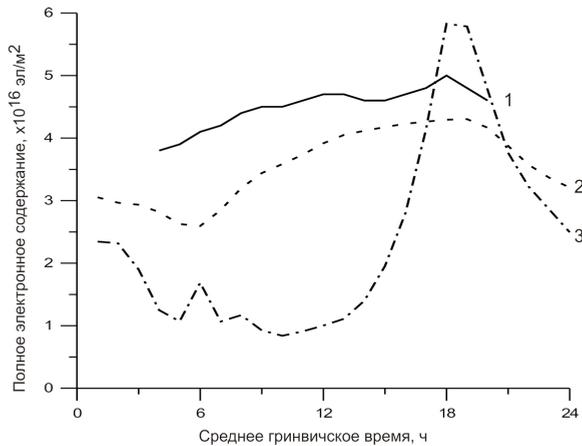


Рис. 3. Полное электронное содержание в слое 500-20 000 км для станции Fairford 3.03.2007.

### **Апробация модели справочного ПЭС плазмосферы**

В рамках способа адаптации модели ионосферы к текущим гелиогеофизическим условиям с помощью эффективного индекса  $CA$ , рассчитываемого по данным измерений параметров сигналов СРНС ГЛОНАСС и GPS, вначале следует определить экспериментальный и модельный ПЭС в слое от поверхности Земли до 20 000 км. До высоты орбиты КА системы COSMIC модельный ПЭС следует получить с помощью модели IRI, выше орбиты КА системы COSMIC — с использованием разработанной модели ПЭС плазмосферы. Уточненный таким образом модельный ПЭС позволяет более корректно рассчитывать требуемый эффективный индекс  $CA$ , используемый для адаптации модели ионосферы, например модели SPIM.

На рис. 4 представлен график относительной ошибки критической частоты слоя F2 ионосферы, восстановленной по данным модели SPIM, уточненной разными индексами  $CA$ . Наибольшую погрешность имеют значения  $f_0F2$ , смоделированные с применением числа Вольфа (1). Малые значения погрешности — у критических частот, смоделированных с применением эффективного индекса, полученного на основе расчета ПЭС путем обработки сигналов СРНС GPS, зарегистрированных наземными средствами (2). Наименьшую погрешность имеют частоты, полученные при использовании эффективного индекса  $CA$ , рассчитанного с применением модели ПЭС плазмосферы (3), но только для геомагнитно-невозмущенных условий (рис. 4, 5), когда суточная сумма индекса  $A_p$  не превышает значения  $\sim 100$  нТл. Также уменьшение погрешности имеет место в полуденные и полуночные времена суток, когда интервал осреднения ПЭС не превышает характерный интервал изменчивости ПЭС плазмосферы.

Полученные в результате апробации модели ПЭС плазмосферы результаты позволяют сделать вывод о влиянии вариации концентрации электронов на высотах плазмосферы на ПЭС и, следовательно, на погрешности диагностирования параметров ионосферы с применением радиофизического метода.

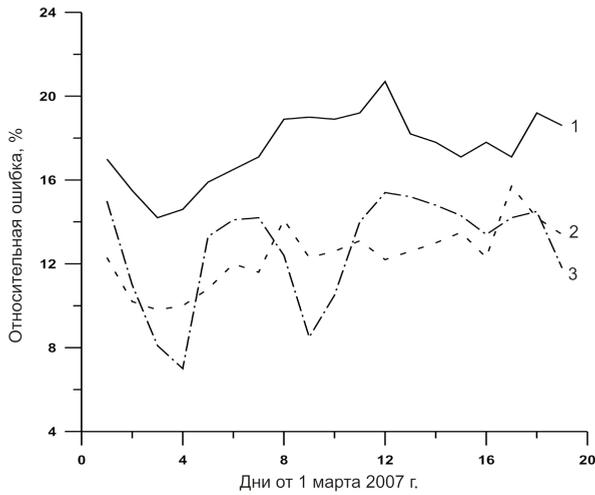


Рис. 4. Относительная ошибка восстановления критических частот  $f_0F_2$  для станции Fairford моделью SPIM на основе числа Вольфа (1), ионосферного индекса CA (2) и индекса, полученного с применением модели справочного ПЭС плазмосферы (3) для 15 ч МСВ.

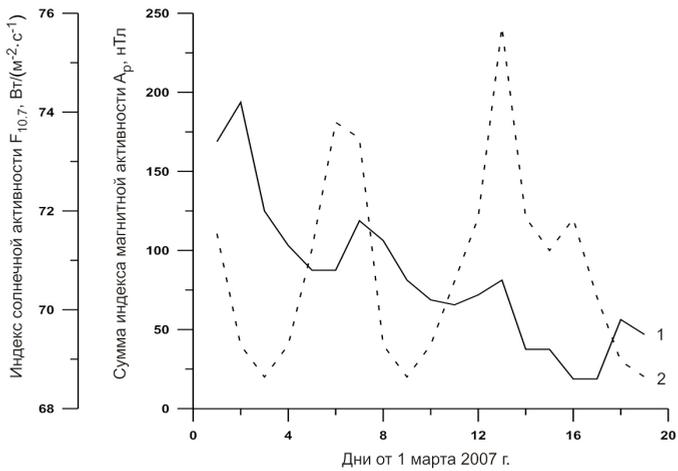


Рис. 5. Индексы солнечной (1) и геомагнитной активности (2).

## Выводы

Результаты выполненной работы позволяют заключить:

- существует проблема недостаточно корректного описания эмпирическими моделями ионосферы профиля концентрации электронов на высотах выше максимума концентрации электронов;

- в целях более корректного описания состояния плазмосферы целесообразно использовать данные трансионосферного зондирования с бортов низкоорбитальных космических аппаратов путем приема и обработки сигналов СРНС GPS;
- применение разработанной модели ПЭС плазмосферы при моделировании критических частот  $f_0F_2$  слоя F2 ионосферы дало удовлетворительные результаты при спокойных геомагнитных условиях для ночных и дневных условий, а именно: 7-10 % относительной ошибки восстановления  $f_0F_2$ , что позволяет говорить о большей объективности описания состояния плазмосферы в отношении интегральной концентрации электронов;
- неудовлетворительная точность модели ПЭС плазмосферы в восходно-заходные часы может быть вызвана недостаточной временной дискретностью исходных данных ПЭС плазмосферы, что говорит о необходимости увеличения числа низкоорбитальных космических аппаратов, а также задействованных СРНС.

### Литература

1. *Ашманец В.И., Зубарев А.И., Ортиков М.Ю., Троицкий Б.В.* Оперативная оценка состояния околоземного космического пространства // Геомагнетизм и аэрномия, 2000, Т. 40, № 1, с. 109-112.
2. *Дудник М.Г., Канухина А.Ю., Власов А.А.* Расчет индексов конвекции с использованием данных радиозатемненного зондирования спутников COSMIC/FORMOSAT. / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 56-70.
3. ГОСТ 25645.126-85. Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 21 с.
4. *Комаров В.С., Попов Ю.Б., Суворов С.С., Кураков В.А.* Динамико-стохастические методы и их применение в прикладной метеорологии. — Томск.: ИОА СО РАН, 2004. — 235 с.
5. *Михайлов А.В., Терехин Ю.Л., Михайлов В.В.* Региональный эффективный индекс солнечной активности для прогноза месячных медианных значений  $f_0F_2$  // Геомагнетизм и аэрномия, 1990, т. 30, № 4, с. 624-630.
6. *Полтавский О.С.* Методы обеспечения КВ-трасс информацией о состоянии ионосферы — Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. физ.-мат. наук. — Ростов-на-Дону, 2009.
7. *Троицкий Б.В., Ортиков М.Ю., Лобанов К.А., Власов А.А., Погорельцев А.И.* Ионосферное обеспечение коротковолновой радиосвязи с использованием карт полного электронного содержания // Геомагнетизм и аэрномия, 2007, т. 47, № 3, с. 413-418.
8. *Чернышев О.В., Васильева Т.Н.* Прогноз максимально применимых частот. — М.: Наука, 1973. — 386 с.
9. *Bilitza D.* International Reference Ionosphere IRI-90. Rept. NSSDC / WDC-A-R&S 90-22, 156 p., Lanham, MD, USA, 1990.
10. *Coisson P., Radicella S., Leitinger R., Nava B.* New option for IRI topside electron density profile using NeQuick model // IRI News Letter, 2005, p.5-7.
11. *Cueto M., Coisson P., Radicella S., Ciraolo L., Herraiz M.* Including the Gallagher plasmaspheric model in the NeQuick ionospheric model // Bulgarian Geophys. J., 2004, v. 30, p. 1-4.
12. *Gallagher D.L., Craven P.D., Comfort R.H.* An empirical model of the Earth's Plasmasphere // Adv. Space Res., 1988, v. 8, p. 15-24.
13. *Gulyaeva T.L., Huang X., Reinisch B.W.* The ionosphere-plasmasphere model software for ISO // Acta Geod. Geophys. Hungarica, 2002, v. 39, № 3, p.247-260.
14. *Minnis C.M., Bazzard G.H.* // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 1960, v. 18, p.297-303.
15. *Ortikov M.Yu., Shemelov V.A., Shishigin I.V., Troitsky B.V.* Ionospheric index of solar activity based on the data of measurements of the spacecraft signals characteristics // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 2003, v. 165, p.1425-1430.
16. *Stankov S., Jakowski N., Heise S., Muhtarov P., Kutiev I., Warnant R.* A new method for reconstruction of the vertical electron density distribution in the upper ionosphere and Plasmasphere // J. Geophys. Res., 2003, v. 108, p.1164-1180.

*А.А. Коршунов, В.М. Шаймарданов, М.З. Шаймарданов*

## СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ОБ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСЛУЖИВАНИЯ

*A.A. Korshunov, V.M. Shaimardanov, M.Z. Shaimardanov*

## DEVELOPMENT OF A DATABASE ON HAZARDOUS EVENTS FOR CLIMATE STUDY AND CLIMATE SERVICES

*Опасные гидрометеорологические явления и неблагоприятные условия погоды в стране наносят значительный урон основным отраслям экономики страны. Потери по гидрометеорологическим причинам продолжают расти, характеризуются более широким охватом территорий.*

*Для климатических исследований и полноценного обслуживания необходимы данные, в максимальной степени достоверные, регулярные по времени, освещающие возможно большую территорию за продолжительный период времени. Данные должны храниться в соответствующих (удобных для доступа, обработки и отображения) структурах, форматах, имеющих языковые средства их описания. Поэтому создаются и регулярно пополняются базы данных об опасных явлениях*

*Ключевые слова: Опасные явления и неблагоприятные условия погоды, потенциальные экономические потери, единая база данных*

*Hazardous hydrometeorological events and adverse weather conditions cause considerable damage to the major sectors of the country's economy. Losses due to such events and conditions continue to grow and cover more and more territories.*

*For climate study and proper climate services the relevant data are required. They should be as reliable as possible, have no time gaps, cover the largest possible territory during the long-term period. Data should be stored in adequate (easy for access, processing and representation) structures and formats with relevant language description tools. Due to the reasons mentioned above databases on hazardous events are being developed and updated.*

*Key words: Hazardous events and adverse weather conditions, potential economic losses, unified database*

Опасные гидрометеорологические явления (ОЯ) и неблагоприятные условия погоды (НУП), когда не достигаются критерии опасности, в стране наносят значительный урон основным отраслям экономики страны. При этом, как показывает статистика, отмечается линейная тенденция (достоверность аппроксимации составляет 77,2 %) увеличения их числа (рис. 1) а, следовательно, растёт ущерб [1].

Расчеты по статистическим данным за рассматриваемый период 1991-2011 гг. показывают, что повторяемость ОЯ составляет в среднем 262 явления в год. Другими словами, практически каждый день на территории России проявляется то или иное ОЯ или НУП.

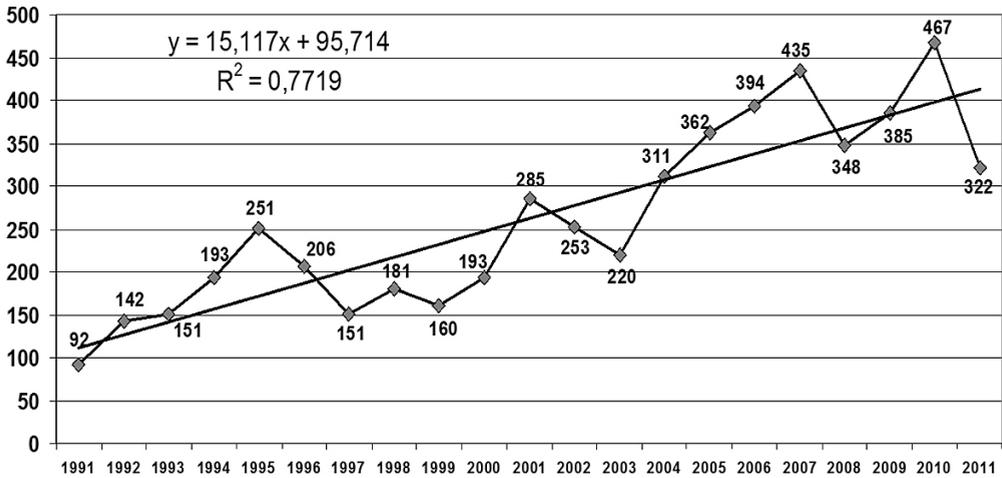


Рис. 1. Распределение суммарного числа случаев ОЯ, нанесших социальные и экономические потери в 1991-2011 годах

Целесообразно отметить, что, если до 2005 г. наблюдалась тенденция увеличения числа случаев воздействия со стороны погоды, то, начиная с 2005 г., просматривается стабилизация проявления опасных явлений, несмотря на два экстремальных (2007 и 2010) года. Это позволяет сформулировать гипотезу, что в дальнейшем воздействие будет носить случайный характер относительно некоторой средней характеристики, которая составляет по данным за 2006-2011 гг. 392 явления.

Погодно-климатические риски характеризуются двумя параметрами:

- повторяемостью явлений,
- потенциальными экономическими потерями [3].

Известные на сегодня изменения климатических условий и крайне опасные проявления погоды ставят экономику страны в существенную зависимость от условий погоды. Экономика России во всем многообразии деятельности не только подвержена воздействию опасных гидрометеорологических условий, но и входит в климатический период растущего метеорологического риска. Потери по гидрометеорологическим причинам продолжают расти, характеризуются более широким охватом территорий. Это – объективный фактор растущей зависимости экономики от гидрометеорологических условий.

По различным оценкам, которые проводились в России, ежегодные потери от воздействия опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды на территории России составляют не менее 30-60 млрд. рублей в год, что составляет 1-2 млрд. долл. США (нижняя оценка потерь) [6]. Другие оценки, которые проводились позже, свидетельствуют, что потенциальные экономические потери могут составлять более 120 млрд. рублей, что видно из таблицы по отдельным видам ОЯ (по данным МЧС России) [4].

По данным МЧС России и МПР РФ риску затоплений при наводнениях на реках во время высоких половодий и паводков, заторно-зажорных явлений периодически подвергается 746 городов и 35 % населения.

**Ориентировочный материальный ущерб от развития наиболее опасных гидрометеорологических явлений на территории России**

Явления	Количество городов, подверженных воздействию	Среднегодовое значение суммы ущерба (млрд. рублей/год)
Наводнения	746	69,9-75,7
Сильные ветры и смерчи	500	1,863
Оползни и обвалы	725	41,9-69,86
Лавины	5	0,349
Сели	9	0,035

**Примечание.** Ущерб приведен в ценах 2011 года

Из всех стихийных бедствий наводнения на реках занимают первое место по суммарному среднегодовому ущербу. При этом, анализ климатически обусловленных изменений частоты (повторяемости) наводнений за последнее столетие свидетельствует, что во всем мире (в том числе и в России) наблюдалась тенденция роста ущерба от наводнений на реках и за XX в. в мире погибло во время наводнений около 10 млн. человек.

Это, в частности, свидетельствует о том, что вся социальная и экономическая сфера страны находится в режиме постоянного испытания от неблагоприятных условий погоды и опасных гидрометеорологических явлений.

По статистике, полученной во ВНИИГМИ-МЦД, повторяемость опасных гидрологических явлений в 1991-2010 гг. составила в среднем 35 за год (паводок, половодье, затор, зажор, сгонно-нагонные явления). В частности, в 2010 г. зафиксировано 33 явления. Однако катастрофические и опасные наводнения проявляются существенно реже. Несмотря на это, максимальный потенциальный экономический ущерб от катастрофических явлений по сведениям МЧС России может достигать 100-120 млрд. рублей для одного явления (ежегодные отчеты МЧС России). Тем самым, несмотря на низкую повторяемость, гидрологические риски оказываются существенными.

Потребности в действенных мерах по уменьшению негативных воздействий стихийных бедствий и, в частности, опасных гидрометеорологических явлений отчетливо указывают на необходимость системного исследования угрозы их возникновения и уязвимости каждого региона России от их последствий при разработке региональных программ, стратегий и планов развития. Это важно для предотвращения дальнейших потерь в экономическом и социальном развитии из-за стихийных бедствий различного масштаба.

На территории России, обладающей чрезвычайно большим разнообразием климатических условий, встречаются более 30 видов ОЯ, за которыми Росгидромет

ведет регулярные наблюдения с целью их обнаружения и прогнозирования. К ним относятся те явления, интенсивность которых превышает критические значения, установленные для данного района или сезона. Эти явления фиксируются гидрометеорологическими станциями, как при самостоятельном их проявлении, так и в определенных обусловленных природой сочетаниях друг с другом.

Целесообразно отметить, что гидрометеорологические станции фиксируют ОЯ в соответствии с утвержденными критериями без учета последствий их воздействия на экономику и население. Эти данные собираются и хранятся в Государственном фонде данных во ВНИИГМИ-МЦД на техническом носителе (ранее на магнитных лентах, в настоящее время хранение гидрометеорологических данных, включая данные об ОЯ, производится на современных носителях прямого доступа).

Параллельно во ВНИИГМИ-МЦД ведется специализированный массив сведений по опасным явлениям и неблагоприятным условиям погоды, которые нанесли социальные и экономические потери экономике и населению. В этот массив включаются все ОЯ, нанесшие потери, даже если они и не были зафиксированы на метеорологических станциях. На настоящий момент накоплены сведения за 1991-2011 гг.

Это объясняется тем, что некоторые ОЯ в слабо освещенных в метеорологическом отношении районах, пропускаются наблюдателями («проскакивают» между станциями). Кроме того, опасные явления, особенно метеорологические, пропускаются наблюдателями не только в слабо освещенных в метеорологическом отношении районах, но и при проявлении локальных (местных) метеорологических явлений, которые не фиксируются наблюдателями на метеорологических станциях. Особенно это проявляется при возникновении трудно прогнозируемых конвективных явлений. Более подробно о базах данных изложено в [2], где были сформулированы основные принципы создания единой базы данных по опасным метеорологическим явлениям.

Следует отметить, что максимальные потенциальные экономические потери наносят засухи и наводнения более чем в 50 %, т.е. ОЯ, нанесшие социальные и экономические потери, зависят от метеорологических явлений. Именно по этому, работа по созданию единой базы данных по опасным метеорологическим явлениям и началась, в первую очередь, во ВНИИГМИ-МЦД. В настоящее время разрабатываются методические основы создания единой базы данных по опасным гидрологическим явлениям.

Во ВНИИГМИ-МЦД ведется работа по выборке данных об ОЯ из основного архива, добавления явлений нанесших ущерб, таким образом, формируется объединенный специализированный массив о наблюдавшихся опасных явлениях. Такой массив данных об ОЯ, построенный в соответствии с критериями и гидрометеорологическими характеристиками, при достижении которых нанесен ущерб, является уникальным массивом Росгидромета.

Наличие данных на техническом носителе позволяет сделать выборку и создать специализированные базы данных об ОЯ по определенным видам опасных явлений для конкретной территории, в зависимости от решаемой задачи. Тем самым имеется возможность автоматизировать расчеты различных характеристик с целью выработки рекомендаций по возможному уменьшению последствий воздействия ОЯ, расширить возможности анализа ущербов, причины возникновения и сформулировать рекомендации для принятия решений [2].

В 2011 году были подготовлены такие массивы по пяти УГМС Росгидромета. Все массивы совместно с системой их ведения переданы на постоянную эксплуатацию в УГМС. Система ведения массивов разработана в среде ACSESS.

В 2012 году такие массивы готовятся по восьми УГМС.

Отметим, что массив данных по станциям хранился на магнитных лентах. Специализированный массив – в компьютере. В настоящее время единые массивы перенесены в Роботизированную библиотеку, что позволяет, во-первых, обеспечить надежную долговременную сохранность данных и, во-вторых, существенно улучшить доступность к ним, в том числе и удаленную [5].

На сегодняшний день создана база данных OJ-meteo, в которой имеются данные за 1991–2011 гг. Она состоит из набора таблиц, связанных между собой определенным образом (по элементу, № записи). На рис 2. представлена схема связей представленных данных.

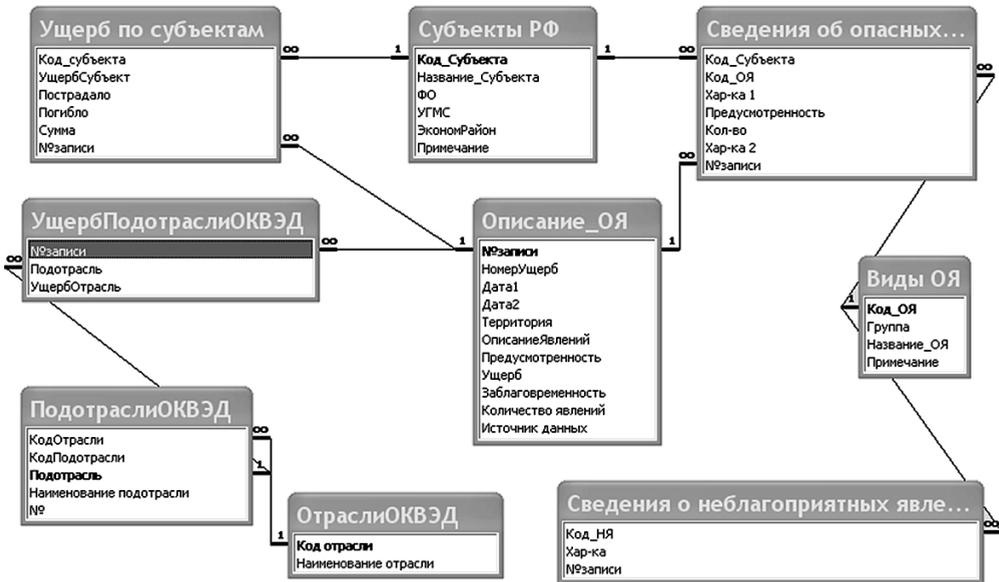


Рис. 2. Схема связей данных

Главная таблица (описание ОЯ) содержит описание территории, явлений, ущерба в текстовом формате (в виде произвольного текста), а так же числовые значения элементов, необходимых для последующей обработки: заблаговременность и количество явлений.

Таблица сведений об опасных явлениях содержит:

- код явления;
- характеристику явления;
- предусмотренность явления;
- код субъекта, на территории которого наблюдалось явление;

- количество станций (данного субъекта) на территории, которых наблюдалось явление;
- код, указывающий на то, наблюдалось явление на станции или нет.

Например, при выборе субъекта пользователю предоставляется список субъектов РФ. При выборе явления, оно также выбирается из существующего списка.

Таблица «ущерб по субъектам» содержит информацию о наличии ущерба для каждого субъекта в отдельности, сумму ущерба для каждого субъекта (если есть данные). При нанесении ущерба населению указывается количество погибших и (или) пострадавших.

Сведения о неблагоприятных явлениях на территории субъектов помещается в таблицу «ущерб по субъектам». Они состоят из: кода явления и характеристики явления.

Описание ущерба, отнесенного к конкретной подотрасли, заносится в таблицу «ущерб подотрасли ОКВЭД» Она содержит: краткое название подотрасли и описание ущерба (произвольный текст).

Для решения различных задач, например, расчета статистических характеристик, а также обслуживания заинтересованных потребителей часть данных из роботизированной библиотеки переписана на дисковую систему в СУБД Oracle. На сегодняшний день в Oracle загружены:

- субъекты РФ (областные центры),
- даты появления опасных явлений,
- краткая характеристика опасных явлений,
- нанесенный ущерб.

Ведутся работы по подключению СУБД Oracle к ГИС-серверу Bentley с целью разработки технологий по отображению ОЯ на картоснове.

Предполагается реализовать доступ к ГИС-системам по ОЯ через WEB для широкого круга пользователей.

В настоящий момент созданы следующие слои:

- подложка (карта с WMS – сервера);
- отображение центров областей (данные из Oracle, по координатам);
- отображение границ областей РФ (dgn – файл);
- значения опасных явлений.

Выбор отображаемых слоев можно производить непосредственно с сайта, в соответствии со специальным меню.

В системе реализован поиск по различным слоям.

На данный момент поиск организован следующим образом:

Поиск «по коду субъекта РФ». Он является не удобным в использовании, так как необходимо знать коды.

Поиск «по названию субъекта РФ» поддерживает ввод нескольких первых символов названия. При множественном результате варианты отображаются в выпадающем списке, из которого можно выбрать интересующий нас субъект.

Результат поиска выводится в таблицу, которая отображается на сайте, а так же на карту наносятся метки субъектов РФ, участвующие в результате. Данные из таблицы можно сохранить в файл (xls, cvs, xml/html)

При наведении мыши на метку на карте всплывает окно, содержащее информацию по данному субъекту РФ.

В заключение хотелось бы отметить, что потребителю необходима заблаговременная информация о наступлении неблагоприятных условий погоды (а тем более стихийных гидрометеорологических условий), которая позволит выполнить предусмотренные регламентом меры защиты. От решений, которые принимаются в различных странах на основе такой информации, ежедневно зависит жизнь и экономическое благосостояние миллионов людей во всем мире. По данным ВМО [3], во многих регионах смягчения последствий связанных с погодой и климатом опасных явлений удалось добиться благодаря планированию прочных инфраструктур и жизнеспособных общественных систем с полномасштабным учетом информации о таких опасных явлениях. Для полноценного обслуживания необходимы данные, в максимальной степени достоверные, регулярные по времени, освещающие возможно большую территорию за продолжительный период времени. Данные должны храниться в соответствующих (удобных для доступа, обработки и отображения) структурах, форматах, имеющих языковые средства их описания. Они должны быть поддержаны информационными справочными системами, а так же программными средствами и автоматизированными технологиями, сбора, пополнения и использования данных. Поэтому, создаются информационные базы данных по опасным явлениям.

### Литература

1. *Коришунов А.А., Шаймарданов М.З.* База данных об опасных гидрометеорологических явлениях // Труды ВНИИГМИ – МЦД. 2007, вып. 172, с. 132-139.
2. *Бедрицкий А.И., Коришунов А.А., Шаймарданов М.З.* Базы данных об опасных гидрометеорологических явлениях на территории России и результаты статистического анализа // Метеорология и гидрология, 2009, №11, с. 5-14.
3. Повышение защищенности от экстремальных метеорологических и климатических явлений. ВМО – № 936, Женева, Швейцария, 2002, с. 36.
4. Катастрофы и человек. Книга 1. / Под ред. Ю.Л. Воробьева / – М.: «Изд-во АСТ-ЛТД», 1997, 255 с.
5. *Шаймарданов В.М.* Основные принципы организации информационных услуг материалами Российского государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды. // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 18, с.35-40.
6. Weather and Climate Services in Europe and Central Asia. A Regional Review. World Bank Working Paper № 151. The World Bank. Washington, D.C., 2008, 79 p.

*М.Р. Гахраманова*

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАЗЕМНЫХ ЗЕНИТНО-РАДИАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ ОБЛАКОВ**

*M.R. Gahramanova*

**WAYS TO INCREASE THE ACCURACY OF GROUND ZENITH-RADIATION MEASUREMENTS OF OPTICAL DEPTH OF CLOUDS**

Анализ точности известного зенитно-радиационного метода измерения оптической толщины облаков показал, что результат таких измерений подвержен сильному влиянию различных загрязнителей атмосферы, влияющих как на отражательные свойства вегетации, так и на пропускание атмосферы. Показано, что погрешность зенитно-радиационного метода, возникающая из-за загрязнителей атмосферы может быть лишь частично уменьшена, либо в зоне RED, либо в NIR проводимых измерений.

Ключевые слова: Облака, оптическая толщина, зенитно-радиационные измерения, облачный индекс, загрязнение атмосферы, растительность.

*The analysis of accuracy of known zenith-radiation method for measuring of clouds optical depth has shown that results of such measurements suffer the strong impact of various pollutants of atmosphere, which effect on both the reflectance of vegetation and transmission of atmosphere. It is shown, that the error of zenith radiation method occurred due to pollutants of atmosphere can be decreased only partly in RED or NIR wavelength zones of carried out measurements.*

Key words: Clouds, optical depth, zenith-radiative measurements, cloud index, atmospheric pollution, vegetation.

Хорошо известно, что наличие точных данных об оптической толщине облаков является важным условием вычисления радиационных свойств облаков. В работе [1] критически проанализированы два известных метода определения оптической толщины облаков путем измерения зенитной радиации на длинах волн 673 нм и 870 нм. Эти методы предусматривают наличие зеленой вегетации в окружающей местности. Актуальность рассмотрения этих методов объясняется тем, что ранее предложенный в работе [2] нормализованный дифференциальный облачный индекс *NDCI* не обеспечивал однозначную оценку оптической толщины облаков. Указанный вопрос рассмотрим на базе рис. 1, где схематически показано взаимодействие облака, вегетации и солнечной радиации. Отметим, что индекс *NDCI* определяется следующим образом [2]:

$$NDCI = \frac{I_{NIR} - I_{RED}}{I_{NIR} + I_{RED}},$$

где  $I_{NIR}$ ,  $I_{RED}$  – переизлученная солнечная радиация, прошедшая цепочку «Вегетация – Облака» и повторно попадающая на поверхность Земли, и в том числе на вход наземного фотометра.

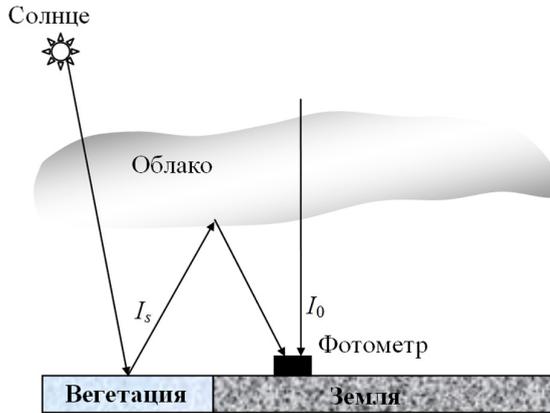


Рис. 1. Схематическое представление измерения оптической толщины облаков с использованием отраженной от вегетации радиации.

Как указывается в работе [1] такое определение облачного индекса не позволяет характеризовать и измерить оптическую толщину облака. В работе [1] это положение объясняется на основе графика показанного на рис. 2, где изображены точки *A* и *C*, для которых индекс *NDCI* имеет одинаковое значение, хотя эти точки характеризуют облака с совершенно различным значением оптической толщины.

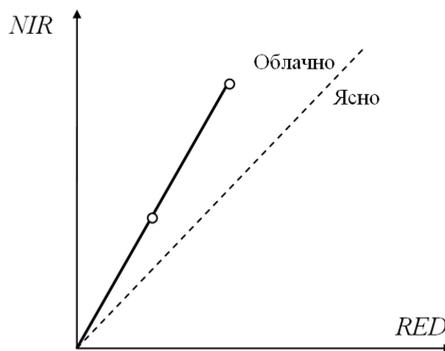


Рис. 2. Графическая интерпретация неоднозначности оценки оптической толщины облака с помощью индекса *NDCI*.

Вышеуказанное обстоятельство легли в основу разработки новых методов измерения оптической толщины облаков с помощью радиации Солнца, переотраженной от близлежащей вегетации [1]. В настоящей статье мы вкратце рассмотрим один из этих методов и укажем пути повышения его точности.

Метод, названный **REDvsNIR**, заключается в следующем. Проводятся измерения зенитной радиации на длинах волн 673 нм и 870 нм при присутствии вегетации

в близлежащей окрестности. Принимается плоско-параллельная модель облаков и Ламбертовская модель поверхности Земли. Согласно [1] результат наземного измерения радиации определяется как

$$I = I_0 + \frac{\rho I_s I_0}{1 - \rho R}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – радиация над земной неотражающей поверхностью вне вегетационного поля.

Второй член в выражении (1) определяет взаимосвязь облаков и подстилающей поверхности, где  $\rho$  – альbedo подстилающей поверхности;  $T_0$  – пропускание атмосферы;  $R$  – сферическое альbedo облаков;  $I_s$  – радиация изотропического излучателя (вегетации) на поверхности.

Согласно [1] аппроксимируя  $T_0$  как

$$T_0 = 1 - A_c + A_c \cdot T_{o.pp.}, \quad (2)$$

где  $A_c$  – пропускание облаков;  $T_{o.pp.}$  – полное пропускание над черной земной поверхностью, можно получить следующие расчетные выражения для монохроматических зенитных радиаций  $I_{RED}(\tau, A_c)$  и  $I_{NIR}(\tau, A_c)$  [1]

$$I_{RED}(\tau, A_c) = I_{0,RED}(\tau) + \frac{\rho_{RED} I_{s,RED}(\tau) \cdot [1 - A_c - A_c \cdot T_{o.pp,RED}(\tau)]}{1 - \rho_{RED} R_{RED}(\tau)}, \quad (3)$$

$$I_{NIR}(\tau, A_c) = I_{0,NIR}(\tau) + \frac{\rho_{NIR} I_{s,NIR}(\tau) \cdot [1 - A_c - A_c \cdot T_{o.pp,NIR}(\tau)]}{1 - \rho_{NIR} R_{NIR}(\tau)}. \quad (4)$$

Для определения величины  $\tau$  сначала  $I_{RED}$  и  $I_{NIR}$  вычисляются для некоторого диапазона величин  $\tau$  и  $A_c$  в виде сверочной таблицы с учетом некоторой базы экспериментальных данных. Далее оптическая толщина облаков определяется путем сравнения измеренных величин  $I_{RED}$  и  $I_{NIR}$  с данными сверочных таблиц.

Как отмечается в [1] для плоско – параллельной модели облаков и наземной Ламбертовской поверхности, пропускание  $T$  определяется как

$$T = \frac{T_0}{1 - \rho_0 R}. \quad (5)$$

С учетом (1) и (5) получим

$$\begin{aligned} I_{RED} &= I_{0,RED} + \rho_{RED} \cdot T_{RED} \cdot I_{sRED}, \\ I_{NIR} &= I_{0,NIR} + \rho_{NIR} \cdot T_{NIR} \cdot I_{sNIR}. \end{aligned} \quad (6)$$

Если оптические свойства облаков в двух каналах одинаково, то из (6) имеем

$$I_{NIR} - k \cdot I_{RED} = (\rho_{NIR} \cdot T_{NIR} - \rho_{RED} \cdot T_{RED}) \cdot I_s(\tau),$$

где

$$\begin{aligned} k &= \frac{I_{0,NIR}}{I_{0,RED}} = \frac{I_{s,NIR}}{I_{s,RED}}; \\ I_s(\tau) &= I_{sNIR} = I_{sRED} \cdot k \end{aligned}$$

Таким образом, получим

$$I_s(\tau) = \frac{I_{NIR} - k I_{RED}}{\rho_{NIR} \cdot T_{NIR} - \rho_{RED} \cdot T_{RED}}. \quad (7)$$

Далее в настоящей статье мы рассмотрим вопрос об обеспечении точности вычисления величины  $I_s(\tau)$ , в смысле нахождения условий неизменности знаменателя выражения (7) из-за внешних факторов. Очевидно, что наличие различных загрязнителей воздуха например, производственных труб, факельных установок, автомобильного транспорта и др. приводит к появлению следующих дуальных факторов, влияющих на точность вычисления  $I_s(\tau)$ :

1. Стресс вегетации;
2. Аэрозольное загрязнение атмосферы

Стресс вегетации приводит к появлению приращений у параметров  $\rho_{NIR}$  и  $\rho_{RED}$ , т.е. имеем

$$\rho_{NIR} = \rho_{NIR_0} + \Delta\rho_{NIR}, \quad (8)$$

$$\rho_{RED} = \rho_{RED_0} + \Delta\rho_{RED}. \quad (9)$$

Аэрозольное загрязнение атмосферы приводит к появлению приращений в пропуске атмосферы, т.е.

$$T_{NIR} = T_{NIR_0} + \Delta T_{NIR}, \quad (10)$$

$$T_{RED} = T_{RED_0} + \Delta T_{RED}. \quad (11)$$

С учетом (7) – (11) имеем

$$\rho_{NIR} \cdot T_{NIR} = \rho_{NIR_0} \cdot T_{NIR_0} + \rho_{NIR} \cdot T_{NIR} + T_{NIR_0} \cdot \Delta\rho_{NIR}. \quad (12)$$

Из выражения (12) находим условие нулевого прироста в первой члене у знаменателя выражения (7)

$$\frac{\rho_{NIR_0}}{T_{NIR_0}} = -\frac{\Delta\rho_{NIR}}{\Delta T_{NIR}}. \quad (13)$$

Также с учетом (7) – (11) можно вычислить следующее выражение:

$$\rho_{RED} \cdot T_{RED} = \rho_{RED_0} \cdot T_{RED_0} + \rho_{RED_0} \cdot \Delta T_{RED} + T_{RED_0} \cdot \Delta\rho_{RED}. \quad (14)$$

Из выражения (14) находим следующее условие нулевого прироста у второго члена в знаменателе выражения (7)

$$\frac{\rho_{RED_0}}{T_{RED_0}} = -\frac{\Delta\rho_{RED}}{\Delta T_{RED}}. \quad (15)$$

Переходя от приращений к дифференциалам выражения (13) и (15) запишем в следующем виде

$$\frac{\rho_{NIR}}{T_{NIR}} = -\frac{d\rho_{NIR}}{dT_{NIR}}, \quad (16)$$

$$\frac{\rho_{RED}}{T_{RED}} = -\frac{d\rho_{RED}}{dT_{RED}}. \quad (17)$$

Решение дифференциальных уравнений (16) и (17) дает

$$\rho_{NIR} \cdot T_{NIR} = 1, \quad (18)$$

$$\rho_{RED} \cdot T_{RED} = 1. \quad (19)$$

График выражения (17) и (18) приведены на рис. 3 и 4. Как видно из приведенных графиков, если учесть неравенство

$$T_{NIR} > T_{RED},$$

что объясняется уменьшением оптической толщины аэрозоля по длине волны, и

$$\rho_{NIR} > \rho_{RED},$$

что объясняется физиологией растений, то эквивалентное результирующее условие

$$T_{NIR} \cdot \rho_{NIR} > T_{RED} \cdot \rho_{RED}$$

будет противоречить выражениям (18) и (19) согласно которым

$$T_{NIR} \cdot \rho_{NIR} = T_{RED} \cdot \rho_{RED}.$$

Отсюда можно сделать вывод о том, что уменьшение погрешности определения  $I_s(\tau)$  путем обеспечения стабильности произведений  $T_{NIR} \cdot \rho_{NIR}$  и  $T_{RED} \cdot \rho_{RED}$  возможно лишь частично, путем обеспечения стабильности одного из этих произведений. При этом выбор возможных вариантов частичного обеспечения стабильности должен быть осуществлен по критерию минимума суммарной нестабильности знаменателя выражения (7), а следовательно и минимума погрешности определения  $I_s(\tau)$ .

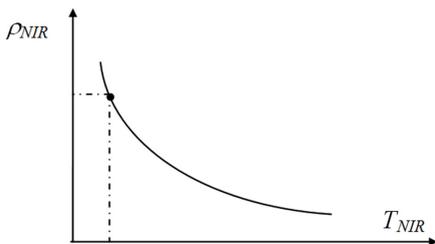


Рис. 3. График выражения (18).

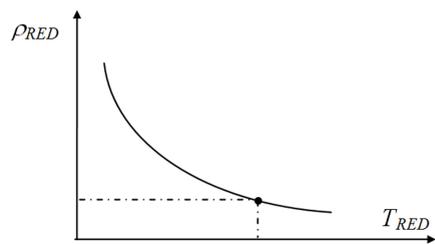


Рис. 4. График выражения (19).

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

1. Анализ точности известного зенитно-радиационного метода измерения оптической толщины облаков показал, что результат таких измерений подвержен сильному влиянию различных загрязнителей атмосферы, влияющих как на отражательные свойства вегетации, так и на пропускание атмосферы.
2. Показано, что погрешность зенитно-радиационного метода, возникающая из-за загрязнителей атмосферы может быть лишь частично уменьшена, либо в зоне *RED*, либо в *NIR* проводимых измерений.

### **Литература**

1. *Chiu J.C., Marshak A., Knyazikhin Y., Wiscombe W.J., Barker H.W., Barnard J.C., Luo Y.* Remote sensing of cloud properties using ground-based measurements of zenith radiance // *Journal of Geophysical Research*, 2006, Vol. 111, D16201, doi: 10.1029/2005JD006843
2. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation // *Remote Sensing Environment*. 1979, No. 8, pp. 127-150

*А.В. Даньшина, В.Ю. Чанцев*

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРИБОВИДНОГО ТЕЧЕНИЯ НА ПРИТОПЛЕННОЙ СТРУЕ

*A.V. Danshina, V.Yu. Chantsev*

## MASHROOM-LIKE CURRENT FORMATION IN THE SUBMERGED JET

*На основании лабораторных экспериментов по генерации грибовидного течения на притопленной струе рассматриваются характеристики, определяющие формирование сферического вихря в однородной пресной воде. Выявлен диапазон чисел Рейнольдса, при которых наблюдалось устойчивое формирование грибовидного течения при непрерывно действующем источнике.*

*Ключевые слова: дипольные структуры, грибовидное течение, лабораторный эксперимент, сферический вихрь*

*Based on laboratory experiments on the generation of mushroom-like currents in submerged jet the characteristics that determine the formation of a spherical vortex in a homogeneous fresh water are considered. The range of Reynolds numbers for which observed sustainable formation of mushroom-like current from continuously acting source is identified.*

*Key words: a dipolar structures, a mushroom-like current, a laboratory experiments, the spherical eddy.*

### **Введение**

Являясь эффективным механизмом горизонтального обмена массой и импульсом, грибовидные течения играют важную роль в формировании гидродинамических режимов и влияют на экологическую обстановку прибрежных районов. К тому же эти устойчивые динамические вихревые образования генерируются во всем спектре пространственных масштабов. Понимание значимости грибовидных течений в динамике океана привело к тому что, начиная с 80-х годов прошлого века, когда выяснилось при анализе спутниковых изображений, что они являются универсальной формой движения вод, им стали уделять повышенное внимание в экспериментальных и теоретических исследованиях. Научный интерес к лабораторному изучению формирования подобного рода дипольных структур связан не только с процессами в морской среде, но и с их генерацией в текучих средах, таких как, например, плазма [17], тонкая мыльная пленка [14], ртуть [19], конденсат Бозе-Эйнштейна [18]. Это означает, что грибовидные

динамические структуры формируются, как в неньютоновских, так и в ньютоновских жидкостях. По всей видимости при определенных условиях ньютоновская жидкость обладает некоторыми свойствами, присущими неньютоновской.

Обычно опыты проводятся в прямоугольных бассейнах различных размеров, выполненных из прозрачного стекла. Схемы используемых установок, в которых источником локально приложенного импульса, приводящего к формированию дипольных вихревых структур, выступает инжектируемая струя жидкости, приведены в работе [6]. Основной частью таких установок является устройство, обеспечивающее контролируемый расход жидкости, вытекаемой из сопла заданного диаметра. В инжектируемую жидкость вводятся трассеры с целью визуализации потока. Моделируемое динамическое образование фиксируют на фото, или видеокамеру. Для подсветки используют люминесцентные лампы в экспериментах с подкрашенной жидкостью, которые располагают под дном лабораторного бассейна, а в случае применения в качестве трассеров частицы сферической формы из полистирола для визуализации потока, освещение подводится сбоку. Для измерения полей скорости и завихренности в потоках применяют метод цифровой трассерной визуализации – PIV метод (Particle Image Velocimetry), с помощью которого выполняется анализ оцифрованных видеорядов [9, 15].

В лабораторных опытах с осесимметричной притоленной струей, вытекающей из сопла (например, [5]) было показано, что в однородной по плотности среде, на переднем фронте такой струи образуется сферический вихрь (рис. 1). При проведении экспериментов было отмечено, что такого рода завихренность возникает при умеренных числах Рейнольдса.

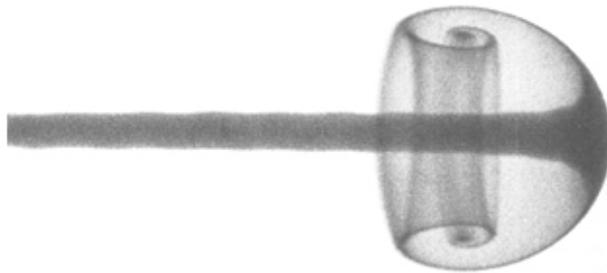


Рис 1. Грибовидное течение в однородной по плотности жидкости, при длительном действии источника импульса и  $Re = 55$

Исследовалась возможность формирования грибовидного течения при разной продолжительности действия источника локального импульса. Для этой цели задавался либо кратковременный источник импульса [1, 10, 16], либо непрерывно действующий [2, 5]. В результате было установлено что, как и в океане, такие течения имеют две стадии развития: быструю при непрерывно действующем источнике, когда горизонтальный масштаб растет во времени пропорционально  $t^{1/2}$  и медленную при краткосрочном действии источника импульса, когда увеличение масштаба дипольной структуры пропорционален  $t^{1/3}$ .

Лабораторные эксперименты подтвердили универсальность грибовидных течений и их важность в горизонтальном перемешивании поскольку, являясь довольно устойчивыми, они осуществляют перенос воды от места возмущения в направлении распространения с вовлечением окружающей жидкости внутрь пары спиралевидных вихрей. В ходе экспериментальных исследований было выяснено, что грибовидные течения обладают сильным деформационным полем, повышенной концентрацией завихренности по сравнению с фоновой и согласованным полем скорости, и, таким образом, являются важным механизмом горизонтального обмена импульсом, теплом, массой в приповерхностном слое океанов и морей, и приводят к значительному перераспределению концентраций пассивных примесей, влияя на экологическую обстановку в прибрежной зоне. Полученные экспериментальным путем данные послужили основой для ряда теоретических объяснений механизмов формирования грибовидных течений.

### **Методы и средства получения информации**

Для получения более полного представления о характере и условиях генерации и развития грибовидного течения был проведен ряд лабораторных экспериментов, позволяющих определить предельные случаи формирования исследуемой динамической структуры. Схема лабораторной установки, на которой проводились данные эксперименты, была приведена в [6]. В ней использовался прозрачный бассейн размером  $80 \times 60 \times 30$  см<sup>3</sup> из органического стекла и устройство, обеспечивающее контролируемый расход жидкости, со сменными наконечниками, играющими роль сопел разного диаметра. Для исследования горизонтальных размеров грибовидных течений на дне бассейна располагались шкалы с ценой деления 1 мм. Подсветка бассейна осуществлялась с помощью мощных ламп накаливания. Эксперименты проводились с использованием подкрашенной индикаторами пресной воды, придерживаясь известной методики [5]. Красителями выступали калия перманганат и феноловый красный водорастворимый индикатор. Роль трассеров исполняла полиамидная пыль, плотность которой соизмерима с плотностью пресной воды и составляет  $1.04 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Размер полиамидных частиц не превышал 10 мкм, чтобы не оказывать влияние на истечение жидкости из сопла.

Воде в бассейне давали время успокоиться, чтобы проводить опыты в жидкости с затухшими движениями, а температура воды приблизительно равнялась температуре воздуха в лаборатории, как во время подготовки, так и проведения экспериментов. Температуру поддерживали около одного значения. Таким образом, добивались того, чтобы в разных сериях опытов грибовидные течения были получены при одних и тех же внешних условиях, и однородность водной среды не нарушалась.

Варьируя разными по диаметру соплами (0.5 мм, 1.4 мм, 2.3 мм и 3.0 мм), и выпуская разные объемы подкрашенной воды с различной интенсивностью, фиксировали эволюцию динамических структур. После каждого эксперимента выдерживалось время для успокоения жидкости. Для каждого из диаметров сопел была проведена своя серия экспериментов. В среднем для каждой серии было выполнено около 45 экспериментов. Все эксперименты были зафиксированы как на цифровую фотокамеру, так и на цифровую видеокамеру с частотой записи 30 Гц.

Для определения динамических характеристик потоков, в том числе и при экспериментальном моделировании грибовидных течений, на сегодняшний день наиболее прогрессивным считается PIV-метод и его модификации [11, 15]. Позволяя регистрировать мгновенные поля скоростей в плоскости измерения, PIV-метод обладает рядом достоинств, которые заключаются в широком динамическом диапазоне измеряемых скоростей и возможности набирать и быстро обрабатывать на обычном персональном компьютере значительный объем экспериментальных данных для расчета статистических характеристик течений [7]. Тем не менее, у метода PIV имеются и некоторые ограничения. Так неидеальность трассеров (их размер и плотность) может приводить к тому, что эти частицы не всегда точно будут следовать за потоком. Величина диаметра трассеров к тому же вносит ограничение и на размер элементарной области измерения снизу. Введение более мелких трассеров в поток сопряжено с влиянием броуновского движения на их смещение, что накладывает ограничения на чувствительность регистрирующей аппаратуры и мощность источника излучения.

Более упрощенный вариант обработки изображений визуализированных потоков известен со времени появления фото и видеокамер [2]. Как и в работе [6] весь процесс зарождения, развития и затухания дипольных структур фиксировался с помощью цифровой видеокамеры. В результате кадрового разбиения отснятого видеоматериала и анализа трассерных картин вручную было получено смещение меченых частиц за известный интервал времени, на основании которых было получено распределение как продольной, так и поперечной составляющих скорости на разных участках грибовидного течения. Все пространственные размеры вихревой структуры определялись по положению границы красителя. Поскольку осуществлялась подсветка всего объема жидкости, а камера была направлена вертикально вниз, то была лишь возможность измерить характеристики грибовидного течения только в горизонтальной плоскости. Конечно, в связи с этим возникали погрешности в определении скоростей, поскольку не учитывались вертикальные движения маркеров в вихревой структуре. Используемый подход в выделении движущегося маркера не позволяет определять все три составляющие скорости его перемещения и даже при определении составляющих скорости в одной плоскости вносится погрешность, связанная с тем, что этот маркер может двигаться не только в пределах рассматриваемой плоскости, но и в поперечном к этой плоскости направлении.

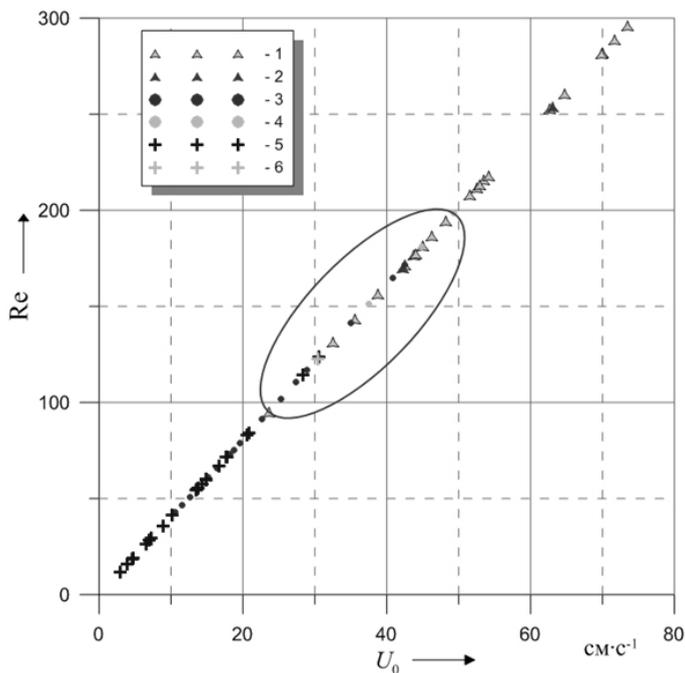
### **Анализ характеристик грибовидного течения**

Грибовидные течения стабильно формировались при умеренных числах Рейнольдса ( $Re$ ) порядка от  $10^0$  до  $10^2$ . В представляемой работе были рассчитаны числа Рейнольдса в районе испускания струи для двух величин диаметра сопла нескольких серий экспериментов. В результате были получены диапазоны чисел Рейнольдса, при которых всегда формировались грибовидные течения.

На рис. 2 изображена зависимость числа Рейнольдса от скорости в источнике импульса ( $U_0$ ) при диаметре сопла 0.5 мм. На этом рисунке можно выделить три области, в которых для струи, вытекающей из сопла, присущ определенный динамический режим. Так при  $Re \leq 90$  и скоростях в источнике импульса до 24 см/с всегда генерировались грибовидные течения. При сочетании  $Re > 200$  и скорости в источнике

импульса выше 50 см/с для выпускаемой струи был присущ турбулентный режим. Тогда как в промежуточном диапазоне числа Рейнольдса и скоростей, могли образовываться как грибовидные течения, так и турбулентные струи.

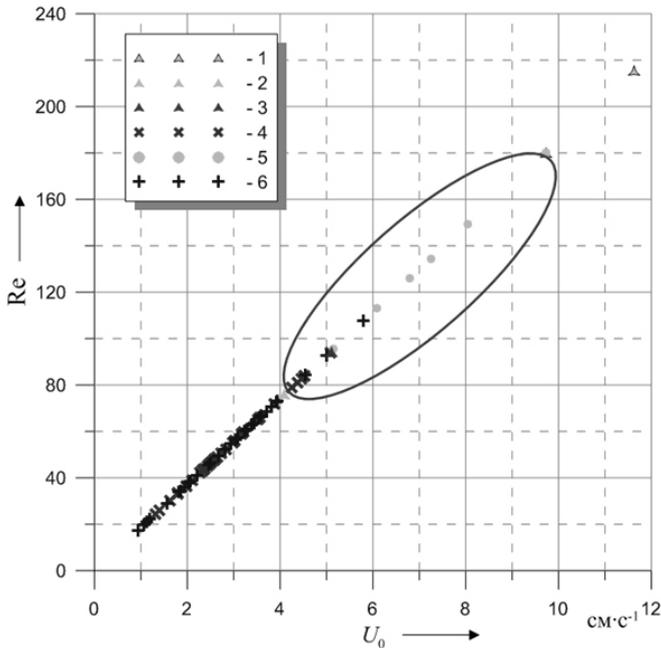
Кроме того, в этом диапазоне, представляющем собой переходный режим, выделенный на рис. 2 овалом, формировались такие динамические образования, которые на начальном этапе своего развития могли представлять собой турбулентную струю, а затем упорядочивались с образованием квазисферического вихря на фронте, или же вначале своей эволюции из инжектируемой струи формировалась грибовидная структура, которая быстро деформировалась и разрушалась, преобразуясь в турбулентную струю.



1, 2 – турбулентный режим в двух сериях экспериментов;  
3, 5 – грибовидное течение; 4, 6 – переходный режим

Рис. 2. Распределение  $Re$  в зависимости от скорости выпуска струи в источнике импульса для турбулентного и ламинарного режимов для диаметра сопла  $d = 0.5$  мм

Аналогичная зависимость числа Рейнольдса от скорости в источнике импульса приведена на рис. 3. Только данное распределение  $Re$  соответствует экспериментам с большим диаметром сопла. В данном случае использовалась насадка диаметром 2.3 мм. Как и для серии экспериментов с меньшим диаметром сопла ( $d = 0.5$  мм), отчетливо выделяются три режима развития инжектируемой струи. Изменяются лишь пределы диапазонов величин  $Re$  и скоростей источника.



1, 3 – турбулентный режим в двух сериях экспериментов;  
4, 6 – грибовидное течение; 2, 5 – переходный режим

Рис. 3. – Распределение  $Re$  в зависимости от скорости испускания струи в источнике импульса для турбулентного и ламинарного режимов для диаметра сопла  $d = 2.3$  мм

Так для режима, при котором всегда возникают грибовидные течения, верхняя граница диапазона смещается в сторону незначительного уменьшения  $Re$  до 70 и большого снижения скорости источника импульса до величины 4 см/с. В турбулентном режиме также наблюдалось изменение положения границы диапазона. Сдвиг нижней границы произошел в сторону более низких чисел Рейнольдса и величин скоростей в источнике. Так турбулентные струи уже генерировались при  $Re > 180$  и скоростью более 9.5 см/с. В отличие от эксперимента с диаметром сопла 0.5 мм переходный режим характеризовался меньшим разнообразием динамических образований. В этом режиме проявлялись только лишь два типа потоков: грибовидные течения и турбулентные струи.

Следует отметить, что основная задача при проведении экспериментов состояла в получении генерации грибовидных течений. В связи с этим большинство из экспериментов, в которых грибовидные вихревые структуры не образовывались, были выполнены для нахождения максимально подходящих условий инжектирования струи из сопла, при которых бы шло образование дипольных структур.

Тем не менее, некоторые статистические характеристики по данным экспериментов для выделенных трех динамических режимов были посчитаны и приведены

в таблице 1. В эту таблицу сведены средние величины  $Re$  и скоростей в источнике импульса и их среднеквадратические отклонения  $\sigma$  при разном диаметре сопла. Наибольшие отклонения от среднего возникают при меньшей величине диаметра сопла, как для режима грибовидных течений, так и для переходного режима. В турбулентном режиме максимальные среднеквадратические отклонения наблюдаются, наоборот, при большем диаметре сопла.

Максимальные среднеквадратические отклонения числа Рейнольдса характерны для турбулентного режима. Если говорить о средних величинах числа Рейнольдса в разных режимах, то следует отметить, что наибольшие значения  $Re$ , характерные для турбулентного режима, возрастают от 225 до 315 с уменьшением диаметра сопла источника импульса.

Таким образом, представленные зависимости показывают, как диаметр сопла источника импульса влияет на динамический режим инжектируемой струи и на величины числа Рейнольдса, при которых генерируется сферический вихрь на фронте струи. Устойчивый турбулентный режим инжектируемой струи с увеличением диаметра сопла наступает при большей величине  $Re$ , по сравнению с его значением при меньшем диаметре. Такая же зависимость получается и для режима грибовидных течений. Чем больше диаметр сопла источника импульса, тем при больших величинах  $Re$  могут генерироваться грибовидные течения. Для каждого диаметра сопла можно получить диапазон чисел Рейнольдса, в котором обязательно формируются грибовидные течения. В представленной работе будут рассматриваться вихревые дипольные структуры, формирующиеся именно в этом диапазоне чисел Рейнольдса.

Таблица 1

**Статистические характеристики режимов движения инжектируемой струи**

Режим	$\bar{U}_0, \text{см}\cdot\text{с}^{-1}$	$\pm\sigma, \text{см}\cdot\text{с}^{-1}$	$Re$
$d = 0.5 \text{ мм}$			
Турбулентный	55.97	15.02	315.18
Переходный	40.57	6.56	163.42
Грибовидный	16.49	7.58	59.44
$d = 2.3 \text{ мм}$			
Турбулентный	17.01	12.28	225.48
Переходный	8.74	1.39	164.85
Грибовидный	3.87	0.84	63.12

В исследованиях Стерна (Stern) и Воропаева [21] было пояснено, почему грибовидные течения генерируются именно при таких величинах числа Рейнольдса. Так число Рейнольдса возле источника импульса в впрыскиваемой струе не может быть большим из-за возникновения турбулентной неустойчивости и не может быть малым, поскольку тогда бы преобладала сила вязкости. Но даже при таких числах Рейнольдса на устойчивую ненарушенную струю влияет вязкость, так что ее ширина увеличивается вниз по потоку, и скорость на оси струи также не является посто-

янной. В [2] была сделана попытка объяснить генерацию грибовидных течений при умеренных числах Рейнольдса. Поскольку характерный поперечный размер таких динамических структур в океане составляет несколько десятков километров, и они развиваются на фоне более мелкомасштабных движений, создающих турбулентный фон, при достаточно большой фоновой эффективной вязкости в верхнем слое океана, то и движение в целом будет происходить в диапазоне умеренных чисел Рейнольдса. Как было отмечено в [3], эффективное число Рейнольдса для рассматриваемых движений не превышает нескольких десятков. Так, по оценкам Афанасьева [2], с помощью простых автомодельных приближений были рассчитаны эффективное число Рейнольдса фронтальной области  $Re_{ef}$  и эффективная вязкость  $\nu_{ef}$  для грибовидного течения в океане, где их величины составили 6 и  $3.5 \cdot 10^6$  см<sup>2</sup>/с, соответственно.

Известно, что характерные масштабы, входящие в определение числа Рейнольдса, могут определяться из различных соображений, но которые должны сохранять значение  $Re$  как критерия перехода от ламинарного движения к турбулентному. А это означает, что в масштабах, при которых кинематическая вязкость играет значимую роль, упорядоченные структуры не могут формироваться при  $Re$ , соответствующих турбулентному режиму. То есть характерный масштаб должен определяться из соображений, характеризующих не все пространство вихревой структуры, а потока, который ее формирует. В этом случае число Рейнольдса примет значительно меньшее значение.

В обобщенном виде число Рейнольдса можно представить следующим образом:

$$Re = \frac{M(t)^{2/m} t^{2k-1}}{(n-1)^{2/m} 4\nu}, \quad (1)$$

где  $M(t)$  – кинематический импульс, с размерностью  $L^m T^{-n}$ ;  $k = n/m$ ;  $m$  и  $n$  – константы характера и формы струйного течения;  $\nu$  – динамическая вязкость.

Для 3-мерной круглой осесимметричной струи  $n = 2$  и  $m = 4$ . В этом случае  $Re$  не зависит от времени, но от времени зависит величина импульса  $M(t)$ .

Как показывают лабораторные исследования, грибовидные течения с пространственными масштабами, в которых кинематическая вязкость играет значимую роль, формируются исключительно при ламинарном режиме течения. Причем в работе Кантуэлла (Cantwell) [12] определены условия, при которых могут формироваться грибовидные течения на круглых струях. Рассматривая картину перемещений элементов жидкости, построенную на основе решения уравнения траекторий в безразмерном виде сферической системы координат для уравнения Навье-Стокса в стоковом приближении можно выделить критические точки, в которых обнаруживается фокусировка траекторий перемещения элементов жидкости при фиксированном значении  $Re$ . Отмечается, что существование такой критической точки определяется соотношением между скоростью завихренности и скоростью деформации или напряжением. Для того чтобы в критической точке формировался фокус, завихренность должна превосходить напряжение. Необходимое соотношение возникает только при определенных значениях критического числа Рейнольдса. Кантуэлл показал, что при  $Re < Re_c$  и  $\theta_c = 0$  развивается обычный ламинарный поток, если

$$\text{Re}_1^{m/2} = \frac{\zeta_c}{2U(\zeta_c, \theta_c)}, \quad (2)$$

где  $\zeta_c, \theta_c$  – сферические координаты критической точки.

Формирование критических точек, в которых фокусируются траектории движения элементов жидкости, т.е. образуется грибовидное течение, осуществляется при условии фиксированного радиуса  $\zeta_c = \zeta_0$  и  $\text{Re} > \text{Re}_1$ , при условии, что  $\theta_c \neq 0$ .

Необходимо отметить, что критическое  $\text{Re}_1$  достаточно мало по сравнению с типичными  $\text{Re}$  свободных сдвиговых потоков, и, вероятно, должны быть еще ниже в нелинейных случаях. При аппроксимации грибовидного течения в виде двумерного дипольного вихря, согласно Кантуэллу [12], критические  $\text{Re}$  имеют тенденцию к снижению по отношению к трехмерному осесимметричному случаю.

Выполненные численные исследования асимптотического приближения в сферических координатах уравнения Навье-Стокса [13] показали, что представленные критические числа Рейнольдса нелинейной задачи (с учетом адвекции) оказались ниже, чем полученные из стоксового приближения. Это соответствует существующему предположению, что нелинейность задачи является дестабилизирующим фактором.

По результатам лабораторных экспериментов рассматривалось распределение скоростей грибовидного течения, формирующегося только в случае непрерывного инжектирования жидкости в течение длительного периода времени в однородную по плотности среду при  $\text{Re} \sim 10 \div 100$ . При таких условиях после начала испускания жидкости через круглое сопло образуется круглая осесимметричная струя, на переднем фронте которой возникает близкий к сферической форме устойчивый вихрь. Схематично такую развивающуюся струю можно представить состоящей из двух частей, как это изображено на рис. 4: из струи, бьющей из источника импульса величиной  $I$ , расположенного в точке  $x = 0$ , и жидкой сферы радиусом  $R$ . В любой из плоскостей, проведенных через ось струи, сферический вихрь в разрезе будет представлять собой диполь. Каждый из вихрей диполя закручивается вокруг критической точки  $r_0$ , (рис. 4).

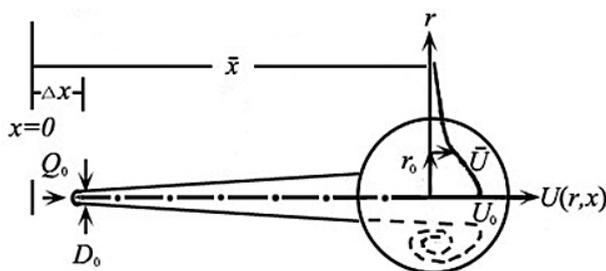


Рис. 4. Схематическое изображение грибовидного течения в однородной по плотности жидкости [4]

В первом приближении динамические особенности такого грибовидного течения можно описать, используя эмпирическую модель Воропаева [4]. В ее основу положена идея, что сформировавшийся на переднем фронте струи сферический вихрь

остается подобным самому себе, сохраняя свою форму вплоть до больших расстояний от среза сопла, а окружающая жидкость, в которую внедряется струя, не попадает внутрь вихря. В заднюю же часть сферического вихря внедряется струя, приводя к увеличению его объема  $V$  и его поступательному продвижению вперед со скоростью:

$$\bar{U} = d\bar{x} / dt. \quad (3)$$

Распределение продольной скорости  $U$  в самой струе описывается соотношением, совпадающим с автомодельным решением Шлихтинга для осесимметричной развитой струи:

$$U = \frac{A_0 v J}{x(1 + B_0 J r^2 / x^2)^2}, \quad (4)$$

где  $A_0$  и  $B_0$  – константы Шлихтинга ( $A_0 = 3/8\pi$ ,  $B_0 = 3/64\pi$ );  $J = I/\rho v^2$  – безразмерный импульс;  $x$  и  $r$  – продольная и поперечная координата, соответственно.

Такое предположение не вступает в противоречие с экспериментальными результатами, полученными в исследованиях [21, 22]. В этих работах распределение продольной скорости вдоль оси струи (при  $r = 0$ ) за вихрем на ее переднем фронте достаточно успешно описывается решением (4):

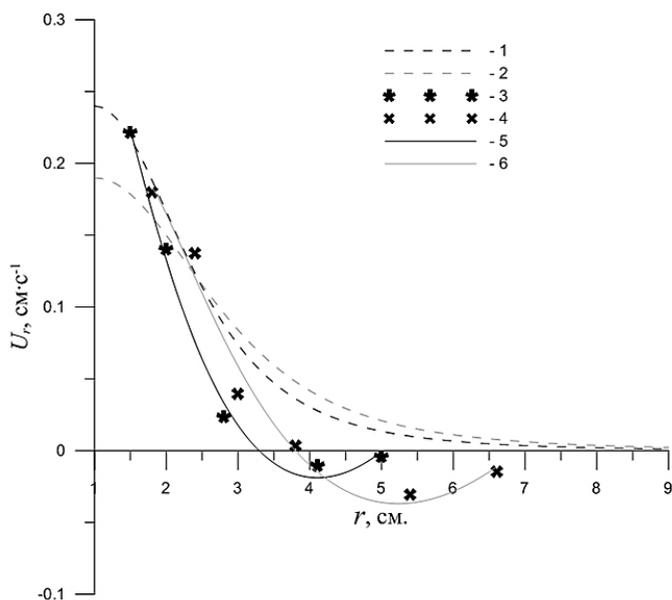
$$U_0(x) = U(0, x). \quad (5)$$

Динамика изменений продольной составляющей скорости приведена на рис. 5 для двух моментов времени  $t = 60$  с и  $t = 120$  с от начала действия источника импульса и при одной и той же его мощности, как из данных экспериментов, так и по асимптотическому приближению, описанному выше. Эволюция профилей продольной составляющей данной компоненты скорости поперек оси струи на ее переднем фронте по линии, проходящей через фокусные точки, полученная в представляемом исследовании на основе анализа отснятого видеоматериала, представлена кривыми 3 и 4 (рис. 5). Распределение продольной составляющей скорости поперек оси струи на ее переднем фронте, полученной на основании (4), представлено кривыми 1 и 2.

Вид кривых 5 и 6 был получен с помощью применения регрессионного анализа, и соответствует регрессионному уравнению:

$$U_r = U_0 \left[ a - (br^2 + c) / (1+r) + d / (1+r)^2 \right], \quad (6)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коэффициенты, полученные из регрессионного анализа;  $U_r$  – продольная составляющая скорости на расстоянии  $r$  от оси;  $U_0$  – величина скорости на оси струи на таком расстоянии от источника, где рассчитывается продольная компонента скорости  $U_r$ .



1 – по [8], 3 – экспериментальные данные,  
 5 – аппроксимация экспериментальных данных по (6) для  $t = 60$  с и  
 2 – по [8], 4 – экспериментальные данные,  
 6 – аппроксимация экспериментальных данных по (6) для  $t = 120$  с

Рис. 5. Теоретическое и экспериментальное распределение составляющей скорости  $U$  поперек струи по оси  $Y$ , проходящей через фокусные критические точки

На рис. 5 можно проследить, как меняется величина продольной скорости на переднем фронте струи не только во времени, но и при удалении от оси струи. На этом рисунке (кривые 5 и 6) показано, что при удалении от оси струи за критическим (фокусными) точками, продольная составляющая скорости на переднем фронте струи, полученная по данным экспериментов, меняет знак, переходя в отрицательную область. Этот переход осуществляется на расстоянии  $r = 3.3$  см от оси струи для момента времени  $t = 60$  с и  $r = 3.8$  см для  $t = 120$  с, поскольку с течением времени размер сферического вихря увеличивается, и как следствие, критические точки удаляются от оси струи. Из профилей продольной составляющей скорости также видно, что с увеличением времени происходит перераспределение скорости поперек оси течения в сторону увеличения значений скоростей, которое можно объяснить за счет замедления продвижения самой вихревой структуры. Распределение продольной составляющей скорости, рассчитанное по формуле (6) несколько отличается от рассчитанных скоростей в [4] с помощью приближений Шлихтинга. Как видно из рис. 5 (кривые 1 и 2), у них продольная составляющая не принимает отрицательных значений. Поведение продольной составляющей скорости по данным экспериментов (кривые 5 и 6) связано с тем, что закручивание в диполе происходит вокруг критических точек. При

удалении от оси струи продольная составляющая скорости постепенно меняет свою величину, а затем по мере прохождения критической точки и знак. Вследствие чего, за критическими точками в каждом из двух вихрей продольная компонента скорости становится направленной в сторону, противоположную общему переносу самой вихревой структуры. В результате может возникнуть ситуация, когда скорость в диполе становится больше поступательной скорости перемещения самой грибовидной структуры. В таком случае за критическими точками продольная составляющая скорости и может приобрести отрицательный знак. В лабораторных опытах продольная компонента скорости за критическими точками не сильно превосходила величину скорости переноса всей структуры, и не превышала ее более чем на 0.04 см/с. В принципе, полученное в представляемом исследовании в ходе экспериментов смещение продольной компоненты скорости в область отрицательных значений не противоречит теоретическим выводам, полученными Станевэй (Stanaway) с соавторами для вихревого ринга, которые были основаны на экспериментальных данных. Они показали в своем исследовании [20], что продольная составляющая скорости на фронте вихревого ринга за критическими точками также может менять свой знак, смешаясь в область отрицательных значений.

При сравнении профилей продольных компонент скорости, рассчитанных по (6) и по (4), можно отметить, что хоть их вид за критическими точками и отличается, но в целом тенденция на снижение ее величины от оси струи до этих точек сохраняется. Наилучшее соответствие этих профилей наблюдается на близком расстоянии от оси струйной части грибовидного течения.

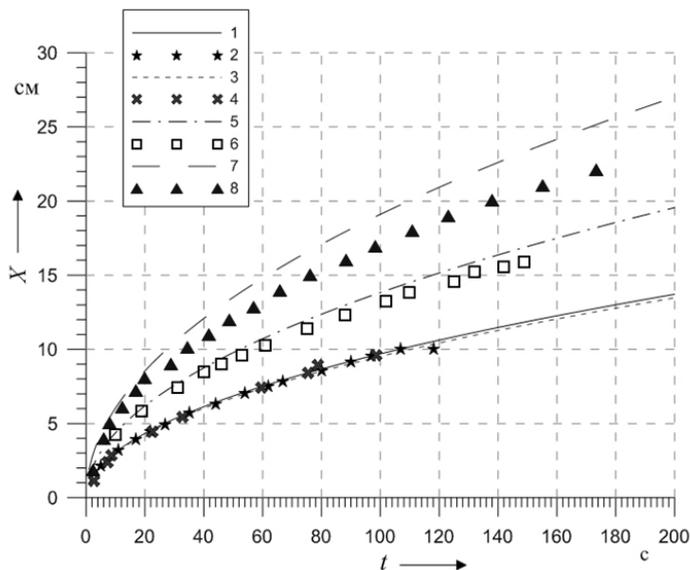
Кроме эволюции продольной составляющей скорости, полученной в ходе экспериментов, было исследовано изменение во времени пространственных размеров грибовидной структуры. Так на рис. 6 приведено изменение положение фронтальной области с течением времени для различных величин безразмерной интенсивности источника импульса  $I/\rho v^2$ . На этом рисунке получено распределение для четырех различных величин  $I/\rho v^2$ : 880, 907, 1661 и 2880.

Символами 2 и 6 показано положение фронтальной области по данным проведенных лабораторных экспериментов. Также на данном рисунке (символы 4 и 8) показано распределение положения фронтальной области, полученное из экспериментов Воропаева [5]. Кроме того, показаны результаты расчетов (символы 1, 3, 5 и 7) по зависимости, полученной Воропаевым. Им было установлено для однородной жидкости соотношение между длиной струи  $\tilde{X}$  и определяющими параметрами. Под длиной струи понимается величина, определяемая как расстояние от среза сопла до переднего фронта струи, которая, исходя из анализа размерностей, определяется в работе [5] как:

$$\tilde{X} = C_0 (It^2 / p)^{1/4} (I / \rho v^2)^{y_0}. \quad (7)$$

При обработке данных измерений использовался регрессионный анализ, с помощью которого были установлены величины  $C_0$  и  $y_0$ :  $C_0 = 0.178$ ,  $y_0 = 0.337$  (коэффициент корреляции  $r = 0.963$ ). Как видно из рисунка, при увеличении интенсивности источника импульса положение теоретической кривой со временем располагается

далее от наблюдаемых значений длины струйной части грибовидного течения. Это означает, что показатель степени временной зависимости длины струйного потока в выражении (7) должен уменьшаться.



$I/\rho v^2 = 880$ : 3 – по формуле (7), 4 – эксперимент [5],  
 $I/\rho v^2 = 907$ : 1 – по формуле (7), 2 – эксперимент,  
 $I/\rho v^2 = 1661$ : 5 – по формуле (7), 6 – эксперимент,  
 $I/\rho v^2 = 2880$ : 7 – по формуле (7), 8 – эксперимент [5]

Рис. 6. Изменение положения фронтальной области по оси струи во времени при различной интенсивности источника

### Выводы

Из проведенных лабораторных исследований можно сделать вывод, что грибовидные течения, в которых кинематическая вязкость играет значимую роль, формируются исключительно при ламинарном режиме течения.

Выявленные несоответствия в распределении продольной составляющей скорости особенно за критическими точками по данным экспериментов и по асимптотическим приближениям Воропаева [4], объясняются тем, что он основывался на выводах, сделанных Шлихтингом для осесимметричных струй. Поскольку асимптотические решения для продольной составляющей скорости Шлихтинг нашел для струй с учетом пограничного слоя [8], то эти решения не предполагали возможности учесть ситуацию, которая может возникнуть в сложной вихревой структуре. Такая ситуация может произойти за критическими точками, когда продольная компонента направлена в противоположную сторону от направления перемещения самой вихревой структуры и начинает превосходить ее по абсолютной величине. Когда же такие

скорости за критическими точками не достигаются, то и профиль продольной составляющей не заходит в область отрицательных значений. Этим и объясняется наибольшее сходство в профилях продольной составляющей скорости рассчитанных по Шлихтингу и по формуле (6) именно на небольших расстояниях от оси струи.

При анализе влияния интенсивности источника импульса на скорость развития грибовидного течения регрессионный анализ экспериментальных данных, показал, что во всех опытах зависимость длины струи от времени имеет степенной вид:  $X \sim t^\alpha$ . Для малых величин чисел Рейнольдса среднее по всем опытам значение  $\alpha$  составляет  $0.5 \pm 0.04$ , что не противоречит выводам в исследовании [5]. Однако, как видно из рис. 6, с увеличением интенсивности источника  $\alpha$  уменьшается, и зависимость стремится к виду  $t^{1/3}$ . Аналогичная зависимость от времени, аппроксимирующая экспериментальные данные, прослеживается и для размера самого сферического вихря. Рост его поперечного размера идет пропорционально  $t^{0.5}$  и хорошо согласуется с данными лабораторных опытов при малых величинах числа Рейнольдса [6].

### Литература

1. Афанасьев Я.Д., Воронаев С.И., Филиппов И.А. Лабораторное воспроизведение плоских вихревых структур в стратифицированной жидкости // Докл. АН СССР, 1988, Т. 300, № 3, с. 704-707.
2. Афанасьев Я.Д., Воронаев С.И., Филиппов И.А. Модель грибовидных течений в стратифицированной жидкости при непрерывном действии источника импульса // Изв. АН СССР, Сер. ФАО, 1989, Т. 25, № 7, с. 741-749.
3. Баренблатт Г.И., Воронаев С.И., Филиппов И.А. Модель федоровских когерентных структур в верхнем слое океана // Докл. АН СССР, 1989, Т. 307, № 3, с. 720-724.
4. Воронаев С.И. Теория автомодельного развития струи в однородной жидкости // Изв. РАН. Сер. ФАО, 1985, Т. 21, № 12, с. 1290-1294.
5. Воронаев С.И., Филиппов И.А. Развитие горизонтальной струи в однородной по плотности и стратифицированной жидкостях. Лабораторный эксперимент // Изв. РАН. Сер. ФАО, 1985, Т. 21, № 9, с. 964-972.
6. Карлин Л.Н., Данышина А.В. Экспериментальные исследования течений дипольного типа при условии твердой крышки // Ученые записки РГГМУ, 2008, № 7, с. 74-80.
7. Токарев М.П., Маркович Д.М., Бильский А.В. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для расчета мгновенных полей скорости. // Вычислительные технологии, 2007, Т. 12, № 3, с. 109-131.
8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя – М.: Наука, 1974, 712 с.
9. Afanasyev Y.D. Investigating vortical dipolar flows using particle image velocimetry: an experiment for the advanced undergraduate laboratory // Am. J. of Phys., 2002, № 70(1), P. 86-88.
10. Afanasyev Y., Korabel V. Starting vortex dipoles in a viscous fluid: Asymptotic theory, numerical simulations, and laboratory experiments // Physics of fluids, 2004, V. 16, issue 11, P. 3850-3858.
11. Aydemir E., Worth N., Dawson J. The formation of vortex rings in a strongly forced round // Exp. in Fluids, 2011, V. 51, № 3, P. 679-688.
12. Cantwell B. Viscous starting jets // J. Fluid Mech., 1986, V. 173, P. 159-189.
13. Cantwell B., Allen G. Transition and mixing in impulsively started jets and vortex rings / Proc. IUTAM Symposium on Turbulence and Chaotic Phenomena in Fluids / Ed. by T. Tatsumi – Kyoto, 1984, P. 123-132.
14. Couder Y., Basdevant C. Experimental and numerical study of vortex couples in two dimensional flows // J. Fluid Mech., 1986, V. 173, P. 225-251.
15. Fincham A., Spedding G. Low cost, high resolution DPIV for measurement of turbulent fluid flow // Experiments in Fluids., 1997, V. 23, № 6, P. 449-462.
16. Fl r J., van Heijst G. An experimental study of dipolar vortex structures in a stratified fluid // J. Fluid Mech., 1994, V. 279, P. 101-133.
17. Huld T., Nielsen A., Peseli H., Rasmussen J. Coherent structures in two-dimensional plasma turbulence // Phys. Fluids B 3, 1991, V. 3, issue 7, P.1609 (1-17).

18. *Neely T., Samson E., Bradley A., Davis M., Anderson B.* Observation of vortex dipoles in oblate Bose-Einstein condensate // *Phys. Rev. Letters*, 2010, V. 104, issue 16, P.160401 (1-4).
19. *Nguyen Duc J., Sommeria J.* Experimental characterization of steady two dimensional vortex couples // *J. Fluid Mech.*, 1988, V. 192, P.175-192.
20. *Stanaway S., Cantwell B., Spalart P.* A numerical study of viscous vortex rings using a spectral method –Florida: NASA, 1988, 169 p.
21. *Stern M., Voropaev S.* Formation of vorticity fronts in shear flow // *Phys. Fluids*, 1984, V. 27, № 4, P. 848-855.
22. *Voropaev S.* Free jet and frontogenesis in shear flow –Woods Hole: Woods Hole Oceanographic Institution, 1983, 27 p.

*М.Б. Шилин, В.Б. Погребов, М.А. Мамаева, С.В. Лукьянов, Ю.А. Леднова*

## **УЯЗВИМОСТЬ ЭКОСИСТЕМ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА К ДРЕДЖИНГУ**

*M.B. Shilin, V.B. Pogrebov, M.A. Mamaeva, S.V. Lukyanov, Ju.A. Lednova*

## **ECOLOGICAL SENSITIVITY OF THE COASTAL ZONE OF THE EASTERN GULF OF FINLAND (THE BALTIC SEA) TO DREDGING**

Материал для исследования экологической уязвимости береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу собран экспедициями Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в летний и осенний периоды 2006-2011 гг. в ходе выполнения комплексного экологического мониторинга районов строительства портовых комплексов. По результатам анализа данных о распределении основных компонентов прибрежных экосистем построены карты интегральной уязвимости береговой зоны для весеннего и летнего сезонов. По результатам проведенных исследований в качестве основных видов стрессового воздействия на экосистемы, связанных с дреджингом, выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде. Показано, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую. Показано, что к обоим видам техногенного воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом. Даны рекомендации по использованию интегральных карт экологической чувствительности для минимизации негативного воздействия на прибрежно-морскую зону.

Ключевые слова: экологическая чувствительность, прибрежно-морская зона, донные отложения, мутность, бентосные сообщества

*Ecological sensitivity of the coastal zone to dredging was studied in 2006 – 2011 in Eastern Gulf of Finland where a number of the large-scale hydro-technical projects are realized. Maps of integral sensitivity of coastal zone to dredging are constructed for Spring and Summer, with using 5 grades of sensitivity: «low», «poor», «average», «high», «extremely high». The main types of impact associated with dredging are analyzed: direct sediments movement (excavation and dumping of dredged material) and increase the number of suspended material in the water. It is shown, that the sensitivity of the Gulf of Finland to the suspended material is higher than to the actual removal and dumping of dredged material. In relation to suspended material, the most part of the Eastern Gulf of Finland can be characterized as «highly sensitive». In addition, the sensitivity of*

*the both types of anthropogenic impacts is higher in Spring than in Summer. Areas and biotic objects of extremely high sensitivity are described. Recommendations for decision makers and managers of dredging projects are formulated how to use the information about ecological sensitivity for minimizing the negative impact on the coastal zone.*

*Key words: ecological sensitivity, coastal zone, dredging, bottom sediments, turbidity, benthic communities*

### **Введение**

В первое десятилетие XX в. в береговой зоне восточной части Финского залива Балтийского моря реализовано или продолжает осуществляться несколько крупномасштабных гидротехнических проектов. Это создание комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (введен в строй в 2011 г.), строительство портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд, модернизация Большого порта и формирование Морского фасада Санкт-Петербурга. Перечисленные проекты связаны с выполнением значительных по объему дреджинговых работ, оказавших и продолжающих оказывать значительное воздействие на экосистемы береговой зоны. Для прогнозирования последствий этих воздействий целесообразно оценить экологическую уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу и составить карты пространственно-временного распределения этой интегральной характеристики береговых экосистем.

Под дреджингом понимается экскавация донного грунта с целью изъятия донных осадков из водной среды и последующего их размещения в различных местах назначения (<http://en.wikipedia.org/>). Распространению термина «дреджинг» в России способствовал международный семинар «Экологическая безопасность дреджинга в современном мире», организованный в 2009 г. в Санкт-Петербурге Центральной дреджинговой ассоциацией (Central Dredging Association - CEDA, Нидерланды), РГГМУ и Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом (СПбГПУ) при взаимодействии с Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга (<http://www.cedaconferences.org/st-petersburg2009>).

### **Материал и методы**

Материал для исследования экологической уязвимости береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу собран экспедициями Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в летний и осенний периоды 2006 – 2011 гг. в ходе выполнения комплексного экологического мониторинга районов строительства портовых комплексов в Лужской губе и проливе Бьеркезунд и морских отвалов извлеченного грунта в восточной части Финского залива, а также в 2011 г. на трассе подводного газопровода «Нордстрим». Материалом явились количественные пробы бентоса, фито- и зоопланктона, данные ловов рыбы и съемки макрофитов, а также результаты наблюдений за птицами и морскими млекопитающими [1,2,5,6,9,10].

Данные по пространственному и сезонному распределению перечисленных выше групп организмов использованы нами для оценки интегральной уязвимости

береговой зоны восточной части Финского залива к воздействию дреджинга. Для обобщения полученных данных и визуализации результатов по определению уязвимости прибрежных экосистем использована оригинальная методика картирования экологической уязвимости прибрежных акваторий и территорий к различным видам антропогенного воздействия [4,5,8].

Используемая методика основана на следующих предпосылках:

- для полноты характеристики рассматриваемых экосистем объектами рассмотрения являются все основные группы растений и животных, входящие в состав прибрежных биологических сообществ;
- относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается в виде коэффициентов исходя из накопленных знаний (см. табл. 1) и корректируется специалистами с учетом местной (региональной) специфики;
- изменения уязвимости отдельных групп организмов на протяжении года характеризуются путем построения сезонных карт распределения;
- для построения обобщающих карт используются географические информационные системы (ГИС);
- интегральная уязвимость региона определяется как результат суммирования уязвимости территории или акватории по отдельным группам растений и животных, с учетом их индивидуальной чувствительности к воздействиям, способности к восстановлению, пространственного и сезонного распределения.

Таблица 1.

Относительная уязвимость различных компонентов морских прибрежных экосистем восточной части Финского залива к основным видам антропогенных воздействий [3,4 с изменениями]

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости *				
	Геофизическая сейсмическая съемка	Увеличение количества взвеси в воде	Эксплуатация и сброс грунта	Нефтяная пленка	Диспергированная нефть
Фитопланктон	1	3	1	1	2
Зоопланктон	2	4	1	2	3
Макроводоросли	1	5	5	2	3
Сосудистые растения	1	1	2	3	2
Донные беспозвоночные	1	3	5	2	3
Рыбы (икра, мальки)	5	5	4	4	5
Рыбы (взрослые особи)	4	4	3	2	3
Птицы	2	3	2	5	2
Ластоногие	3	2	1	5	3

\* *Примечание.* «1» - наименьшая чувствительность, «5» - наибольшая чувствительность.

В соответствии с предложенной методикой под экологической уязвимостью организмов к антропогенному воздействию понимается совокупность биологических особенностей отдельных видов или групп растений и животных, являющихся компонентами морских и прибрежных экосистем. Она определяется:

- чувствительностью отдельных групп растений и животных к конкретным видам антропогенного воздействия;
- способностью восстанавливать исходное обилие и структуру популяций, а также всю совокупность внутрисистемных связей после осуществления воздействия (группы организмов, более подверженные воздействиям, но и быстро восстанавливающиеся - например, планктон - имеют в методике более низкие коэффициенты относительной уязвимости, чем медленнее восстанавливающиеся группы организмов - рыбы, птицы и млекопитающие).

Потенциальная экологическая уязвимость акватории к антропогенному воздействию определяется не только различной экологической уязвимостью организмов к рассматриваемым видам воздействия, но и пребыванием на ней видов или групп растений и животных в том или ином количестве (или их отсутствием). Количественная оценка потенциальной экологической уязвимости акватории будет изменяться во времени и пространстве в соответствии с естественной динамикой состава, обилия и структуры биологических сообществ акватории.

По результатам анализа данных о распределении основных компонентов прибрежных экосистем строили карты интегральной уязвимости береговой зоны для весеннего и летнего сезонов (время проведения дреджинговых работ). При построении карт использовали пять градаций потенциальной экологической уязвимости (1 - незначительная; 2 - низкая; 3 - средняя; 4 - высокая; 5 - очень высокая). Основная задача такого картирования - наглядно продемонстрировать уязвимость природной среды к ожидаемым антропогенным нагрузкам.

Незначительная уязвимость соответствует состоянию экосистемы, при котором она может сохранять структурную и экологическую целостность под воздействием стрессовых факторов.

Низкая и средняя уязвимости характеризуют длительность проявления эффектов от стрессового воздействия и соответственно меньший или больший периоды восстановления экосистемы.

Высокая уязвимость соответствует такому состоянию экосистемы, при котором эффекты от стрессового воздействия очень значительны и могут продолжаться длительное время. При этом происходит обеднение и деградация экосистемы в целом.

Очень высокая уязвимость показывает неспособность экосистемы сохранять свою целостность, указывает на возможность невосполнимого удаления одного или нескольких компонентов системы, а также невозможность возвращения в исходное состояние.

Адекватность и современность информации, представленной на картах-схемах, достигнута сочетанием анализа специальной литературы, использованной при их построении [2,5,7,8] и корректировкой данных за счет использования собственных наблюдений. Представленные на картах-схемах данные можно считать среднесрочными за период 2007-2011 гг.

## Воздействие дреджинга на различные компоненты биоты: аналитический обзор

Воздействия дреджинга на морские прибрежные экосистемы сводятся:

- 1) к изъятию донных осадков со дна;
- 2) их сбросу на дно;
- 3) загрязнению водной толщи взвесью;
- 4) загрязнению воды и донных осадков содержащимися во взвеси веществами.

При планировании деятельности, связанной с подъемом грунта на поверхность и его захоронением на дне, эти группы воздействий для различных компонентов береговых экосистем следует рассматривать отдельно. Однако в конечном итоге необходимыми всегда оказываются (1) анализ воздействия дреджинга на важнейшие компоненты береговых экосистем и (2) составление интегральных карт уязвимости берегов и прибрежных вод к ожидаемым воздействиям. В нашей работе в качестве основных компонентов прибрежных экосистем рассматриваются: фито- и зоопланктон, водоросли, высшая водная, околородная и прибрежная растительность, донные беспозвоночные (зообентос), рыбы (икра, мальки и взрослые особи), птицы и водные млекопитающие. Все названные группы организмов реагируют на воздействие дреджинга в зависимости от условий его проведения. Определяющую роль будут иметь: способ изъятия и сброса грунта, частота сбросов и их объем, гидрологический режим в районе дреджинга, характеристики сбрасываемого грунта (гранулометрический состав, происхождение, уровень загрязненности), сезон, когда производятся работы. Воздействие дреджинга на названные группы флоры и фауны может быть кратко суммировано следующим образом (эффекты загрязнения грунтов не рассматриваются).

**Фитопланктон.** Повышение концентрации взвеси в воде приводит к уменьшению ее прозрачности и снижению уровня фотосинтеза. Вымывание из взвеси органических и минеральных веществ меняет химический состав воды, что также влияет на фитопланктон. Воздействуя механически, взвеси разбивают колониальные водоросли, засыпают придонные виды. Возможно выпадение из состава планктонного сообщества мелких форм, которые будут оседать на дно из-за налипания на оболочки их клеток тонкодисперсных частиц.

С ростом мутности снижается количество солнечной радиации, проникающей в толщу воды. Синезеленые водоросли наименее требовательны к свету и при низкой интенсивности света растут лучше, чем зеленые. Поэтому для развития зеленых водорослей ухудшение световых условий является лимитирующим фактором, а для синезеленых это несущественно. Таким образом, увеличение мутности в первую очередь негативно скажется на развитии «кормового» фитопланктона (зеленые и диатомовые водоросли). Нередко в зоне повышенной мутности на место доминировавших видов мелких планктонных синезеленых, полностью или почти полностью исчезающих, приходят бентосные, более крупноразмерные виды [3]. В результате общая продукция сообщества остается на фоновом уровне, а удельная фотосинтетическая активность продуцирования снижается.

С удалением от эпицентра дреджинга воздействие на фитопланктон меняется. Летальный эффект возникает на участках, расположенных вплотную к зоне работ.

Ингибирующее действие прослеживается на участках, относительно удаленных от проведения операций. Затем может проявиться стимулирующее действие. Оно наблюдается в зоне значительно ослабленного воздействия повышенных концентраций взвеси, однако достаточного, чтобы смог проявиться положительный эффект от органики, поступающей с грунтом. Фитопланктон дает резкую вспышку вегетации за счет биогенных элементов, находящихся в грунтах («эффект удобрения»). Увеличиваются все показатели обилия фитопланктона (численность, биомасса, продукция).

По окончании dredging работ численность фитопланктона восстанавливается; иногда его количество даже увеличивается.

Зоопланктон. Реакция организмов зоопланктона на dredging зависит от особенностей их биологии – продолжительности жизненного цикла, плодовитости, периода размножения, скорости роста, способа питания и т.д. Наиболее неблагоприятно воздействие высоких концентраций взвеси в воде на ракообразных, у которых засоряется жаберный аппарат. Фильтрующие гидробионты гибнут из-за потери плавучести от поглощения большого объема минеральных частиц. Часто это ведет к полному исчезновению зоопланктона в районах осуществления dredging. Иногда у оседающих частиц появляются коагулирующие свойства, особенно в присутствии гидрата окиси железа и некоторых органических веществ. Образующиеся при этом хлопья прилипают к мелким организмам (коловраткам, ветвистоусым рачкам) и осаждают их на дно.

Очень чувствительны к содержанию взвеси в воде личинки донных ракообразных, полихет и двустворчатых моллюсков. Темпы их роста и выживаемость в районе dredging заметно снижаются.

В условиях Финского залива в зоне повышенной мутности снижение числа видов зоопланктона происходит до 50 % от исходного, захватывая все таксономические группы [3]. Наиболее чувствительными к повышенной мутности оказываются коловратки и ветвистоусые рачки (организмы-фильтраторы). Наиболее устойчивыми к dredging оказались циклопы (по способу питания – «хвататели»).

В зоне dredging, на участках с максимальными концентрациями грунтовой взвеси обилие зоопланктона по сравнению с фоновыми показателями снижается в 3-5 раз, а сразу после сброса отмечается практически 100 %-ная гибель зоопланктона. Принято считать, что при повышении мутности относительно фоновой на 10-50 мг·л<sup>-1</sup> гибель планктонных организмов составит 25 %; на 50-100 мг·л<sup>-1</sup> – 50 %; более чем на 100 мг·л<sup>-1</sup> – 100 % [3]. Однако за счет горизонтального перемещения водных масс планктонное сообщество быстро восстанавливается. Более того, во время сброса грунта в донные отвалы близ места его проведения могут наблюдаться более высокие значения показателей численности и биомассы зоопланктона по сравнению с соседними участками. Эффект объясняется, по-видимому, тем, что на участке сброса грунта, как указано выше, наблюдается вспышка развития фитопланктона, и происходит активная миграция зоопланктона к источнику пищи.

Макроводоросли и высшие водные (сосудистые) растения. Dredging в акватории Финского залива считается специалистами одним из наиболее опасных видов воздействия для макроводорослей [1,2,10]. Погруженные высшие водные растения также высоко чувствительны к долговременному воздействию повышенной мутности. Многие растения гибнут в результате такого воздействия. Те же, которые оста-

ются живыми после проведения гидротехнических работ, в следующий сезон не дают побегов. Это объясняется тем, что взвесь, оседающая на их листьях, препятствует фотосинтезу, и корневая система растений уходит на зимовку без накопления питательных веществ, необходимых для вегетации в следующем сезоне. В акваториях, прилегающих к местам проведения дреджинга, может происходить замывание и заиливание твердых субстратов, пригодных для поселения водорослей. Это особенно опасно для микроскопических стадий в их жизненном цикле (зооспоры, гаметы, зиготы), поскольку они не могут прикрепиться к твердым субстратам.

Донные беспозвоночные испытывают наиболее неблагоприятное воздействие дреджинга: в зоне производства работ происходит прямая гибель донной фауны [1, 7]. Во многих случаях бентосные сообщества в местах дреджинга бывают уничтожены полностью. Заваливание грунтом для крупных беспозвоночных (например, десятиногих ракообразных) менее губительно, чем для мелких животных (например, гаммарид). При осадении извлеченного грунта на дно основными видами воздействия на бентосных беспозвоночных являются: механическое засыпание их грунтом, изменение состава донных отложений, химического состава придонных и интерстициальных вод, содержание растворенных газов в воде, химическое загрязнение (в случае сброса загрязненного грунта), увеличение количества взвешенного органического и неорганического вещества. При значительных объемах сбрасываемого грунта, вследствие механического воздействия и удушья, в первую очередь гибнут мелкие организмы инфауны, прикрепленные и малоподвижные организмы эпифауны. Способность вертикальной миграции подвижных животных сквозь толщу сброшенного грунта зависит от толщины осадка и соответствия состава сброшенного грунта исходному состоянию грунта в районе. Среди моллюсков наиболее чувствительны к засыпанию представители эпифауны, которые, как правило, не выносят захоронения на глубину более 1 см. Двустворчатые моллюски, не имеющие сифонов, способны преодолеть слой осадка, близкого к исходному грунту, толщиной до 10 см. Виды, имеющие сифоны и развитую ногу, успешно выбираются с глубины 50 см. Среди полихет погребение на глубину 20-30 см переживают крупные виды с хорошо развитой глоткой и пароподиями (некоторые способны преодолевать толщу грунта до 90 см). Для малоподвижных и мелких форм бентоса губителен слой осадка в 0,5 см [10].

Повышенное содержание взвеси в воде оказывает пагубное воздействие на донных ракообразных, в частности, бокоплавов и десятиногих раков, засоряя их жаберный аппарат. Часто это ведет к практически полному исчезновению ракообразных в районах осуществления дреджинговых операций. Фильтрующие гидробионты могут погибнуть от поглощения большого объема минеральной взвеси. Очень чувствительна к содержанию взвеси в придонных слоях воды молодь двустворчатых моллюсков.

Дреджинг при значительном фоновом загрязнении среды приводит к существенным сдвигам в донной фауне. Кроме того, происходит снижение разнообразия бентоса, связанное с заиливанием грунта. Восстановление исходной фауны не происходит, по крайней мере, в течение 4 лет после окончания работ.

В целом структура бентосных сообществ претерпевает следующие изменения. Элиминируются ракообразные, сокращается число видов и обилие моллюсков, в массе могут развиваться лишь некоторые виды червей (в исследованном районе — олигохе-

ты и *Marenzelleria spp.*). Усиливается степень доминирования ограниченного числа видов. Обычно это виды-оппортунисты, первыми развивающиеся в загрязненном месте и чутко реагирующие на органическое загрязнение. Общая численность и биомасса бентоса, как правило, существенно снижаются, в основном за счет сокращения обилия ракообразных и моллюсков. В условиях Финского залива в районах дреджинга прежде всего погибают ракообразные и моллюски, затем – хирономиды [10]. На участках дна с максимальными показателями концентрации взвеси (в частности, в центрах зон отвалов) выживают только олигохеты. Обилие олигохет может даже возрастать, так как они утилизируют органику, привносимую со сбрасываемыми грунтами. Биомасса олигохет в центре зоны отвала может быть выше исходной на 1-2 порядка величины, однако эти черви имеют гораздо меньшую пищевую ценность для рыб, чем хирономиды. В связи с тем что погибают наиболее крупные, но малочисленные организмы, в зонах с высокой мутностью численность зообентоса может лишь незначительно отличаться от фоновой, но биомасса снижается от 5 до 15 раз [3,9,10].

Количественная оценка экологических последствий дреджинга при его крупномасштабном проведении в ходе намыва новых территорий Санкт-Петербурга и свалке грунта в Невской губе и восточной части Финского залива показала, что состояние донных сообществ по окончании грунтовых работ соответствует оценкам от «посредственного» до «катастрофического» [1,2].

**Рыбы.** Связанное с дреджингом повышение содержания взвеси в придонных слоях воды оказывает пагубное воздействие на рыб, засоряя их жаберный аппарат. Воздействие проявляется также в снижении скорости роста рыб, эффективности их нереста, отклонениях в развитии икры и личинок. Из-за высокой мутности воды создаются помехи для естественных перемещений и миграций, уменьшается доступность пищи, ухудшается кормовая база. Исследования на водоемах северо-запада России (включая Финский залив) показали, что в местах работы земснарядов рыбы в 2-4 раза меньше, чем на контрольных участках [4,5]. Наиболее отрицательно воздействие сказывается на молоди рыб, часто приводя к ее гибели.

**Птицы.** Анализ сезонного распределения и типов активности птиц в восточной части Финского залива показывает, что для орнитофауны возникает два типа угроз. Во-первых, это возможное негативное влияние на местные популяции, а во-вторых – на мигрирующие в весенне-осенний период арктические виды, использующие острова и побережье залива как район отдыха и нагула.

Возможное влияние дреджинга на популяции гнездящихся морских птиц:

- эрозия берега в местах размножения водных и околоводных птиц, связанная с забором мягких грунтов в районе мелководий, и сокращение участков, пригодных для гнездования;
- прямые нарушения кормовых биотопов нырковых птиц и сборщиков-зондировщиков (обеднение макрофауны песчано-грязевых мелководий);
- косвенные нарушения кормовых биотопов нырковых и рыбадных птиц вследствие сокращения кормовой базы (см. выше) - в итоге район покидают бентосоядные нырковые и рыбадные птицы из группы резидентов.

Возможное влияние дреджинга на стоянки мигрирующих птиц:

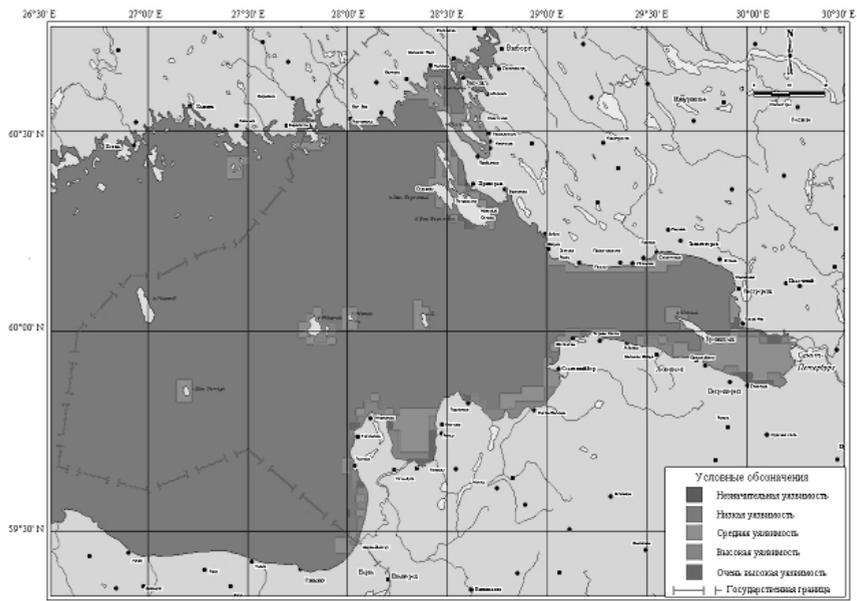
- беспокойство кормящихся и отдыхающих стай во время производства работ, в особенности вблизи архипелагов и банок (скопления птиц формируются на протяжении десятков часов, тогда как для их рассеивания достаточно одной-двух минут; при этом птицы обычно назад не возвращаются, а перемещаются по миграционному маршруту далее, что может влиять на последующую эффективность их кормежки, общее физическое состояние и устойчивость к стрессовым воздействиям);
- долговременные нарушения биоценозов дна и соответственно привычных мест кормежки;
- взмучивание и эвтрофикация воды, вызывающие долговременные перестройки водных сообществ и снижение уровня их продуцирования — в итоге из района исчезают рыбацкие птицы (большой баклан *Phalacrocorax carbo*, клуша *Larus fuscus*, все виды крачек *Sterna sp.*).

Морские млекопитающие в восточной части Финского залива представлены двумя видами тюленей — серым тюленем (*Halichoerus grypus*) и балтийским подвидом кольчатой нерпы (*Phoca hispida botnica*), которые встречаются здесь только в зимнее и весеннее время, а в период проведения дреджинговых работ (лето — осень) мигрируют к западу от о. Гогланд [6].

При построении карт интегральной экологической уязвимости использовали коэффициенты из табл. 1. Выбранные значения коэффициентов прямо пропорциональны чувствительности компонента к воздействию и обратно пропорциональны времени его восстановления после прекращения воздействия. Так, например, планктон в пятне мутности, вызванном дреджингом, может полностью погибнуть, но он быстро восстановится за счет подтока особей из других частей акватории. С другой стороны, донная фауна, изъятая с морского дна вместе со слоем донных отложений, или засыпанная грунтом при его сбросе в отвал будет восстанавливаться несколько лет. Значения весовых коэффициентов, кроме названных причин, обуславливаются также особенностями прямых и непрямых воздействий дреджинговых операций на элемент биоты. В частности, значения коэффициента, соответствующие единице, показывают относительную толерантность того или иного элемента биоты к рассматриваемому виду воздействия (морские млекопитающие). Значения «2» и «3» в большей степени показывают влияние непрямых эффектов (сокращение кормовой базы), а также возможность рассматриваемого элемента биоты избегать негативного воздействия (птицы). Значения «4» и «5» можно отнести к прямому воздействию (засорение взвесью жаберного аппарата рыб, особенно — малоподвижных мальков и молоди). Оценка «5» показывает, что негативное влияние оказывается критическим, приводит к гибели рассматриваемого элемента биоты и требует длительного периода его восстановления (например, водоросли и макрофиты в мутной воде слабо продуцируют, а будучи изъятые с грунта или им засыпаны — восстанавливаются крайне медленно).

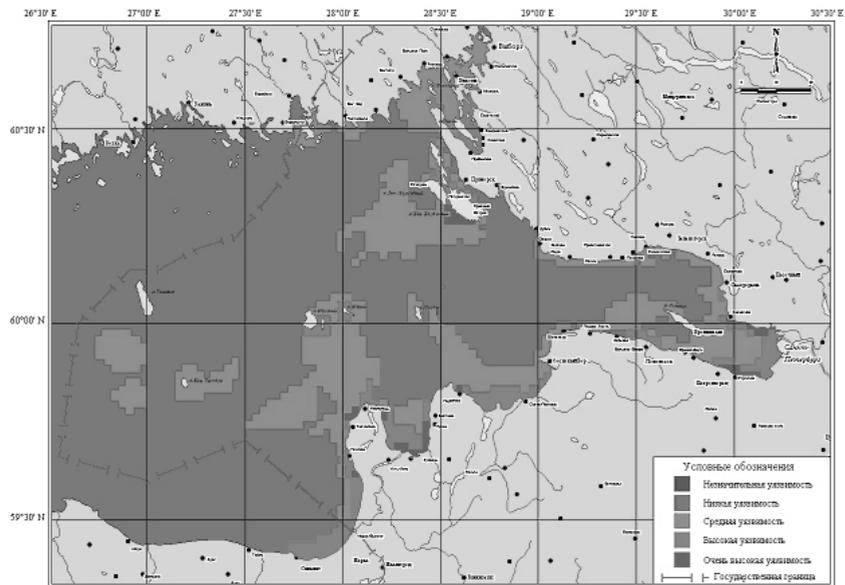
## Результаты

Результатами картирования являются четыре карты потенциальной уязвимости восточной части Финского залива к подвижкам грунта (рис. 1, 2) и повышению уровня взвешенных веществ в воде (рис. 3, 4).



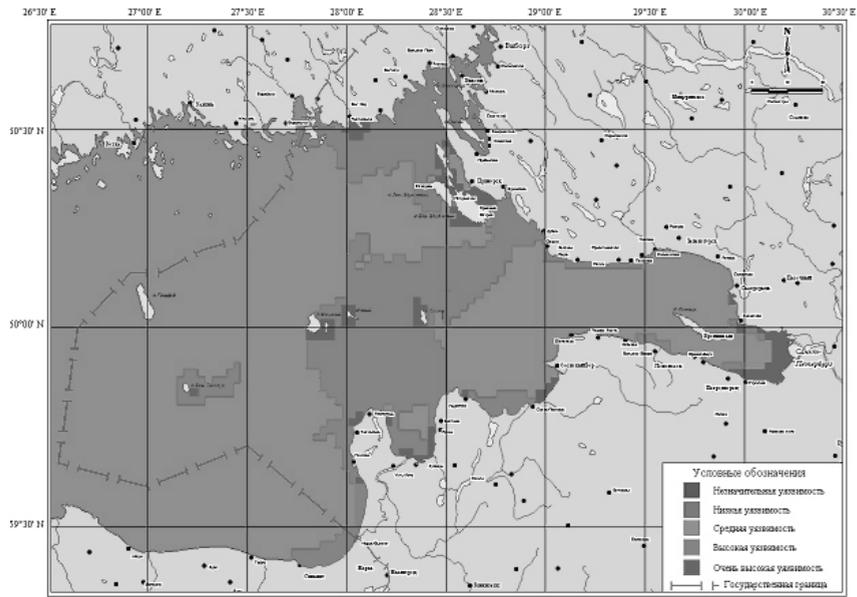
**Лето**

Рис. 1. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к извлечению и сбросу грунта в летний период.



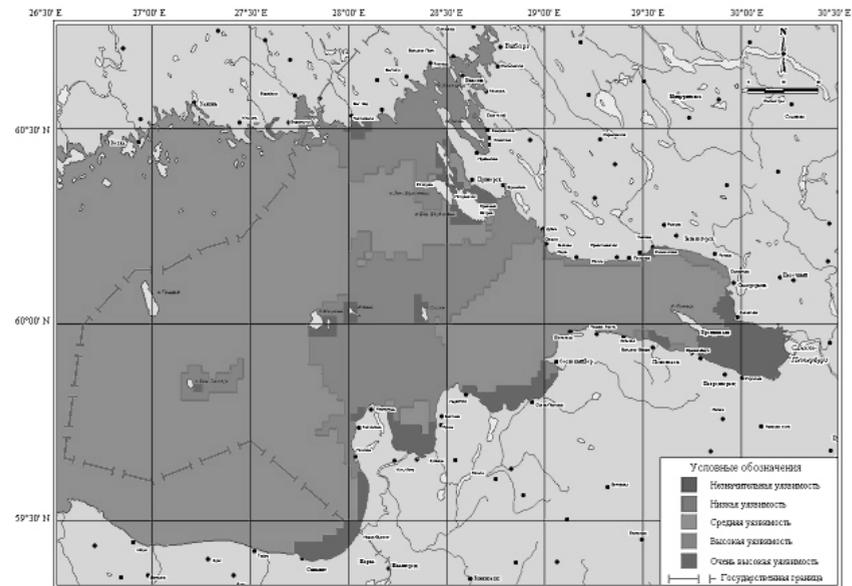
**Весна**

Рис. 2. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к извлечению и сбросу грунта в весенний период.



Лето

Рис. 3. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к повышению концентрации минеральной взвеси в летний период.



Весна

Рис. 4. Потенциальная уязвимость восточной части Финского залива к повышению концентрации минеральной взвеси в весенний период.

По результатам проведенных исследований в качестве основных видов воздействия, связанных с дреджингом, выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде. По степени уязвимости к изъятию грунта и его сбросу рассмотренные компоненты прибрежных экосистем располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, донные беспозвоночные > рыбы (икра, мальки) > рыбы (взрослые особи) > прибрежные сосудистые растения, птицы > планктон, водные млекопитающие. По степени чувствительности к увеличению количества взвеси в воде группы организмов располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, икра и мальки рыб > зоопланктон, взрослые рыбы > фитопланктон, донные беспозвоночные, птицы > морские млекопитающие > прибрежные сосудистые растения.

Общий анализ построенных карт-схем показал, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. Кроме того, к обоим видам техногенного воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом. В весенний период, относительно летнего, на картах расширились зоны очень высокой и высокой уязвимости. На эти зоны приходится побережья, акватории бухт у входов в нерестовые реки, места скопления производителей перед заходом в реки и концентраций молоди рыб после ската из нерестовых рек в море.

Уязвимость восточной части Финского залива к подвижкам грунта при проведении дреджинговых работ варьирует от низкой до очень высокой. Наиболее уязвимы участки северного побережья Невской губы от поселка Лисий Нос до Лахтинского разлива, южного побережья Невской губы в районе Петродворца – Стрельны, южной части острова Большой Березовый, мелководья между островами Мощный и Малый, в юго-восточной части Лужской губы. Такое распределение уровней уязвимости обусловлено концентрацией водных и околородных организмов на указанных участках и особенностями их реакции на воздействие рассматриваемого стресс-фактора.

Общий уровень уязвимости к подвижкам грунта - ниже среднего. Участки наиболее высокой чувствительности обусловлены суммарной уязвимостью одновременно нескольких биотических компонентов (водорослей, донных беспозвоночных, мальков рыб). Высокая уязвимость прибрежных участков акваторий Невской и Лужской губ обусловлена нерестовым периодом у таких видов рыб, как корюшка (*Osmerus eperlanus*), окунь (*Perca fluviatilis*), сиг (*Coregonus lavaretus*), плотва (*Rutilus rutilus*), районы нереста (или нерестовых миграций) которых приходится на эти прибрежные участки.

По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую. Общий уровень уязвимости – средний и выше среднего. Разница между весенним и летним распределениями потенциальной уязвимости к повышенному содержанию взвеси достигается за счет сокращения нерестовых площадей рыб от весны (когда уязвимость выше) к лету.

### Обсуждение

Использованная система картирования имеет своей целью наглядно демонстрировать уязвимость природной среды к антропогенным нагрузкам. С точки

зрения пользователя подобных карт она достаточно проста, доступна для интерпретации результатов и способствует эффективному принятию экологически обоснованных решений.

Основным недостатком подхода видится «ориентировочность», или «приблизительность», весовых коэффициентов применительно к эффектам от дреджинговых операций: значения коэффициентов не учитывают количественные значения концентрации взвеси в воде. Между тем в зависимости от того, насколько концентрация взвеси будет превышать ее фоновое содержание, можно ожидать различных по своему действию эффектов. Так, например, небольшое превышение количества взвеси и поступление с ней питательных веществ может привести не к угнетению фитопланктона, а, наоборот, к его интенсивному развитию.

Ограничения на применение предложенной методики:

- результат оценки уязвимости не учитывает вероятность возникновения аварийных ситуаций;
- разработанный подход ориентирован на конкретные виды воздействия;
- результат оценки не учитывает экономические эффекты, потери и ущербы.

В последнее время в рамках проекта BRISK (Sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea), инициированного HELCOM (<http://www.brisk.helcom.fi/>), обсуждается методика построения карт уязвимости для Балтийского моря, в которой участвуют авторы настоящей статьи. Договориться о едином методологическом подходе к картированию уязвимости специалистам из разных стран, скорее всего, удастся. В настоящее время во многих странах он сходен и в наиболее прогрессивных вариантах состоит в картировании распределения экологически наиболее важных объектов по сезонам и суммировании построенных карт в ГИС. Более трудным окажется достижение консенсуса относительно ранжирования объектов, используемых для картирования, по приоритетности. Вопрос о коэффициентах, которые будут присвоены отдельным объектам в процессе создания интегральных карт уязвимости, потребует специального обсуждения (и едва ли не голосования). Нет сомнений, однако, что в конечном итоге специалисты найдут способ прийти к консенсусу.

### **Заключение и выводы**

По результатам проведенных исследований, связанных с дреджингом, в качестве основных видов стрессового воздействия на экосистемы выделены (1) прямые подвижки грунта (экскавация и сброс в отвалы) и (2) увеличение количества взвеси в воде.

По степени уязвимости к изъятию грунта и его сбросу рассмотренные компоненты прибрежных экосистем располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, донные беспозвоночные > рыбы (икра, мальки) > рыбы (взрослые особи) > прибрежные сосудистые растения, птицы > планктон, водные млекопитающие. По степени чувствительности к увеличению количества взвеси в воде группы организмов располагаются в порядке убывания в последовательности: макроводоросли, икра и мальки рыб > зоопланктон, взрослые рыбы > фитопланктон, донные беспозвоночные, птицы > морские млекопитающие > прибрежные сосудистые растения.

Общий анализ построенных карт-схем показал, что уязвимость восточной части Финского залива к взвеси более высока, чем собственно к изъятию грунта и его сбросу в отвалы. Кроме того, к обоим видам воздействия чувствительность акватории весной выше, чем летом.

По отношению к взвеси большую часть акватории восточной части Финского залива можно охарактеризовать как высоко уязвимую.

Наиболее неблагоприятное воздействие от подвижек грунта испытывают донные беспозвоночные: в зоне производства работ происходит прямая гибель донной фауны.

В зонах подводных отвалов грунта структура бентосных сообществ претерпевает следующие изменения. Элиминируются ракообразные, сокращается число видов и обилие моллюсков, в массе могут развиваться лишь некоторые виды червей (в исследованном районе — олигохеты и *Marenzelleria spp.*). Усиливается степень доминирования ограниченного числа видов-оппортунистов. Общая численность и биомасса бентоса, как правило, существенно снижаются, в основном за счет сокращения обилия ракообразных и моллюсков. В условиях Финского залива в районах дреджинга прежде всего погибают ракообразные и моллюски, затем — хирономиды.

### Рекомендации

При проведении дреджинговых работ особое внимание следует обратить на нарушение условий нерестовых миграций рыб из-за повышения содержания взвеси в воде. При анализе ущерба рыбным запасам нарушение нерестового хода причиняет самый большой по величине ущерб. В данной работе предложено учесть в качестве особо уязвимых районов не только места размещения нерестилищ, но и зоны подхода рыб к нерестовым рекам, а также районы концентрации молоди.

Сроки проведения дреджинга не должны совпадать со временем нереста рыб и нагула молоди. Если проводить все гидротехнические работы с учетом времени запрета, включающего периоды весеннего и осеннего нереста и соответствующих миграций, можно избежать влияния повышенной мутности и перемещения грунта на рыб.

### Литература

1. Волнина О.В. Оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта в восточной части Финского залива. / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 172-186.
2. Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов, М.А., Шилин М.Б. Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и в восточной части Финского залива // Инженерные изыскания, 2010, № 5, с. 36-42.
3. Лаврентьева Г.М., Суслопарова О.Н., Богданов Д.В., Волхонская Н.И., Лебедева О.В., Максимова О.Б., Мицкевич О.И., Огородникова В.А., Терешенкова Т.В., Яковлев А.С. Десятилетние итоги рыбохозяйственного мониторинга, выполнявшегося в Невской губе и сопредельных акваториях Финского залива с целью оценки воздействия гидротехнических работ на гидробионтов // 6-я международная конференция и выставка AQUATERRA. — СПб., 2003, с. 113-116.
4. Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования. Т. 2 / СПб.: Изд. РГГМУ, 2010, с. 43-80.
5. Погребов В.Б., Саитов Р.А., Дмитриев Н.В. Природоохранный атлас Российской части Финского залива. — СПб.: Тускарора, 2006. — 60 с.
6. Шилин М.Б. На Балтику за тюленями // Катера и яхты, 2011, № 3 (231), с. 118-121.

7. *Pogrebov V.B.* Environmental Impact Assessment (EIA) of the iron-manganese nodules extraction from the seabed of the Gulf of Finland on its biological resources // Eco-friendly Dredging in the Modern World. International Seminar on Sustainable Dredging and Marine Construction. St. Petersburg, 2009. On-line: [http://www.cedaconferences.org/documents/dredgingconference/html\\_page/12/p-4.2-pogrebov.pdf](http://www.cedaconferences.org/documents/dredgingconference/html_page/12/p-4.2-pogrebov.pdf)
8. *Shilin M.B.* Ecological vulnerability of ecosystems of the strait Bjarkezung // Russ. And EU experience in the field of Integrated Coastal Zone Management / St. Petersburg – Primorsk, 2005 (The Russian Universities Publishing and Polygraphic . ass.): p. 63-66.
9. *Shilin M.B., Averkiev A.S., Mamaeva M.A., Volnina O.V., Laboyrie P., Csiti A.* Studying and teaching environmental aspects of dredging // 50 years of Education and Awareness Raising for Shaping the Future of the Oceans and Coasts / SPb, 2010, p. 122-124.
10. *Shilin M., Lukjanov S., Zhakova L., Mamaeva M., Lednova J.* Assessing the status and trends of the coastal ecosystems in the dredging material deposit areas // 8th Baltic sea Science Congress / SPb, 2011, p. 221.

*А.С. Боев, Ф.А. Дмитриев*

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ О. ВАЛААМ  
НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

*A.S. Boev, F.A. Dmitriev*

**SOILS AND PLANTS CONTAMINATION ASSESSMENT FROM HEAVY METAL  
AND PETROLEUM PRODUCTS POLLUTION IN VALLAM ISLAND**

*Представлены данные о содержании нефтепродуктов и тяжелых металлов в образцах почвы и растений, отобранных на о. Валаам в летний период 2010 г. Для определения использовались флуориметрический и вольтамперометрический методы анализа. Рассмотрены некоторые закономерности поглощения растениями нефтепродуктов и тяжелых металлов из почвенного покрова. Высказано предположение об опасности для экосистем острова локальных источников загрязнения (автотранспорт и монастырская свалка мусора).*

*Ключевые слова: нефтепродукты, тяжелые металлы, Валаамский архипелаг, почвенный покров, растительность.*

*The data on the content of petroleum products and heavy metals in soil and plant samples selected on Valaam island in summer 2010 are presented. To perform these data fluorimetric and voltammetric analysis methods have been used. Some characteristics of absorption of petroleum products and heavy metals from soil by plants have been considered. The assumption about threat of local source of pollution (motor transport and the monastery landfills) is made.*

*Key words: petroleum products, heavy metals, Valaam archipelago, soils, plants.*

**Введение**

Как единственный в своем роде памятник природы, о. Валаам с давних пор вызывает интерес специалистов самых различных областей и направлений [8]. Его своеобразие и неповторимость проявляются буквально во всем – от геологической истории до многообразия растительного и животного мира. Весьма значимой частью экосистемы Валаама являются почвы – важнейшее звено биологического и геохимического циклов, звено чрезвычайно емкое и инерционное, дающее немалый вклад в устойчивость биогеоценозов. В случае антропогенного загрязнения почва служит фильтром на пути различных загрязняющих веществ, обезвреживая или резко ограничивая их подвижность. Но в этом отношении защитная способность почвы не беспредельна. Особенно для почв Валаама – их маломощность порождает уязвимость к нарушениям. Поэтому необходимо знать, как значительно их загрязнение – ведь в настоящее время помимо воздействия региональных источников загрязнения (транспорт и промышленность Карелии), экосистемы о. Валаам несомненно подвергаются воздействию местных источников, а также испытывают рекреационную нагрузку, связанную с туризмом и православным паломничеством.

## Материалы и методы

Для оценки воздействия местных источников загрязнения было назначено шестнадцать точек. Часть из них расположена в местах, в наибольшей степени подверженных загрязнению (основные источники загрязнения на о. Валаам: главная монастырская дорога, монастырская свалка мусора, поселок), вторая группа точек – в местах, менее подверженных загрязнению (расположенных на удалении до 400 м либо у менее опасных источников), третья группа – на наибольшем удалении от мест, подверженных загрязнению (схема расположения точек отбора проб представлена на рис. 1). Пробы почвы отбирались методом конверта не глубже 10 см, предпочтительно из гумусо-аккумулятивного горизонта. Каждому почвенному разрезу давалось описание, определялся тип почвы (табл. 1).

Таблица 1

Описание точек отбора проб

Номер точки отбора	Расположение точки отбора	Тип почвы
1	Мониторинговый участок научно-учебной станции РГГМУ №1	Ржавозем
2	Мониторинговый участок научно-учебной станции РГГМУ №2	Дерновая литогенная
3	Берег озера Лешевого	Бурозем оторфованный
4	Берег озера Крестового	Аллювиальная опесчаненная
5	Берег озера Антониевского	Бурозем
6	50 м на северо-восток от поселка	Бурозем
7	50 м на юг от пристани в Никоновской бухте	Бурая лесная оподзоленная
8	От монастырской свалки мусора 75 м на юго-запад	Сильноподзолистая двучленная
9	Протока 50 м от монастырской свалки мусора	-
10	Монастырская свалка мусора	-
11	Пристань в Монастырской бухте	Дерновая литогенная
12	Лиственничная аллея у поселка	Дерновая неполноразвитая
13	Старая пожарная часть	Урбанозем
14	50 м к югу от склада ГСМ	Дерновая неполноразвитая
15	Монастырская автобаза (действующая)	Урбанозем
16	Перекресток главной монастырской и военной дорог	Дерновая неполноразвитая

Для оценки содержания загрязняющих веществ в растениях отбиралась смешанная проба, составленная из 3-15 индивидуальных проб. На анализ отбирались следующие виды растений: звездчатка ланцетолистная, вейник тростниковый, полынь белая, три вида марьянника – лесной, луговой, дубравный.



пряжения. Графическое изображение этой зависимости называют вольтамперограммой. Анализ вольтамперограммы даёт информацию о качественном и количественном составе анализируемого раствора. Для регистрации вольтамперограмм нужна электролитическая ячейка, состоящая из индикаторного электрода (иногда его называют рабочим электродом) и электрода сравнения.

При определении содержания гумуса использовался метод И.В. Тюрина, основанный на окислении гумуса 0,4N сернокислотным раствором бихромата калия. Для обеспечения полноты окисления к навеске почвы приливают заведомый избыток бихромата. Оставшийся после окисления бихромат оттитровывают солью Мора. По разности между объемом соли Мора, пошедшим на титрование хромовой смеси в холостой смеси (без почвы) и в опыте с почвой, находят количество соли Мора, предположительно эквивалентное содержанию гумуса во взятой навеске. Окисление происходит в сильноокислительной среде и сопровождается восстановлением шестивалентного хрома в трехвалентный.

### Анализ полученных данных

Было обнаружено, что в точках отбора, принимаемых за наименее загрязненные (№1, 2, 4, 5), содержание нефтепродуктов в почве составляет 10-50 мг/кг, в предположительно наиболее загрязненных точках (№9, 10, 11, 13, 15, 16) – 140-390 мг/кг, во всех прочих – 30-120 мг/кг (рис. 2). Установлено, что в отношении загрязнения нефтепродуктами наиболее опасной оказалась неправильно организованная монастырская свалка мусора (точка №10). Также весомый вклад в загрязнение вносит главная монастырская дорога (точки №11, 16, ощущается влияние на точке №3). По значениям концентрации нефтепродуктов в точках №6 и №12, расположенных очень близко от поселка, видно, что негативное влияние местных источников загрязнения резко убывает с расстоянием (за 100-200 м концентрация уменьшается на порядок).

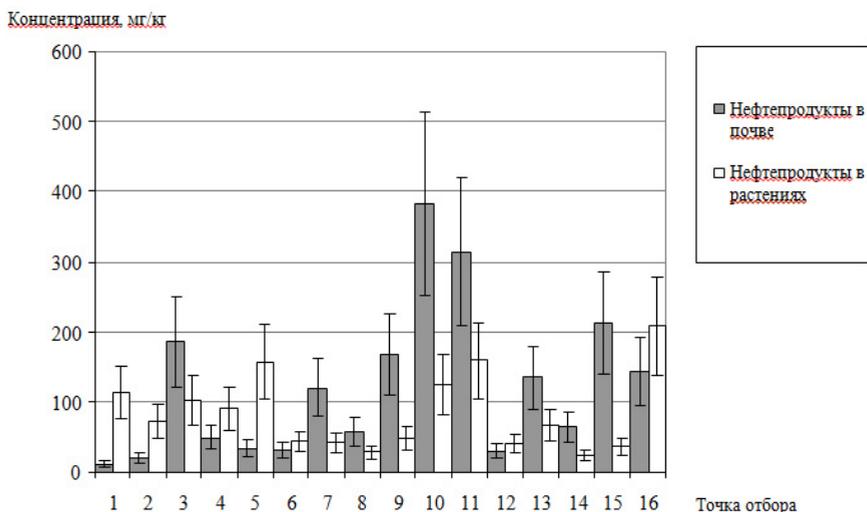


Рис. 2. Содержание нефтепродуктов в почве и растениях.

В соотношении содержания нефтепродуктов в почвах и растительности выявлены некоторые тенденции — в наименее загрязненных точках содержание нефтепродуктов в растениях возрастает относительно содержания в почвах от 2 до 5 раз, тогда как в наиболее загрязненных точках картина прямо противоположная — в растениях концентрация убывает по сравнению с почвой в 2-5 раз. Среди образцов в последней группе существуют расхождения — в точках №3, 7, 8, 14 соотношение подобно наблюдаемому в наиболее загрязненных точках — только концентрация уменьшается меньше, в 1,5-3 раза; в точках же №6 и №12 концентрация даже возрастает (примерно в 1,3 раза — но в пределах погрешности). Такие значения концентраций также подтверждают резкое убывание негативного влияния источников загрязнения в поселке.

Содержание гумуса наименьшее в точках, относящихся к группе наиболее загрязненных — от 1,52 до 4,52 %, значительно больше в группе наименее загрязненных (рис. 3).

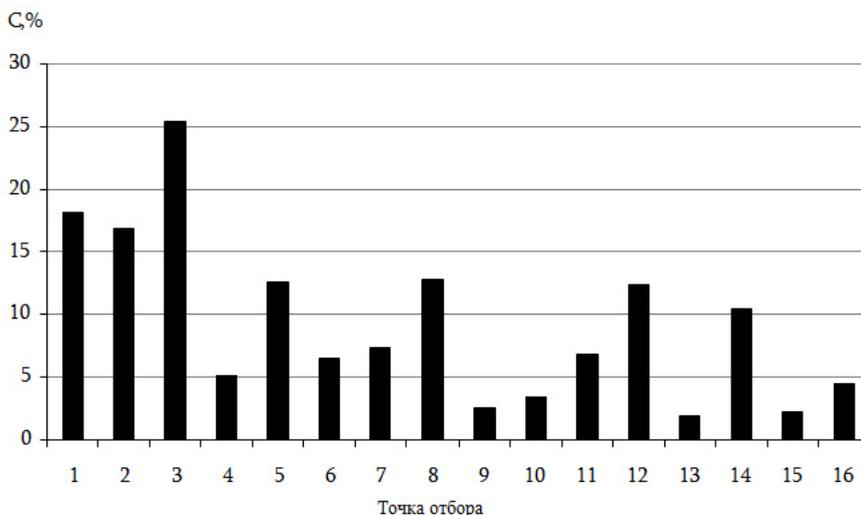


Рис. 3. Содержание  $C_{орг}$ , %.

В некоторых случаях внутри групп точек (№9, 10, 11, 13, 15, 16) концентрации нефтепродуктов в растениях повышаются согласно содержанию гумуса. Также можно предположить, что влияние содержания гумуса на концентрацию нефтепродуктов в растениях проявляется в группе менее загрязненных точек (№ 3, 6, 7, 8, 12, 14). Тогда, вероятно, это объясняется свойством гумуса ускорять обмен веществ растений — путем уменьшения вязкости раствора и увеличения проницаемости мембран [5].

В точках, принимаемых за наименее загрязненные, содержание свинца в почвах принимает значения от 0,5 до 5,6 мг/кг, в самых загрязненных составляет 9-200 мг/кг, во всех прочих — 6,5-50 мг/кг. В отношении меди — в наименее загрязненных точках составляет до 3,3 мг/кг, в самых загрязненных — 0,75-26 мг/кг, во всех прочих — до 13,6 мг/кг.

Нами было обнаружено, что в наименее загрязненных точках концентрация кадмия в почвах принимает значения до 0,23 мг/кг, в самых загрязненных — до 0,73 мг/кг, во всех прочих — до 0,09 мг/кг. И, наконец, цинк: в наименее загрязненных точках до 2,5 мг/кг, в самых загрязненных — до 37,5 мг/кг, во всех прочих — до 26,1 мг/кг.

В случае тяжелых металлов границы между группами точек не столь четкие либо практически отсутствующие — распределение тяжелых металлов более сложное, чем у нефтепродуктов, видимо, обусловленное также и естественным содержанием и отличными от таковых для нефтепродуктов источниками поступления.

Размах значения содержания меди не слишком велик (и составляет немногим более 20 мг/кг), особенно в сравнении с размахом значений содержания свинца. По всей видимости, антропогенное воздействие в отношении загрязнения медью не слишком велико. Самым загрязненным медью местом оказалась автобаза монастыря (точка №15, рис. 4). Прочие значения концентрации нефтепродуктов меньше как минимум в 2-3 раза. Превышений ПДК не обнаружено.

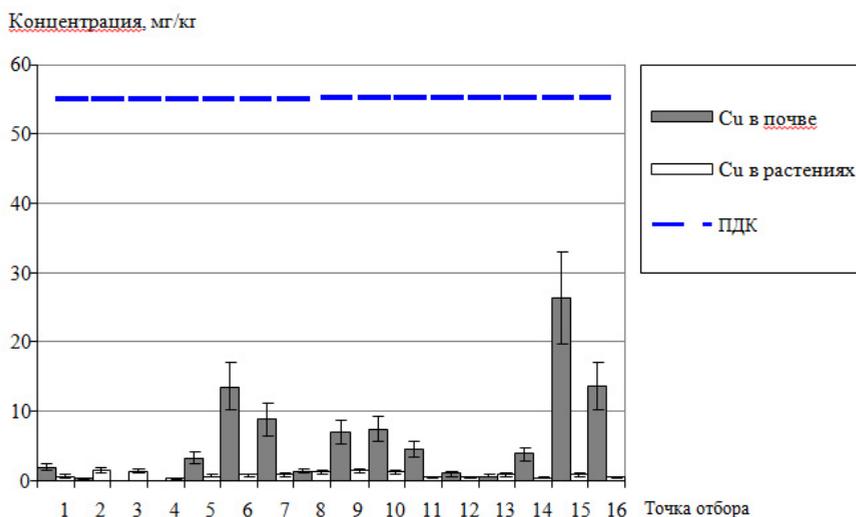


Рис. 4. Содержание меди в почве и растениях.

Найдено, что содержание меди в растениях находится примерно на одном уровне — вне зависимости от содержания в почве. Так, при содержании меди в почве меньше нижнего предела обнаружения в растениях меди накапливается не меньше, чем при содержании в почвах в несколько десятков мг/кг (точки №16 и №15). Надо полагать, что это связано с физиологическими потребностями растений — медь считается необходимым микроэлементом [1] и является элементом среднего биологического накопления [4].

Очень велик размах значений содержания свинца (достигает 200 мг/кг), что говорит о значительном антропогенном влиянии на пространственное распределение этого металла. Найдено, что наиболее загрязнены свинцом места, связанные

с автомобильным транспортом — автобаза монастыря (точка №15), главная монастырская дорога (точка №11). Обнаружены превышения ПДК — в точках №11, 12, 13, 15. Превышения в 1,5-6 раз (рис. 5).

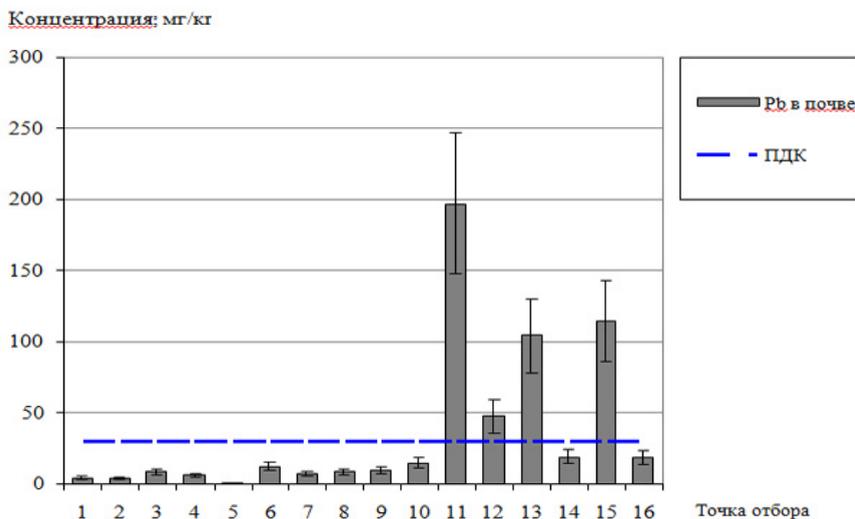


Рис. 5. Содержание свинца в почве.

Было обнаружено, что разница в концентрациях свинца между почвой и растительностью достигает трех порядков (рис. 6). Вероятно, это объясняется преобладанием недоступной для растений — водонерастворимой — формы свинца [2] и тем, что свинец наиболее прочно связывается почвенным гумусом по сравнению с медью, кадмием и цинком [3]. Кроме того, свинец относится к элементам слабого биологического накопления [4].

Содержание кадмия в почвах весьма мало — чаще всего меньше нижнего предела обнаружения (<0,05 мг/кг), размах очень мал — менее 1 мг/кг. Максимум концентрации приходится на старую пожарную часть (точка №13). Можно предположить, что это связано с неправильной эксплуатацией кадмиево-никелевых аккумуляторов. Но в целом загрязнение кадмием незначительно (рис. 7).

Кадмий растениями поглощается очень активно. Обнаружено, что за исключением точек у монастырской свалки мусора и старой пожарной части (точки №10 и №13) концентрация в растениях превышает концентрацию в почве. Это, вероятно, связано с тем, что прочность адсорбции кадмия твердой фазой почвы не слишком сильна, и большая часть валового содержания кадмия является доступной для растений [2].

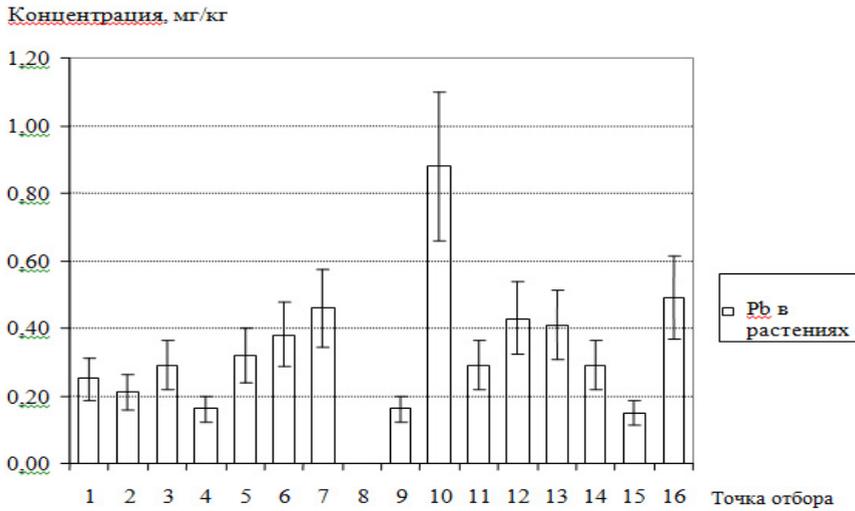


Рис. 6. Содержание свинца в растениях.

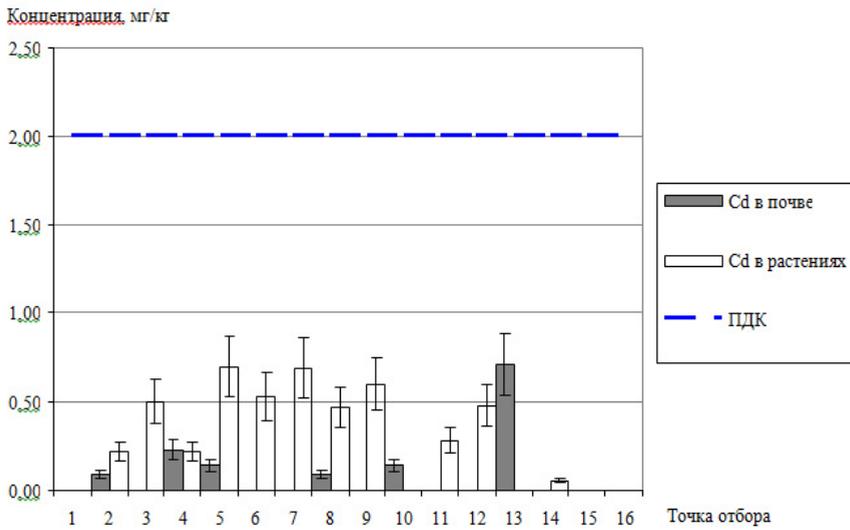


Рис. 7. Содержание кадмия в почве и растениях.

Распределение цинка в почвах напоминает распределение свинца – наибольшие концентрации также в местах явного загрязнения (кроме точки №12). Особенно сильно загрязнение цинком проявляется у монастырской свалки мусора (в точке №10 концентрация достигает 37,5 мг/кг). Превышений ПДК не обнаружено (рис. 8).

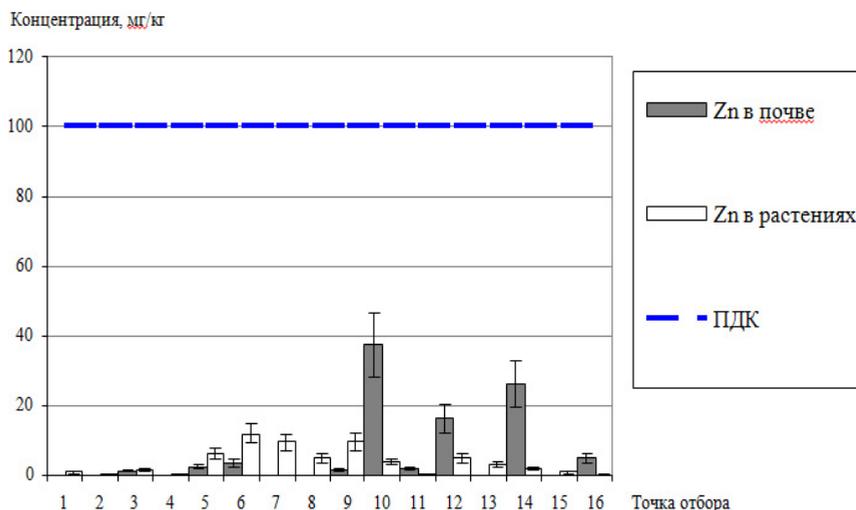


Рис. 8. Содержание цинка в почве и растениях.

В растениях концентрация цинка почти всегда возрастает по сравнению с концентрацией в почвах – кроме точек явного загрязнения (№10, №16). Такое положение дел обусловлено большой важностью цинка для растений [1], а также тем, что большая часть валового содержания цинка находится в доступной для растений форме – обменной [2].

**Заключение**

Распределение нефтепродуктов в почвах формируется под влиянием местных источников загрязнения, что обуславливает значения концентрации до нескольких сотен миллиграмм на килограмм. Там, где влияние местных источников убывает, значения концентрации понижаются больше чем на порядок.

На распределение металлов в почвах в значительной степени (особенно в отношении свинца) влияют антропогенные факторы. Наибольшие концентрации свинца в почвах вызваны влиянием автотранспорта (главная монастырская дорога и автобаза монастыря). Размах значений концентраций меди в почвах не столь велик, как у свинца, видимо здесь антропогенные факторы оказывают свое воздействие в меньшей степени. Содержание кадмия незначительно и составляет примерно десятые доли миллиграмм на килограмм. Распределение цинка в почвах подобно распределению свинца – наибольшие концентрации также в местах явного загрязнения.

Кадмий и цинк содержатся больше в растениях, чем в почвах; концентрация же свинца и меди во всех образцах растений меньше, чем в почве. Содержание свинца практически во всех образцах растений находится на одном уровне. Что же касается меди, ее содержание также для всех проб растений примерно одинаково. В отношении тяжелых металлов подобные особенности поглощения связаны с долей доступных для растений форм от валового содержания, важностью элемента для жизнедеятельности растений, активностью биологического поглощения.

Влияние содержания гумуса на содержание тяжелых металлов в почве и растениях на данном материале не выявлено.

В силу особенностей почвенного покрова (легкого механического состава) и резко промывного водного режима о. Валаам относительная опасность загрязнения биохимически активными веществами — к которым как раз и относятся тяжелые металлы и нефтепродукты — несколько снижается. Таким образом, с учетом всего вышеперечисленного, загрязненность о. Валаам нефтепродуктами и тяжелыми металлами невелика. Но, с другой стороны, местные источники загрязнения (автотранспорт, а также неправильно организованная монастырская свалка мусора) несут опасность для экосистем о. Валаам.

### Литература:

1. Агрохимия / Авторы Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др.; Под ред. Б.А. Ягодина. — М.: Агропромиздат, 1989. — 639 с.
2. Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 102 с.
3. Добровольский В.В. Биогеохимия мировой суши. Избранные труды. Том 3. — М.: Научный мир, 2009. — 440 с.
4. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. — М.: Недра, 1968. — 332 с.
5. Попов А.И. Гуминовые вещества. Свойства, строение, образование. / Под ред. Е.И. Ермакова. — СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. — 248 с.
6. Попов Н.С., Якунина И.В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: Учеб. пособие. — Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техн. ун-та, 2009. — 188 с.
7. Практикум по агрохимическому анализу почв: Учеб. пособие / Под ред. К.Г. Крейера — СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2005. — 88 с.
8. Степанова А.Б., Шарафундинова Г.Ф., Воякина Е.Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам. / Ученые записки РГГМУ, 2010, № 12, с. 97-109.

*М.Ю.Белевич*

## О ТЕРМОДИНАМИКЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

*М. Yu. Belevich*

## ON THERMODYNAMICS OF THE VISCOUS FLUID

*Рассматривается построение неравновесной термодинамики вязкой жидкости без привлечения гипотезы локального термодинамического равновесия. Теория основывается на причинно-обусловленной механике вязкой теплопроводящей жидкости, включающей первое начало термодинамики в качестве теоремы. Обсуждаются условия применимости второго начала термодинамики и проблема диссипации кинетической энергии. Основные выводы иллюстрируются примерами из численного анализа.*

*Ключевые слова: неравновесная термодинамика, механика жидкости, законы сохранения, причинность.*

*The development of the non-equilibrium thermodynamics without local equilibrium hypothesis is considered. The theory is based on the causal mechanics of the viscous heat conducting fluid, which includes the 1st law of thermodynamics as a theorem. The conditions of applicability of the second law of thermodynamics and the dissipation of the kinetic energy problem are discussed. Main conclusions are illustrated using examples from the numerical analysis.*

*Key words: non-equilibrium thermodynamics, fluid mechanics, conservation laws, causality.*

### 1. Введение

В основе стандартной модели вязкой жидкости лежат две разные теории. Первая описывает движение жидкости под действием механических сил. Она включает два интегральных закона: закон сохранения массы и закон движения Коши (континуальный аналог второго закона Ньютона). Из этих законов следует система дифференциальных уравнений в частных производных, моделирующая эволюцию плотности массы и скорость точки среды в терминах тензора напряжения и плотности массовых сил.

Вторая теория, в соответствии с замыслом, призвана описывать эволюцию характеристик среды под действием термических факторов. Однако в классическом случае фундаментальные законы, которые могли бы быть положены в основу такого описания, отсутствуют. Имеется набор законов термостатики (или так называемой равновесной термодинамики), которые распространяются на общий неравновесный случай с помо-

шью гипотезы локального термодинамического равновесия. Это допущение позволяет применять результаты равновесной термодинамики и в общем случае. Для преодоления ограничений, накладываемых гипотезой локального равновесия, были разработаны специальные модификации классической термодинамики (см., например, [12–14]).

Помимо упомянутых расширений классической термодинамики существует другой путь построения термодинамической теории, применимой в неравновесном случае. Он был получен при построении причинно-обусловленной модели жидкости, предложенной и развитой в работах [4,6,7], и допускает естественное рассмотрение термодинамических эффектов, не требуя привлечения ни законов равновесной термодинамики, ни гипотезы локального термодинамического равновесия. В то время как в основе стандартной модели жидкости, помимо постулатов механики, лежит постулат о сохранении полной энергии, в причинно-обусловленной модели это утверждение рассматривается как теорема. По этой причине построение причинно-зависимой теории не нуждается в постулировании первого начала термодинамики и принятии гипотезы локального равновесия.

Цель данной работы состоит в демонстрации возможности построения термодинамики, основанной на причинно-обусловленной точке зрения. Она организована следующим образом. Раздел 2 содержит краткое описание причинно-обусловленной модели вязкой жидкости. Баланс энергии в причинной модели и его сравнение с балансом энергии классических моделей жидкости (идеальной и вязкой) представлен в разделе 3. Раздел 4 посвящен обсуждению второго начала термодинамики. Заключительные замечания приводятся в разделе 5.

## 2. Причинно-обусловленная модель жидкости

### 2.1. Время и конфигурация

Будем рассматривать наблюдаемый объект  $\mathcal{B}$  как множество в топологическом пространстве. Это означает, что гипотеза сплошности считается принятой, и каждый объект  $\mathcal{B}$  мыслится как бесконечно делимое множество точек, любые две из которых имеют непересекающиеся окрестности.

Каждой точке тела ставится в соответствие ее мировая линия в пространстве событий — четырехмерном пространственно-временном континууме  $\mathcal{W}$ . Совокупность мировых линий точек тела образует мировую трубку тела  $\mathcal{B}$  — четырехмерное многообразие  $\mathcal{B}^4$  в пространстве  $\mathcal{W}$ .

Каждая мировая линия может быть гладко параметризована вещественным параметром. Параметризация неоднозначна, и для того чтобы сузить выбор, можно использовать дополнительные требования к этой процедуре. Воспользуемся таким требованием, целью которого будет замена бесконечного набора параметров мировых линий единственным параметром  $t$ . Выделим одну мировую линию, и ее параметризацию оставим произвольной. Для удобства будем называть ее *мировой линией наблюдателя*, а ее параметр  $t$  — *временем*. Все остальные параметры синхронизируем с временем наблюдателя. В приложениях метод синхронизации обычно выбирается так, что он может быть интерпретирован в терминах скорости сигнала, используемого для наблюдений. Фазовую скорость такого сигнала далее будем обозначать через  $c$ .

Синхронизация позволяет определить пространства одновременных событий  $\mathcal{W}_t$ . Одновременное сечение  $\mathcal{B}_t$  мировой трубки тела  $\mathcal{B}^4$  называется *конфигурацией* тела в момент времени  $t$ . Различные наблюдатели порождают различные пространства одновременных событий и, значит, различные конфигурации тела в один и тот же момент времени. Изучается множество образов  $\mathcal{B}_t$  диффеоморфных отображений тела  $\mathcal{B}$  в пространство  $\mathcal{W}$ . В физических приложениях удобно связывать эти отображения с наблюдениями и описывать их в терминах сигнала, использованного для наблюдений (см., например, [14]).

## 2.2. Законы сохранения

Как было показано в [4,6,7], меру  $\mathcal{M}$  тела  $\mathcal{B}$  можно интерпретировать, как минимум, двояко: как массу тела и как его энергию. В свою очередь, это приводит к двоякой интерпретации закона сохранения меры, индуцированной на конфигурации тела  $\mathcal{B}_t$  (сечении мировой трубки тела  $\mathcal{B}$  пространством одновременных событий). Так, этот закон можно понимать как закон сохранения массы  $m$  конфигурации  $\mathcal{B}_t$

$$d_t m(\mathcal{B}_t) = 0, \quad (1)$$

либо как закон сохранения энергии  $Cm$  конфигурации. Другими словами, если можно выбрать константу  $C$  так, что для произвольной конфигурации  $\mathcal{B}_t$  равенство  $\frac{Cm(\mathcal{B}_t)}{C} = m(\mathcal{B}_t)$  всегда выполняется, уравнение

$$d_t Cm(\mathcal{B}_t) = 0. \quad (2)$$

следует из уравнения (1). Можно показать, что такой выбор всегда возможен (см. детали в [7]). При достаточно общих допущениях уравнения (1) и (2) приводят к следующим дифференциальным законам сохранения:

$$\operatorname{div}(\rho_m \vec{\tau}) = 0 \quad \text{и} \quad \operatorname{div}(\kappa_{Cm} \vec{\tau}) = 0, \quad (3)$$

где  $\vec{\tau} = d_t$  — вектор, касательный к мировой линии в некоторой точке, а  $\rho_m$  и  $\kappa_{Cm}$  суть плотности массы и энергии в той же точке, соответственно. Меры, определенные на конфигурации и соответствующие им плотности связаны соотношениями:

$$m(\mathcal{B}_t) = \int_{V(\mathcal{B}_t)} \rho_m dV, \quad Cm(\mathcal{B}_t) = \int_{V(\mathcal{B}_t)} \kappa_{Cm} dV \quad \Rightarrow \quad \kappa_{Cm} = C\rho.$$

Здесь  $V(\mathcal{B}_t)$  — объем конфигурации тела.

Поскольку по определению  $\kappa_{Cm}$  равно  $\frac{1}{2}|\vec{\tau}|^2 \rho_m = C\rho_m$ , имеем  $C = \frac{1}{2}|\vec{\tau}|^2$ . Надлежащим выбором метрического тензора  $\mathbf{g}$  можно достичь равенства величины  $|\vec{\tau}|^2 = \mathbf{g}(\vec{\tau}, \vec{\tau})$  константе  $|\vec{\tau}| = \text{const}$ . В случае ортогонального базиса метрический тензор диагонален и в отдельных случаях пропорционален единичному тензору  $\mathbf{I}$  с коэффициентом пропорциональности  $\mathcal{G}_0$ :  $\mathbf{g} = \mathcal{G}_0 \mathbf{I}$ . В частности, удобно выбирать тензор  $\mathbf{g}$  исходя из условия  $|\vec{\tau}| = 1$ . В этом случае  $\mathcal{G}_0 = \frac{1}{|\vec{\tau}, \vec{\tau}|}$  и  $\kappa_{Cm} = \frac{1}{2}\rho_m$ .

Если существуют источники  $\Sigma_m$  и  $\Sigma_{Cm}$  мер  $m$  и  $Cm$  соответственно, тогда законы сохранения (1) и (2) записываются в виде:

$$d_t m(\mathcal{B}_t) = \Sigma_m \quad \text{и} \quad d_t Cm(\mathcal{B}_t) = \Sigma_{Cm}. \quad (4)$$

Если под  $m$  понимается масса, тогда обычно считается  $\Sigma_m = 0$ . Напротив, если  $Cm$  интерпретируется как энергия, тогда величина  $\Sigma_{Cm} \neq 0$  понимается как источник энергии  $\Sigma_{Cm} = Q$ .

### 2.3. Осреднение

Гипотеза сплошности, как уже было сказано, считается принятой. Движение, далее, разделяется по масштабам и осредняется, и изучается так называемый термодинамический случай. Энергия снабжается дополнительной структурой путем замены конгруэнции мировых линий точек тела конгруэнцией осредненных (сглаженных) мировых линий. Оператор осреднения, представляющий собой непрерывный линейный проектор, отображает множество несглаженных объектов на множество осредненных [3]. Введение процедуры осреднения (см. обсуждение этой процедуры в [5,8]) делит мировые линии на две части: гладкие осредненные кривые и пульсации. Соответствующее касательное векторное поле  $\vec{\tau}$  также разделяется на осредненное векторное поле  $\vec{v}$ , векторы которого касаются сглаженных мировых линий, и пульсационное векторное поле  $\vec{\tau}'$  :

$$\vec{\tau} = \vec{v} + \vec{\tau}'.$$

При этом дифференциальный закон сохранения массы (первое уравнение (3)) приводит в общем случае к *уравнению диффузии плотности массы*, которое следует рассматривать как обобщение четырехмерного уравнения неразрывности:

$$0 = \overline{\text{div}(\rho_m(\vec{v} + \vec{\tau}'))} = \text{div}(\rho\vec{v}) - \text{div}(\sigma g^{-1}(\nabla\rho)). \quad (5)$$

Надчеркивание здесь и далее означает осреднение. Величина  $\sigma$  — коэффициент диффузии плотности массы, а  $\rho$  (в отличие от  $\rho_m$ ) обозначает плотность массы, соответствующую полю осредненной скорости при учете диффузионного потока массы. Если  $\sigma = \text{const}$ , имеем

$$\text{div}(\rho\vec{v}) = \sigma \square \rho, \quad (6)$$

где  $\square$  — оператор Даламбера. В стандартном случае правой частью всегда пренебрегают, при этом уравнение превращается в *четырёхмерное уравнение неразрывности*

$$\text{div}(\rho\vec{v}) = 0. \quad (7)$$

Далее для простоты будем рассматривать только этот случай. Однако надо иметь в виду, что такое допущение (т. е.  $\sigma = 0$ ) в некоторых задачах может приводить к затруднениям (детали и пример см. в [7]).

В свою очередь, энергия (теперь называемая *полной энергией*) делится на так называемую *кинетическую энергию*  $K(\mathcal{B}_t)$  конфигурации тела и ее *внутреннюю энергию*  $E(\mathcal{B}_t)$

$$C_m(B_t) = K(B_t) + E(B_t), \quad K, E > 0$$

с плотностями

$$\kappa \equiv \frac{1}{2} \rho |\vec{v}|^2, \quad \varepsilon \equiv \frac{1}{2} \rho (|\vec{\tau}|^2 - |\vec{v}|^2) \quad (8)$$

соответственно. Закон сохранения энергии (2) теперь может быть записан как закон сохранения полной энергии

$$d_t(K + E) = d_t \int_V (\kappa + \varepsilon) dV = 0. \quad (9)$$

или

$$d_t(K + E) = Q \quad (10)$$

в случае ненулевого источника внутренней энергии  $Q$ .

Интегральное соотношение (9) соответствует дифференциальному закону сохранения полной энергии

$$0 = \overline{\text{div}(\kappa_{C_m}(\vec{v} + \vec{\tau}'))} = \text{div}((\kappa + \varepsilon)\vec{v}). \quad (11)$$

Такое же соотношение можно получить из уравнения (7), если его умножить на  $\frac{1}{2} |\vec{\tau}|^2 = \frac{\kappa + \varepsilon}{\rho} \equiv \frac{1}{2}$ . Кроме того,

$$d_t \frac{\kappa + \varepsilon}{\rho} = 0. \quad (12)$$

Следует иметь в виду, что метрический коэффициент  $g_0$  теперь записывается в виде  $g_0 = \frac{1 - \varepsilon}{\rho(\vec{v}, \vec{v})}$ .

Интегральный закон (10), в свою очередь, соответствует дифференциальному закону

$$d_t \frac{\kappa + \varepsilon}{\rho} = \rho q, \quad (13)$$

где  $\rho q$  — приток внутренней энергии.

Далее для простоты мы будем рассматривать только случай  $Q = 0$ . Из тех же соображений не рассматривается потенциальная энергия. Однако ее учет не представляет трудностей (обсуждение этого вопроса см. в [6,7]).

#### **2.4. Баланс импульса и внутренней энергии**

Тензор  $\mathbf{M} = \rho \vec{v} \otimes \vec{v}$  называется четырехмерным тензором *плотности потока импульса*. В терминах этого тензора можно переписать уравнение (11). С этой целью определим так называемую *систему отсчета наблюдателя*, т. е. отображение  $\phi^t: \mathcal{W} \rightarrow i\mathbb{R}^1 \times \mathbb{R}^3$ , где  $i\mathbb{R}^1$  обозначает пространство мнимых чисел. Это отображение снабжает каждую точку  $\mathcal{W}$  четверкой чисел  $x = (x^0, x^1, x^2, x^3)$  — координатами точки. Предполагается, что  $dx^0 = icdt$ , где  $i = \sqrt{-1}$ , а  $c$  — скорость сигнала (см. п. 2.1). Далее, компоненты векторов будут рассматриваться относительно

координатного базиса  $\{\vec{e}_\alpha\}_{\alpha=0}^3$ ,  $\vec{e}_\alpha = \partial_{x^\alpha}$ , выбранного в каждой точке  $\mathcal{W}$ . Используется правило суммирования по повторяющемуся индексу, и считается, что латинские индексы изменяются от 1 до 3, а греческие — от 0 до 3.

Теперь, полагая  $\vec{v} = v^\alpha \vec{e}_\alpha$ , где  $v^0 = ic$ , величину  $\rho d_t \frac{\kappa}{\rho}$  можно записать в терминах компонент скорости:

$$\rho d_t \frac{\kappa}{\rho} = \rho v^\alpha \left( \frac{\kappa}{\rho} \right)_{,\alpha} = \rho v^\alpha \frac{1}{2} (\mathbf{g}_{\beta\gamma} v^\gamma v^\beta)_{,\alpha} = \rho v^\alpha \mathbf{g}_{\beta\gamma} v^\gamma v^\beta_{;\alpha}.$$

Последнее уравнение с помощью уравнения неразрывности (7) можно переписать в виде:

$$\rho d_t \frac{\kappa}{\rho} = \mathbf{g}_{\beta\gamma} v^\gamma (\rho v^\alpha v^\beta)_{;\alpha} = \mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{M}).$$

Уравнение

$$\text{div} \mathbf{M} = \text{div} \mathbf{T}, \tag{14}$$

где  $\mathbf{T}$  называется *тензором напряжений*, постулируется. Тензор  $\mathbf{T}$  полагается симметричным, но иногда рассматривается и несимметричный тензор [1]. Уравнение (14) известно как *уравнение баланса импульса* или *уравнение движения*. Комбинируя (14) и (13), можно получить уравнение баланса внутренней энергии:

$$\rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} = -\mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{T}). \tag{15}$$

Уравнения (7), (14) и (15), вместе с надлежащим определением тензора  $\mathbf{T}$ , замкнутые с помощью некоторого дополнительного соотношения (уравнения состояния), образуют систему уравнений причинно-обусловленной механики жидкости. Структура четырехмерного тензора  $\mathbf{T}$  выбирается по аналогии с его трехмерным аналогом и основывается на используемой физической интерпретации.

### 3. Баланс энергии

Скорость изменения полной энергии вдоль мировой линии (или полная производная по времени) равна нулю:

$$0 = \rho d_t \frac{\kappa}{\rho} + \rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} = \underbrace{\left( \rho d_t \frac{\kappa}{\rho} - \mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{T}) \right)}_{=0} + \underbrace{\left( \rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} + \mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{T}) \right)}_{=0}. \tag{16}$$

Здесь оба слагаемых образуют уравнения баланса плотностей кинетической и внутренней энергий соответственно:

$$\rho d_t \frac{\kappa}{\rho} = \mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{T}), \tag{17}$$

$$\rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} = -\mathbf{g}(\vec{v}, \text{div} \mathbf{T}). \tag{18}$$

### 3.1. Уравнение баланса внутренней энергии

#### 3.1.1. Идеальная жидкость

В простейшем случае тензор напряжений  $\mathbb{T}$  типа  $\binom{2}{0}$  полагается пропорциональным метрическому тензору

$$\mathbb{T} = \pi \mathbf{g}^{-1}, \quad (19)$$

Геометрическая интерпретация коэффициента  $\pi$  как скалярной кривизны пространства-времени обсуждалась в [6]. Модель континуума, включающая это определение тензора напряжений, называется *идеальной*.

Рассмотрим теперь баланс внутренней энергии (т. е. вторую группу членов в (16)) идеальной жидкости

$$\rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} + \mathbf{g}(\vec{v}, \operatorname{div} \mathbb{T}) = \rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} + d_t \pi = 0.$$

Выбирая  $\mathbf{g} = g_0 \mathbb{I}$  и вводя обозначения

$$\begin{aligned} e &= g_0^{-1} \varepsilon, \\ p &= -g_0^{-1} \pi \end{aligned} \quad (20)$$

для плотности внутренней энергии  $e$  и давления  $p$  соответственно, это уравнение можно записать в виде:

$$\rho d_t \frac{e}{\rho} = d_t p. \quad (21)$$

#### 3.1.2. Вязкая жидкость

Другой вариант определения тензора напряжений включает поправочный член пропорциональный (с коэффициентом  $\chi$ ) симметричной части градиента скорости  $\nabla \vec{v}$ , т. е. тензору  $\mathbb{D}$ , который называется *тензором скоростей деформации*:

$$\mathbb{T} = \pi \mathbf{g}^{-1} + 2\chi \mathbb{D}. \quad (22)$$

Такая модель среды называется *вязкой*.

Правую часть уравнения баланса энергии можно вычислить в два этапа. Сначала рассмотрим  $\operatorname{div} \mathbb{T}$ :

$$\begin{aligned} (\operatorname{div} \mathbb{T})^\alpha &= \mathbb{T}^{\alpha\beta}{}_{;\beta} = (\pi \mathbf{g}^{\alpha\beta})_{;\beta} + 2(\rho\chi \mathbb{D}^{\alpha\beta})_{;\beta} \\ &= \pi_{;\beta} \mathbf{g}^{\alpha\beta} + (\rho\chi (v^{\alpha;\beta} + v^{\beta;\alpha}))_{;\beta}. \end{aligned}$$

Далее, выражение в правой части записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{g}(\vec{v}, \operatorname{div} \mathbb{T}) &= v_\alpha (\operatorname{div} \mathbb{T})^\alpha \\ &= v^\beta \pi_{;\beta} + v_\alpha (\rho\chi (v^{\alpha;\beta} + v^{\beta;\alpha}))_{;\beta} \\ &= d_t \pi + 2(\rho\chi v_\alpha \mathbb{D}^{\alpha\beta})_{;\beta} - 2\rho\chi v_{\alpha;\beta} \mathbb{D}^{\alpha\beta}. \end{aligned}$$

Последнее слагаемое равно

$$2\rho\chi v_{\alpha;\beta} D^{\alpha\beta} = \rho\chi D_{\alpha\beta} D^{\alpha\beta} = \rho\chi D : D,$$

где  $D : D$  — скалярное произведение двух тензоров. Таким образом, имеем

$$\begin{aligned} g(\vec{v}, \operatorname{div} T) &= d_t \pi + g(\vec{v}, \operatorname{div}(2\rho\chi D)) \\ &= d_t \pi + \operatorname{div}(2\rho\chi D(g(\vec{v}))) - 2\rho\chi D : D, \end{aligned} \quad (23)$$

и уравнение (18) теперь записывается, как

$$\rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} = -d_t \pi - \operatorname{div}(2\rho\chi D(g(\vec{v}))) + 2\rho\chi D : D. \quad (24)$$

Если  $\mathbf{g} = g_0 \mathbf{l}$ , то это уравнение переписывается так:

$$\begin{aligned} \rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} &= -d_t \pi - \operatorname{div}(2\rho\chi D(g(\vec{v}))) + 2\rho\chi D : D \\ &= -d_t \pi - 2(\rho\chi v_{\alpha} D^{\alpha\beta})_{;\beta} + 2\rho\chi v_{\alpha;\beta} D^{\alpha\beta} \\ &= g_0 (d_t p - 2(\mu v_{\alpha} D^{\alpha\beta})_{;\beta} + 2\mu D_{\alpha\beta} D^{\alpha\beta}). \end{aligned}$$

Используя обозначение  $\mu = g_0^{-1} \rho\chi$  для коэффициента динамической вязкости и формулы (20), последнее уравнение запишется в виде:

$$\rho d_t \frac{e}{\rho} = d_t p - 2(\mu v_{\alpha} D^{\alpha\beta})_{;\beta} + 2\mu D : D. \quad (25)$$

### 3.2. Сравнение со стандартной теорией; локальное термодинамическое равновесие

В стандартном случае закон сохранения полной энергии постулируется. Изначально он формулируется как первое начало равновесной термодинамики. Понятие равновесия требует, в свою очередь, введения функции состояния  $T$ , называемой *температурой*, что формализуется в виде нулевого начала термодинамики. Этот закон утверждает, что равновесие двух термодинамических систем означает равенство их температур.

Использование закона сохранения полной энергии в рамках нестационарной дифференциальной модели среды требует принятия так называемой *гипотезы локального термодинамического равновесия*, т. е. равновесия в физически бесконечно малом объеме. Эта гипотеза оказалась очень плодотворной в необратимой термодинамике.

В сформулированной выше причинно-обусловленной модели жидкости необходимость в классической термодинамике и ее приспособлении к неравновесному случаю отсутствует. Это объясняется тем, что закон сохранения полной энергии в причинно-обусловленной модели является теоремой и не требует постулирования, как в классической теории. Таким образом, потребность в гипотезе локального равновесия утрачивается. Причинно-зависимое уравнение баланса внутренней энергии отличается от классического, и это отличие позволяет

формализовать классические допущения. Сравнение стандартного уравнения баланса внутренней энергии с классическим пределом ( $c \rightarrow \infty$ ) соответствующего причинно-обусловленного уравнения позволяет найти, к чему приводит применение гипотезы локального равновесия.

### **3.2.1. Идеальная жидкость**

Стандартное уравнение баланса плотности внутренней энергии  $e_3$  (первое начало термодинамики) идеальной жидкости записывается в виде:

$$\rho d_t \frac{e_3}{\rho} = \frac{p_3}{\rho} d_t \rho. \quad (26)$$

Соответствующее причинно-обусловленное уравнение (21) в классическом пределе ( $c \rightarrow \infty$ ) выглядит следующим образом:

$$\rho d_t \frac{e_3}{\rho} = d_t p_3 = \frac{p_3}{\rho} d_t \rho + \rho d_t \frac{p_3}{\rho}. \quad (27)$$

Здесь в обоих уравнениях использованы обозначения  $e_3 = \lim_{c \rightarrow \infty} e$  и  $p_3 = \lim_{c \rightarrow \infty} p$ . Легко видеть, что уравнение (27) отличается от уравнения (26), в котором предполагается локальное равновесие, слагаемым  $\rho d_t \frac{p_3}{\rho}$ . Оба уравнения совпадают в случае  $d_t \frac{p}{\rho} = 0$ . Это равенство следует рассматривать, как математическое выражение гипотезы локального термодинамического равновесия в случае идеальной жидкости. Действительно, если уравнение состояния записывается в виде  $p_3 = \rho R T$ , где  $R$  — универсальная газовая постоянная, тогда отношение  $\frac{p_3}{\rho}$  равно  $RT$  и

$$d_t \frac{p}{\rho} = 0 \quad \Rightarrow \quad T = \text{const.}$$

Предположение о локальном равновесии допустимо лишь для медленно протекающих процессов. В отсутствии термодинамического равновесия (например, при изучении затухания звуковых волн в жидкостях) эти уравнения обычно модифицируют, вводя корректирующие слагаемые, учитывающие процессы нарушения и восстановления равновесия [2]. Уравнение (26) есть частный случай более общих уравнений баланса внутренней энергии (21) и (27).

### **3.2.2. Вязкая жидкость**

В случае вязкой жидкости стандартное уравнение баланса плотности внутренней энергии имеет вид:

$$\rho d_t \frac{e_3}{\rho} = \frac{p_3}{\rho} d_t \rho + 2\mu D_3 : D_3.$$

Здесь  $D_3$  — стандартный трехмерный тензор скоростей деформации. В причинно-обусловленном случае аналогичное уравнение (25) в классическом пределе ( $c \rightarrow \infty$ ) записывается так:

$$\begin{aligned} \rho d_t \frac{\epsilon_3}{\rho} &= d_t p_3 - 2v_j (\mu D_3^{jk})_{;k} \\ &= \frac{p_3}{\rho} d_t \rho + \left( \rho d_t \frac{p_3}{\rho} - 2(\mu v_j D_3^{jk})_{;k} \right) + 2\mu D_3 : D_3. \end{aligned}$$

Оба уравнения совпадают, если второе слагаемое в последнем уравнении равно нулю. Иными словами, равенство

$$\rho d_t \frac{p_3}{\rho} - 2(\mu v_j D_3^{jk})_{;k} = 0$$

означает, что имеет место локальное термодинамическое равновесие в вязкой жидкости.

### 3.3. Диссипация кинетической энергии

В стандартной теории слагаемое  $\text{diss}_3 \equiv 2\mu D_3 : D_3$ , называемое *плотностью диссипации кинетической энергии*, знакоопределенно. В причинно-обусловленной модели жидкости знак аналогичного слагаемого

$$\text{diss} \equiv 2\rho\chi D : D = 2\rho\chi D^{\alpha\beta} D_{\alpha\beta} = \frac{1}{2}\rho\chi (g^{\alpha\gamma} v_{;\gamma}^{\beta} + g^{\beta\gamma} v_{;\gamma}^{\alpha}) (g_{\alpha\kappa} v_{;\beta}^{\kappa} + g_{\beta\kappa} v_{;\alpha}^{\kappa})$$

определяется знаками выражений в скобках. В случае, когда  $g^{\alpha\beta} = g_0^{-1} \delta^{\alpha\beta}$  и  $g_{\alpha\beta} = g_0 \delta_{\alpha\beta}$ , плотность диссипации имеет вид:

$$\text{diss} = \frac{1}{2}\mu (v_{;\alpha}^{\beta} + v_{;\beta}^{\alpha})^2. \quad (28)$$

Поскольку коэффициент динамической вязкости  $\mu = g_0^{-1} \rho\chi$  положителен, множитель  $\chi$  и метрический коэффициент  $g_0 = \frac{1-\epsilon}{|(\vec{v}, \vec{v})|}$  должны быть одного знака. Знак метрического коэффициента определяется его знаменателем, так как числитель положителен по определению. Для покоящейся или сравнительно медленно движущейся жидкости знак метрического коэффициента отрицателен, и знак  $\chi$  также отрицателен. Иными словами, множитель  $\mu$  положителен, когда  $\sum_j (v^j)^2 < c^2$ , а плотность диссипации (правая часть (28)) положительна, если выражения в скобках вещественны.

Скорость изменения кинетической энергии сечения мировой трубки имеет вид:

$$\begin{aligned} d_t K &= \int_{V(\mathcal{B}_t)} \rho d_t \frac{\kappa}{\rho} dV \\ &= \int_{V(\mathcal{B}_t)} d_t \pi dV + \int_{V(\mathcal{B}_t)} \text{div} (2\rho\chi D(g(\vec{v}))) dV - \text{Diss}, \end{aligned}$$

где  $\text{Diss} \equiv \int_{V(\mathcal{B}_t)} 2\rho\chi D : D dV$ . Первое слагаемое в правой части описывает изменение  $K$  за счет сжимаемости среды, второе слагаемое описывает изменение  $K$  за счет потока через границу сечения мировой трубки, а третье — «диссипация» кинетической энергии.

тической энергии сечения мировой трубки. Так как  $v^0 = ic$ , некоторые слагаемые в выражении для «диссипации» отрицательны и, следовательно, в некоторых особых случаях «диссипация» может превращаться в «антидиссипацию».

#### 4. Второе начало термодинамики в общем случае

##### 4.1. Определения температуры и энергии

Теперь можно дать определения температуры  $T$  и плотности энтропии  $s$ , которые применимы в общем неравновесном случае и не требуют привлечения гипотезы локального равновесия. Температура может быть определена с помощью соотношения  $d \frac{e}{\rho} = c_p dT$ , где  $c_p$  — удельная теплоемкость среды при постоянном давлении. Подставив это определение в уравнение (25), найдем

$$\rho c_p d_t T = d_t p - 2(\mu v_\alpha D^{\alpha\beta})_{;\beta} + 2\mu D : D,$$

или в отсутствие среднего движения

$$\rho c_p \partial_t T = \partial_t p.$$

Если имеется ненулевой источник тепла, а перенос тепла описывается законом Фурье, последнее уравнение принимает вид четырехмерного уравнения теплопроводности:

$$\rho c_p \partial_t T = \partial_t p + (\lambda T_{;\beta})_{;\gamma} \delta^{\gamma\beta}. \quad (29)$$

Здесь  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности. Это уравнение второго порядка является гиперболическим, так как содержит вторую производную по времени, «правильный» знак которой определяется мнимой нулевой координатой.

*Плотность энтропии* определяется с помощью соотношения Гиббса (см., например, [11])

$$T \rho d_t \frac{s}{\rho} \equiv \rho d_t \frac{e}{\rho} - d_t p = g_0^{-1} \left( \rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} + d_t \pi \right). \quad (30)$$

Для идеальной жидкости это выражение равно нулю. Для вязкой жидкости уравнение баланса внутренней энергии дает

$$\rho d_t \frac{\varepsilon}{\rho} + d_t \pi + g(\vec{v}, 2\rho\chi \operatorname{div} D) = g_0 T \rho d_t \frac{s}{\rho} + g(\vec{v}, 2\rho\chi \operatorname{div} D) = 0. \quad (31)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} T \rho d_t \frac{s}{\rho} &= -g(\vec{v}, 2\mu \operatorname{div} D) = -\operatorname{div}(2\mu D(g(\vec{v}))) + 2\mu D : D \\ &= -2\mu(v_\alpha D^{\alpha\beta})_{;\beta} + \frac{1}{2}\mu(v_{;\alpha}^\beta + v_{;\beta}^\alpha)^2, \end{aligned}$$

или

$$\rho d_t \frac{s}{\rho} = \operatorname{div}(s\vec{v}) = -\frac{2\mu}{T}(v_\alpha D^{\alpha\beta})_{;\beta} + \frac{1}{T} \operatorname{diss}.$$

#### 4.2. Второе начало термодинамики

Скорость изменения энтропии  $S$  сечения  $\mathcal{B}_t$  дается выражением

$$d_t S = \int_{V(\mathcal{B}_t)} \operatorname{div}(s\vec{v})dV = - \int_{V(\mathcal{B}_t)} \frac{2\mu}{T} (v_\alpha D^{\alpha\beta})_{;\beta} dV + \frac{1}{2} \int_{V(\mathcal{B}_t)} \frac{\mu}{T} (v_{;\alpha}^\beta + v_{;\beta}^\alpha)^2 dV.$$

Если интегральный поток через границу равен нулю, тогда  $d_t S = \frac{1}{2} \int_{V(\mathcal{B}_t)} \frac{\mu}{T} \mathbf{D} : \mathbf{D} dV$ , и знак  $d_t S$  определяется знаком скалярного произведения  $\mathbf{D} : \mathbf{D}$ . Изучим это скалярное произведение, для чего выделим в матрице  $\mathbf{D}$  вещественные и мнимые блоки:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 2v_{;0}^0 & \begin{pmatrix} v_{;k}^0 + v_{;0}^k \\ v_{;j}^j + v_{;0}^j \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} v_{;j}^0 + v_{;0}^j \\ v_{;k}^j + v_{;j}^k \end{pmatrix} & \end{pmatrix}.$$

Блоки, стоящие на главной диагонали, вещественны, остальные — мнимые. Используя соотношение  $\mathbf{D} : \mathbf{D} = \operatorname{tr}(\mathbf{D}^2)$ , получим

$$\begin{aligned} \mathbf{D} : \mathbf{D} &= \underbrace{\left(2v_{;0}^0\right)^2}_{\operatorname{Re}} + 2 \sum_k \underbrace{\left(v_{;k}^0 + v_{;0}^k\right)^2}_{\operatorname{Im}} + \sum_{j,k} \underbrace{\left(v_{;k}^j + v_{;j}^k\right)^2}_{\operatorname{Re}} \\ &= \underbrace{\left(2v_{;0}^0\right)^2}_{\operatorname{Re}} - 2 \sum_k \underbrace{\left(iv_{;k}^0 + iv_{;0}^k\right)^2}_{\operatorname{Re}} + \sum_{j,k} \underbrace{\left(v_{;k}^j + v_{;j}^k\right)^2}_{\operatorname{Re}}. \end{aligned}$$

В соответствии со вторым началом термодинамики  $d_t S > 0$ . Стандартная теория удовлетворяет этому принципу, поскольку при  $c \rightarrow \infty$  только последнее сугубо положительное слагаемое в  $\mathbf{D} : \mathbf{D}$  отлично от нуля. В причинно-обусловленном случае имеется две возможности:

1) стандартная — второе начало выполняется:

$$2 \sum_k \left(iv_{;k}^0 + iv_{;0}^k\right)^2 < \left(2v_{;0}^0\right)^2 + \sum_{j,k} \left(v_{;k}^j + v_{;j}^k\right)^2. \quad (32)$$

2) нестандартное — второе начало не выполняется:

$$2 \sum_k \left(iv_{;k}^0 + iv_{;0}^k\right)^2 \geq \left(2v_{;0}^0\right)^2 + \sum_{j,k} \left(v_{;k}^j + v_{;j}^k\right)^2.$$

Для того чтобы выяснить смысл этих двух возможностей, рассмотрим частный случай  $c = \operatorname{const}$ , используя так называемые нормальные координаты (см., например, [17]). Они выбираются для простоты, поскольку в этом случае ковариантные производные локально равны частным. При этом неравенство (32) приводится к виду

$$\begin{aligned} 0 &> 2 \sum_k \underbrace{\left(i \partial_k v^0 + i \partial_0 v^k\right)^2}_{=0} - \underbrace{\left(2 \partial_0 v^0\right)^2}_{=0} - \sum_{j,k} \left(\partial_k v^j + \partial_j v^k\right)^2 \\ &= 2 \sum_k \left(\frac{1}{c} \partial_t v^k\right)^2 - \sum_{j,k} \left(\partial_k v^j + \partial_j v^k\right)^2. \end{aligned}$$

Вращая систему координат так, чтобы в координатном базисе две компоненты вектора скорости обратились в нуль  $\vec{v} = (ic, u, 0, 0)$ , находим необходимое условие применимости второго начала термодинамики:

$$\left(\frac{1}{c}\partial_t u\right)^2 < 2(\partial_x u)^2 \Rightarrow c^2 > \frac{1}{2}\left(\frac{\partial_t u}{\partial_x u}\right)^2. \quad (33)$$

Когда неравенство (33) выполняется, стандартное второе начало выполняется, диссипация приводит к потерям кинетической энергии, а энтропия замкнутой системы возрастает. В противном случае скорость сигнала, используемого для наблюдений, слишком мала, сигнал не подходит для переноса информации об объекте и должен быть заменен более быстрым.

## **5. Заключительные замечания**

### **Об определениях**

Причинно-обусловленная теория не требует привлечения гипотезы локального термодинамического равновесия. Тем не менее такие понятия, как температура и плотность энтропии могут быть определены (см. п. 4.1 и формулу (30)). Они были построены по аналогии со стандартными так, чтобы не менялась исходная идея: энтропия идеальной жидкости сохраняется во времени. Однако определение энтропии отличается от классического, что обусловлено разницей в уравнениях баланса внутренней энергии (см. п. 3.2). В то время как стандартное уравнение получено с помощью гипотезы локального термодинамического равновесия, причинное уравнение от нее не зависит.

Диссипация кинетической энергии в рамках причинно-обусловленной теории утрачивает свою знакоопределенность (положительность). Условие, определяющее знак диссипативного слагаемого, зависит от скорости сигнала и тем самым определяет те явления, которые не могут быть изучены с помощью выбранного сигнала. Это условие можно рассматривать как критерий для выбора скорости сигнала, если в распоряжении наблюдателя имеется достаточное число сигналов. Такой выбор действительно делается в численном анализе дифференциальных уравнений.

### **Второе начало термодинамики и численная неустойчивость**

Гидромеханика, основанная на гипотезе сплошности, заменяет дискретное множество жидких частиц континуумом точек. Численные процедуры, применяемые к гидромеханическим проблемам, возвращают нас обратно к дискретному случаю и, в свою очередь, заменяют непрерывное пространство-время конечным набором пространственно-временных узлов (здесь мы рассматриваем только конечно-разностный подход). Несмотря на то, что реальные наблюдения осуществляются с помощью звуковых или световых сигналов, а модель среды формально не запрещает произвольной скорости сигнала, стандартная теория неявно использует лишь сигналы с бесконечной скоростью.

Дискретные модели жидкости, напротив, допускают произвольную скорость сигнала, которая либо бесконечна (неявные модели), либо равна отношению шагов

сетки и может непрерывно меняться в широких пределах (явные модели). Анализ устойчивости таких моделей (см., например, [16]), как и практические вычисления, показывают, что если скорость сигнала выбрана слишком малой, т. е. меньше возможных скоростей жидкости, наблюдения (здесь это означает — вычисления) рисуют ошибочную картину движения жидкости. Иначе говоря, стандартная интерпретация подобных наблюдений, неявно встроенная в модель, приводит к ошибочному представлению течения.

Ясно, что явные численные алгоритмы, рассматриваемые как наблюдения движения жидкости (здесь — решения уравнений модели), подобны фактическим наблюдениям реальных жидкостей, тогда как неявные алгоритмы соответствуют стандартной теоретической гидромеханике с ее бесконечной скоростью сигнала.

В качестве иллюстрации того, что было сказано, рассмотрим еще раз трехмерное уравнение баланса плотности кинетической энергии:

$$\partial_t k_3 + \operatorname{div}(k_3 \vec{u}) = -(\vec{u}, \nabla p) + g(\vec{u}, \operatorname{div}(2\mu D_3)).$$

Будем считать для простоты, что  $\vec{u} = (u, 0, 0)$ , а  $p, \mu = \text{const}$ . В случае  $\frac{k_3}{\rho} = \frac{1}{2}u^2$ , тензор  $D_3$  имеет единственную отличную от нуля компоненту

$$D_3 = \begin{pmatrix} \partial_x u & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

а предыдущее уравнение приводится к виду (здесь  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ )

$$\begin{aligned} \partial_t \frac{k_3}{\rho} + u \partial_x \frac{k_3}{\rho} &= 2\nu u \partial_{xx} u = \\ &= 2\nu \partial_{xx} \frac{k_3}{\rho} - 2\nu (\partial_x u)^2. \end{aligned} \quad (34)$$

Последнее слагаемое в правой части этого уравнения описывает диссипацию кинетической энергии. Оно, очевидно, всегда положительно. Однако численный аналог этого уравнения (например, конечно-разностный) демонстрирует иное поведение диссипативного слагаемого.

Рассмотрим уравнение (34), записанное в терминах компонент скорости и линеаризованное в окрестности некоторого произвольного узла сетки, скажем  $(n, j)$ , ассоциируемого с пространственно-временной точкой  $(t^n, x_j)$ :

$$u (\partial_t u + U \partial_x u - 2\nu \partial_{xx} u) = 0. \quad (35)$$

Здесь  $U$  — некоторая постоянная средняя скорость. Пусть двумерная пространственно-временная сетка равномерна с шагом по времени  $\Delta t$  и пространственным шагом  $\Delta x$ . Простая явная двуслойная конечно-разностная аппроксимация уравнения (35) имеет вид:

$$u_j^n \left( \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\Delta t} + U \frac{u_{j+1}^n - u_{j-1}^n}{2\Delta x} - 2\nu \frac{u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n}{\Delta x^2} \right) = 0. \quad (36)$$

Два временных слоя используются для аппроксимации производной по времени, а пространственная производная аппроксимируется трехточечной центрально-разностной формулой. Раскладывая  $u_{j\pm 1}^{n+1}$  в ряды Тейлора относительно точки  $(t^n, x_j)$  с точностью до  $O(\Delta t^2, \Delta x^2)$ , получаем первое дифференциальное приближение разностного уравнения (36):

$$u_j^n \left( \partial_t u_j^n + \frac{\Delta t}{2} \partial_{tt} u_j^n \right) + u_j^n U \partial_x u_j^n - 2\nu u_j^n \partial_{xx} u_j^n = 0.$$

Опуская индексы, перепишем это соотношение в терминах удельной плотности кинетической энергии  $\frac{k_3}{\rho}$ :

$$\begin{aligned} \partial_t \frac{k_3}{\rho} + U \partial_x \frac{k_3}{\rho} &= -\frac{\Delta t}{2} u \partial_{tt} u + 2\nu u \partial_{xx} u = \\ &= \left( -\frac{\Delta t}{2} \partial_{tt} \frac{k_3}{\rho} + 2\nu \partial_{xx} \frac{k_3}{\rho} \right) - \\ &\quad - \left( -\frac{\Delta t}{2} (\partial_t u)^2 + 2\nu (\partial_x u)^2 \right). \end{aligned} \quad (37)$$

По сравнению с исходным уравнением (34) или его линеаризацией (35) первое дифференциальное приближение (37) содержит новое слагаемое:

$$-\frac{\Delta t}{2} u \partial_{tt} u = -\frac{\Delta t}{2} \partial_{tt} \frac{k_3}{\rho} + \frac{\Delta t}{2} (\partial_t u)^2,$$

которое меняет тип дифференциального уравнения: причинно-необусловленное параболическое уравнение (35) становится гиперболическим и причинно-обусловленным. Это значит, что причинно-необусловленная задача, решаемая численно посредством явного алгоритма, фактически заменяется причинно-обусловленной. Величина  $c_{ph} \equiv \pm \sqrt{\frac{2\nu}{\Delta t}}$  с размерностью скорости обычно интерпретируется как фазовая скорость распространения возмущений (волн). Анализ устойчивости конечно-разностной схемы (36) показывает (см., например, [15]), что эта скорость должна удовлетворять хорошо известному условию устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви  $|c_{ph}| \leq c_{max}$ , где  $c_{max} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t}$  есть предельная скорость, зависящая только от свойств сетки. Напротив, фазовая скорость не зависит от сетки, и в случае  $|c_{ph}| > c_{max}$  сетка не в состоянии правильно передать всю необходимую информацию. Мы интерпретируем эту предельную скорость  $c_{max}$  как скорость сигнала, которая используется наблюдателем (здесь процессором) для исследования (построения) движения жидкости (т. е. решения). Если предельная скорость меньше фазовой скорости, последняя интерпретируется ошибочно и это приводит к взрыву численного решения.

Более того, диссипативный член  $diss = -\frac{\Delta t}{2} (\partial_t u)^2 + 2\nu (\partial_x u)^2$  утрачивает свою безусловную положительность. Эта величина будет положительной (второе начало выполняется), если

$$\frac{\Delta t}{2\nu} (\partial_t u)^2 < 2 (\partial_x u)^2 \quad \Rightarrow \quad c_{\max}^2 \geq c_{\text{ph}}^2 > \frac{1}{2} \left( \frac{\partial_t u}{\partial_x u} \right)^2.$$

В противном случае, численный аналог второго начала не имеет места, и дискретная модель оказывается неспособной воспроизводить движение реальной жидкости (ср. этот хорошо известный результат с неравенством (33), которое связывает скорость сигнала и скорость среды с применимостью второго начала термодинамики).

### Необратимость

Согласно [9], понятие «энтропия» введено специально для того, чтобы различать процессы двух типов — обратимые и необратимые. Считается, что производство энтропии отсутствует в обратимых процессах и всегда положительно в остальных случаях. Такое требование часто кладется в основу конструируемых теорий (см., например, [8]). С этой точки зрения свойство процесса быть (не)обратимым является абсолютным, и значение производства энтропии позволяет обнаружить это свойство.

Соображения, представленные в п.4.2, демонстрируют возможность иной точки зрения. Мы рассматриваем (не)обратимость как относительное свойство, которое зависит не только от изучаемого явления, но также и от самого процесса наблюдения. Судя по всему, никто не проводил термодинамических экспериментов, пользуясь сигналами, отличными от света. Чрезвычайно большое значение скорости света порождает ощущение, что учет наблюдателя и самого наблюдения является излишним.

Однако существуют случаи, когда включение наблюдателя в рассмотрение необходимо. Это, например, случай относительно медленных сигналов, используемых для наблюдений, например звук. Скорость сигнала определяет нижнюю границу масштабов осреднения. Те явления, чьи пространственно-временные масштабы меньше, чем у сигнала (длина волны и период), фактически неразрешимы. Понятно, что такие границы для скорости звука, например, существенно больше, чем для светового сигнала.

Включение в теорию процесса наблюдения допускает новую интерпретацию природы необратимости. Действительно, любое наблюдение устанавливает соответствие между событием (точкой пространственно-временного континуума) и точкой мировой линии наблюдателя. Фактически, все множество одновременных событий проектируется на одну точку мировой линии. Поскольку целью наблюдений служит построение описания объекта, являющегося подмножеством пространства одновременных событий, приходится констатировать, что практически вся информация об объекте, как и самом пространстве событий, является для наблюдателя недоступной (или утраченной). Хорошей иллюстрацией сказанному может служить радио- или эхолокационные наблюдения: в каждый момент времени только одно событие оказывается видимым на экране локатора. Остальная часть экрана либо остается темной, либо воспроизводит прошедшие события. Создавая описание объекта, наблюдатель вынужден реконструировать отсутствующую информацию, пользуясь различными интерполяционными процедурами. Это приводит к неустраняемым ошибкам, обычно называемым необратимостью.

## Литература

1. *Даньшина А.В., Карлин Л.Н., Чанцев В.Ю.* Несимметричность напряжений вязкой несжимаемой жидкости. / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с. 141-151.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Механика сплошных сред. — М.: УРСС, 2006.
3. *Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. Ч.1. — М.: Физматгиз, 1965.
4. *Belevich M.* Causal description of non-relativistic dissipative fluid motion // *Acta Mechanica*. 2003. Vol. 161. Pp. 65–80.
5. *Belevich M.* Causal description of heat and mass transfer // *J. Phys. A: Math. Gen.* 2004. Vol. 37, no. 8. Pp. 3053–3069.
6. *Belevich M.* Relationship between standard and causal fluid models // *Acta Mechanica*. 2005. Vol. 180. Pp. 83–106.
7. *Belevich M.* Non-relativistic abstract continuum mechanics and its possible physical interpretations // *J. Phys. A: Math. Theor.* 2008. Vol. 41. 045401 doi:10.1088/1751-8113/41/4/045401.
8. *Belevich M.* On the continuity equation // *J. Phys. A: Math. Theor.* 2009. Vol. 42. 375502 doi:10.1088/1751-8113/42/37/375502.
9. *Elze H.-T., Rafelski J., Turko L.* Entropy production in relativistic hydrodynamics // *Phys. Lett. B*. 2001. Vol. 506. Pp. 123–130.
10. *Glansdorff P., Prigogine I.* Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations. London, New York: Wiley-Interscience, 1971. (В пер.: *Гленсдорф П., Пригожин И.* Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973).
11. *Gyarmati I.* Non-equilibrium Thermodynamics. Field Theory and Variational Principles. New York: Springer, 1970. (В пер.: *Дьярмати И.* Неравновесная термодинамика.— М.: Мир, 1974).
12. *Jou D., Casas-Vázquez J., Lebon G.* Extended irreversible thermodynamics // *Rep. Prog. Phys.* 1988. Vol. 51. Pp. 1105–1179. (В пер.: *Жоу Д., Касас-Васкес Х., Лебон Дж.* Расширенная необратимая термодинамика.— Изд.: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2006).
13. *Jou D., Casas-Vázquez J., Lebon G.* Extended irreversible thermodynamics revisited: 1988–1998 // *Rep. Prog. Phys.* 1999. Vol. 62. Pp. 1035–1114.
14. *Müller I., Ruggeri T.* Extended thermodynamics. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
15. *Pauli W.* Theory of relativity. New York: Pergamon, 1958. (В пер.: *Паули В.* Теория относительности.— М.: Наука, 1991).
16. *Roach P.* Computational Fluid Dynamics. Albuquerque: Hermosa Publishers, 1976. (В пер.: *Роуч П.* Вычислительная гидромеханика.— М.: Мир, 1980.).
17. *Schutz B. F.* Geometrical methods of mathematical physics. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. (В пер.: *Шутц Б.* Геометрические методы математической физики.— М.: Мир, 1984).

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*С.А. Оганова, Н.Л. Плинка*

## РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КАК ИНСТРУМЕНТА КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫМИ ЗОНАМИ

*S.A. Oganova, N.L. Plink*

## DEVELOPMENT OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AS A TOOL OF INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT

*Информационная поддержка решения задач комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) требует применения современных компьютерных средств, основанных на геоинформационных технологиях. Разработка архитектуры и содержания геоинформационных систем (ГИС), ориентированных на использование в системе КУПЗ, выдвигает специфические требования, связанные с особенностями модели управления. В настоящее время в рамках процесса создания системы государственного стратегического планирования большое внимание уделяется разработке стратегий и комплексных планов социально-экономического развития приморских территорий. При этом в методическом отношении стратегическое планирование должно базироваться на методологии КУПЗ, объединяющей приморские территории и прибрежные акватории в рамках единого самостоятельного объекта государственного управления. Внедрение в жизнь научно-обоснованных решений, основанных на полной и достоверной информации, позволит выявить наиболее эффективные дополнительные конкурентные преимущества прибрежных территорий, связанные с возможностью использования мультипликативного эффекта морской деятельности.*

*Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), комплексное управление прибрежными зонами (КУПЗ), морское пространственное планирование (МПП).*

*Information support of task solution of integrated coastal zone management requires the use of modern computer tools based on employment of GIS technology. The creation of architecture and content of GIS, oriented to the use of ICZM system, sets up a specific claim related to the features of management models. At present, within the bound of the process of creating a system of state strategic planning, much attention is given to the creation of strategies and integrated plans for socio-economic development of coastal areas. In the methodological sense, strategic planning should be based on the methodology of integrated coastal zone management, combining the coastal areas*

*and coastal waters within the bound of the single independent management object. The use of scientifically grounded decisions based on complete and accurate information will allow the most efficient use of additional competitive advantages of coastal areas, relating to the possibility of using the multiplier effect of marine activities.*

*Key words: geographic information systems (GIS), integrated coastal zone management (ICZM), maritime spatial planning (MSP)*

Морская деятельность является важной социально-экономической составляющей хозяйственной системы Российской Федерации. В силу своего географического положения, определяющего выход к трем из четырех океанов и наличию самой протяженной в мире береговой линией, Россия обладает значительным морским транспортным потенциалом. Целый ряд окраинных морей Российской Федерации обладают значительной биопродуктивностью, что делает их перспективными для развития рыбного хозяйства и марикультуры. Значительные шельфовые запасы минеральных ресурсов определяют все возрастающую роль морской добычи нефти и газа в составе национального топливно-энергетического комплекса. Улучшение управления морским и прибрежным природопользованием является актуальной задачей повышения эффективности использования потенциала морской деятельности. Необходимость совершенствования системы управления определяется задачами инновационного развития приморских регионов Российской Федерации, диверсификации морской деятельности за счет более полного и эффективного использования морских и прибрежных ресурсов, а также необходимостью разработки превентивных мер по обеспечению сохранения качества морских побережий при интенсификации морской и прибрежной хозяйственной деятельности.

Наиболее распространенной и хорошо апробированной интегральной моделью управления процессами, связанными с функционированием и развитием морской природно-хозяйственной составляющей, является модель комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ). Методология КУПЗ направлена на создание оптимальной хозяйственной структуры прибрежно-морских пространств, повышение эффективности морской и прибрежной хозяйственной деятельности за счет регулирования противоречий, возникающих в процессе конкурентного использования морских и прибрежных ресурсов, улучшения организационных возможностей и развития человеческого потенциала.

Утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 2205-р от 8 декабря 2010 г. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г. определяет «необходимость дополнения существующего преимущественно отраслевого подхода к планированию развития морской деятельности комплексным подходом», основанным на объединении приморских территорий и прибрежных акваторий в рамках единого объекта государственного управления [4]. Инструментом реализации нового подхода государственной морской политики должно стать включение в региональные стратегии и программы социально-экономического развития всех приморских субъектов Российской Федерации и их приморских муниципалитетов специального прибрежно-морского компонента, направленного на обеспечение инноваций и достижение синергии за счет скоординированного развития морской деятельности

и ее береговой инфраструктуры. В международной практике берегопользования объект управления, включающий в себя части суши и моря, находящиеся в тесном взаимодействии, получил название «прибрежная зона» [3]. Комплексное управление прибрежными зонами можно определить как комбинацию развивающихся адаптивных экономических, экологических и социальных управленческих инициатив, сфокусированных на развитие прибрежных зон. Комплексное управление прибрежными зонами представляет собой экономико-правовой инструмент гармонизации многочисленных противоречивых интересов прибрежных природопользователей [7,9]. В Российской Федерации существует ряд трудностей для реализации методологии КУПЗ, к которым можно отнести несовершенство прибрежной законодательной базы, неразвитость понятийного аппарата, сложность комплексной оценки социальных и экономических результатов морской деятельности и ряд других проблем.

В настоящее время в Российской Федерации принят ряд документов, направленных на более активное внедрение интегральных методов управления. В конце 2010 г., как уже отмечалось, была принята Стратегия развития морской деятельности РФ до 2030 г., в которой отмечается необходимость выделения «прибрежных зон» в отдельный объект государственного управления, что по сути означает необходимость внедрения методологии КУПЗ [4]. В августе 2011 г. вступил в действие Федеральный закон Российской Федерации от 19 июля 2011 г. N 246-ФЗ «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», связанный с необходимостью обеспечения особого правового режима некоторым видам хозяйственной деятельности в прибрежной зоне [6]. Еще в 2001 г. при Правительстве Российской Федерации была создана система Морской коллегии и региональных советов по морской деятельности, призванная уменьшить межотраслевую разобщенность и обеспечить системный подход к развитию морской деятельности. Однако сложившаяся ситуация пока такова, что управление морской деятельностью России в основном реализуется на основе отраслевого принципа. Управление различными видами морской деятельности осуществляется слабо координирующими свою деятельность Агентствами, находящимися в подчинении различных министерств и ведомств [5].

Все это говорит о необходимости создания условий для развития инструментов комплексного управления, в том числе направленных на обеспечение управленческого процесса информационно-аналитической поддержкой.

В настоящее время функционируют не менее десяти федеральных государственных информационных систем, предоставляющих данные в области морской деятельности [8]. Наиболее значимой информационной системой, ориентированной на обеспечение морской деятельности, является единая система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Значительная часть информации, предоставляемой ЕСИМО, является открытой и общедоступной. Информационное обеспечение ЕСИМО охватывает все основные сферы деятельности по изучению, освоению и использованию Мирового океана. Она предназначена для обеспечения полной и своевременной информацией процесса принятия обоснованных стратегических и оперативных решений в области осуществления морской деятельности для различ-

ных уровней государственного управления. ЕСИМО располагает информацией о портовой деятельности, добычи биологических и нефтегазовых ресурсов, гидрометеорологических, экологических условиях и т.п. Более 40 аппаратно-программных комплексов составляют инфраструктуру системы. Восемьдесят тематических информационных технологий представляют собой электронные хранилища данных по гидрометеорологии, геологии-геофизике, биоресурсам, морскому транспорту и портам и др. [2]. Учитывая междисциплинарный характер предоставляемых данных, доступность информации, а также ее ориентацию на использование органами государственного управления, система ЕСИМО является полезным инструментом, который может быть использован в модели комплексного управления прибрежными зонами.

Для информационного обеспечения реализации КУПЗ могут быть использованы также различные подходы, основанные на использовании данных, предоставляемых Росстатом России, такие как экономические оценки затрат и выгод, оценки экологического воздействия, регулирование и контроль за финансовыми механизмами и т.п. Однако учитывая необходимость пространственно-территориальной привязки используемой информации, перспективным направлением развития информационного обеспечения системы КУПЗ является использование геоинформационных систем (ГИС).

ГИС — это информационная система, предназначенная для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных в ГИС объектах [1]. ГИС содержит данные о реальных объектах в цифровой форме, включает набор функциональных возможностей, в которых реализуются операции геоинформационных технологий. Все операции поддерживаются программным, нормативно-правовым, аппаратным, информационным, кадровым и организационным обеспечением. Сложная структура объекта управления, называемого «прибрежная зона», требует использования комплексной и междисциплинарной информации [3]. ГИС, предназначенные для управления прибрежными зонами, должны иметь ряд особенностей.

К основным требованиям при создании геоинформационного обеспечения системы КУПЗ относятся междисциплинарность, системность и комплексность информации, учет масштаба управления, определение источников информации, разработка подходов к ее обработке, учет интересов потенциальных потребителей информации. Геоинформационная система должна не только иметь определенную географическую привязку, но и быть адаптирована для использования применительно к конкретным прибрежным территориям. При этом геоинформационная система должна создаваться с учетом уровня управления, на котором эта система будет использоваться (регион, муниципалитет, поселение и т.п.). Данные требования необходимо учитывать для того, чтобы геоинформационная система наилучшим образом отражала региональные или локальные аспекты морской деятельности, ее взаимодействие с береговой инфраструктурой, включала информацию о состоянии всех подсистем прибрежной зоны, содержала информационный блок о законодательной и нормативной базе.

Особенностью ГИС, ориентированных на использование в системе КУПЗ, является необходимость генерирования новой информации, получаемой путем сжатия первичных данных и их представления в виде более обобщенных (интегральных) ха-

рактических — индикаторов и показателей (индексов) [3]. Индикаторы и показатели могут быть использованы для районирования прибрежных территорий, комплексной оценки качества природной среды с учетом антропогенной нагрузки, мониторинга реализации программ социально-экономического развития, а также решения ряда других задач. Таким образом, разработка аппаратных средств ГИС системы должна включать, в качестве самостоятельного раздела, разработку системы индикаторов (показателей), которая должна быть направлена на обобщение информации, агрегирование данных и их представления в виде, удобном для использования в управленческой деятельности. Индикаторы и показатели должны обладать чувствительностью, быть управляемыми и репрезентативными, сочетать в себе различные аспекты функционирования прибрежной зоны (воздействия, состояние, отклики на воздействие и т.п.), иметь количественное выражение. Индикаторы и показатели, используемые в системе КУПЗ, должны быть легко и однозначно интерпретируемыми, что и делает их перспективным инструментом выработки и принятия решений. Использование ГИС технологий в сочетании с индикаторными методами способствует интеграции науки и управления, выработке и принятию научно-обоснованных решений. С помощью ГИС можно составить высококачественные географические карты, выявить картографическим методом зоны возможных конфликтов интересов природопользователей и оценить воздействия различных факторов на окружающую среду.

Геоинформационные системы могут быть использованы не только при планировании развития приморских территорий и прибрежных акваторий, но при оценке состояния прибрежных зон, их зонировании, оптимизации хозяйственной структуры, проектировании гидротехнических сооружений. Использование ГИС-технологий в сочетании с возможностями Интернета создает хорошие возможности для повышения информированности населения и его вовлечения в управленческий процесс.

Одним из инструментов КУПЗ является морское (акваториальное) пространственное планирование (МПП). В соответствии с определением UNESCO морским пространственным планированием является общественный процесс анализа и размещения пространственного и временного распределения человеческой деятельности в морских районах для достижения экологических, экономических и социальных задач, которые обычно определены в рамках политического процесса.

В течение последних 10 лет развитие МПП и зонирования морского пространства стало решающим шагом в создании природопользования, основанного на принципах экосистемного подхода. МПП направлено на сведение к минимуму конфликтов между различными природопользователями, а также их негативных последствий путем распределения пространства и применения зонирования для различных целей. По существу, МПП является инструментом планирования, который позволяет интегрированному, дальновидному и последовательному принятию решений по использованию морских территорий. Многие страны по всему миру используют этот инструмент для борьбы с чрезмерным использованием своих морских территорий.

Предварительные исследования были проведены на кафедре Комплексного управления прибрежными зонами Российского государственного гидрометеорологического университета для восточной части Финского залива (Балтийское море). Методология МПП, используемая для восточной части Финского залива, представлена на рис. 1.

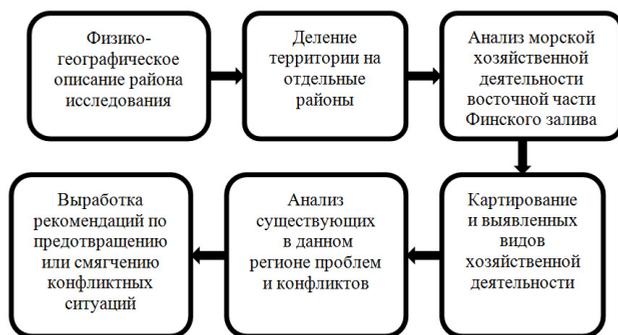


Рис. 1 Методология морского пространственного планирования восточной части Финского залива.

Анализ прибрежной зоны восточной части Финского залива показал, что на данной территории существует множество природопользователей, интересы которых не всегда соответствуют природным и экологическим требованиям. Пример схемы МПП для Невской губы представлен на рис. 2.

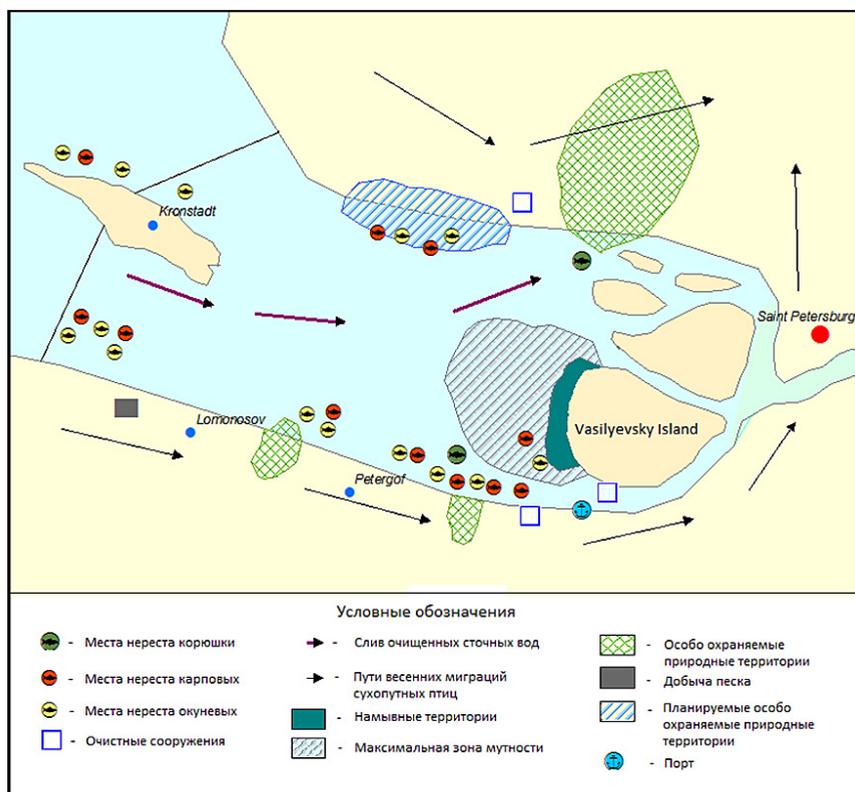


Рис. 2 Схема морского пространственного планирования для Невской губы.

## Выводы

Геоинформационные системы представляют собой важный инструмент для управления сложными природными социально-экономическими системами. ГИС, ориентированные на использование в системе КУПЗ, должны обладать рядом специфических особенностей, которые должны быть учтены при их разработке и информационном насыщении. Кроме решения общенаучных и управленческих задач, ГИС в КУПЗ могут быть использованы для повышения информированности населения, их вовлечения в процесс выработки решений, а также минимизации конфликтов, возникающих при противоречивых интересах различных берегопользователей.

## Литература

1. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. — М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. — 272 с.
2. Морская коллегия <http://www.morskayakollegiya.ru/sea-environment-info/ESIMO/>
3. Плинк Н.Л., Гогоберидзе Г.Г. Политика действий в прибрежной зоне. — СПб., изд. РГГМУ, 2003. — 266 с.
4. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2205-р от 8 декабря 2010 г.
5. Теория и практика морской деятельности. Вып. 16. Подходы к стратегическому прогнозированию — М.: СОПС, 2008. — 376 с.
6. Федеральный закон РФ № 246-ФЗ «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 19 июля 2011 г. — М., 2011.
7. Юридический словарь
8. <http://правительство.рф/>
9. Ямкова М.В. Анализ рекреационной деятельности на морских побережьях Российской Федерации / Ученые записки РГГМУ, 2011, № 20, с.162-172.

*Т.М. Татарникова, Н.В. Яготинцева*

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ОБРАЗЦОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ВООРУЖЕНИЯ КОРАБЛЯ

*Т.М. Tatarnikova, N.V. Yagotinceva*

### PROBLEM DESCRIPTION OF SHIP ARMAMENT RADIO ELECTRONIC STANDARDS INTEGRATION

*Рассматриваются современные задачи интеграции образцов радиоэлектронного вооружения с точки зрения обеспечения полноценного вхождения корабля в единое информационное пространство ВМФ.*

*Ключевые слова: радиоэлектронное вооружение, интеграция, информационная инфраструктура корабля, локальная вычислительная сеть корабля, технология коммутации сегментов сети.*

*Considers the problem of integration of modern electronic equipment designs in terms of providing a full entry of ship into a single information space of the Russian NAVY.*

*Key words: radio-electronic equipment, integration, information infrastructure ship's local area network of the ship, the technology switching network segments.*

Для решения задач навигации и кораблевождения, освещения обстановки корабля оснащаются многофункциональным радиоэлектронным вооружением (РЭВ).

В практике строительства и применения флота к радиоэлектронному вооружению, как правило, относят следующие классы РЭВ: радиолокационные комплексы и станции, средства связи, гидроакустические комплексы и станции, аппаратуру опознавания, комплексы радиоразведки, информационно-управляющие системы и другие средства, обеспечивающие преобразование и обработку электромагнитных (акустических) сигналов и данных.

Стремительный прогресс в области морской радиоэлектроники сделал корабельное РЭВ наиболее быстроразвивающимся, наукоемким и дорогостоящим элементом корабля. Проблемы совершенствования РЭВ корабля приобретают особую значимость и актуальность в строительстве флота России XXI века, в основу которого положен принцип совершенствования качественных параметров образцов вооружения и военной техники [1,2].

**Цель статьи** – определить основные задачи и пути совершенствования РЭВ корабля за счет применения возможностей существующих базовых технологий и поддерживающих их технических и программных средств.

Изучение функций, методов приема и обработки сигналов в комплексах, станциях и образцах РЭВ показало, что между устройствами различных классов РЭВ существуют тесные информационные взаимосвязи. Результаты работы одних являются исходными данными для других. Это обстоятельство позволяет утверждать, что существуют предпосылки для технической и информационной интеграции различ-

ных классов РЭВ корабля. Кроме того, исследования и анализ конкретных образцов РЭВ корабля показали, что существуют стандартные этапы обработки информации, а следовательно, любой образец РЭВ может быть описан шестью функциональными элементами (ФЭ).

ФЭ1: устройства, осуществляющие преобразование электромагнитной (акустической) энергии как в случае излучения, так и при приеме сигналов, или другими словами – антенны.

ФЭ2: устройства, осуществляющие прием, усиление, демодуляцию и декодирование сигналов – приемники.

ФЭ3: устройства, осуществляющие прием, усиление, модуляцию и передачу сигналов – передатчики.

ФЭ4: средства обработки сигналов и данных соответствующей прикладной платформой<sup>1</sup>.

ФЭ5: средства визуализации, обеспечивающие динамическое отображение целей и их траекторий движения; документирование данных на карту и бумажный носитель; просмотр документов и статистическое отображение наиболее важных данных.

ФЭ6: устройства, обеспечивающие преобразование воздействий окружающей среды в электромагнитные сигналы – датчики.

В целом обобщенная архитектура образца РЭВ с прикладной платформой обработки приведена на рис.1.

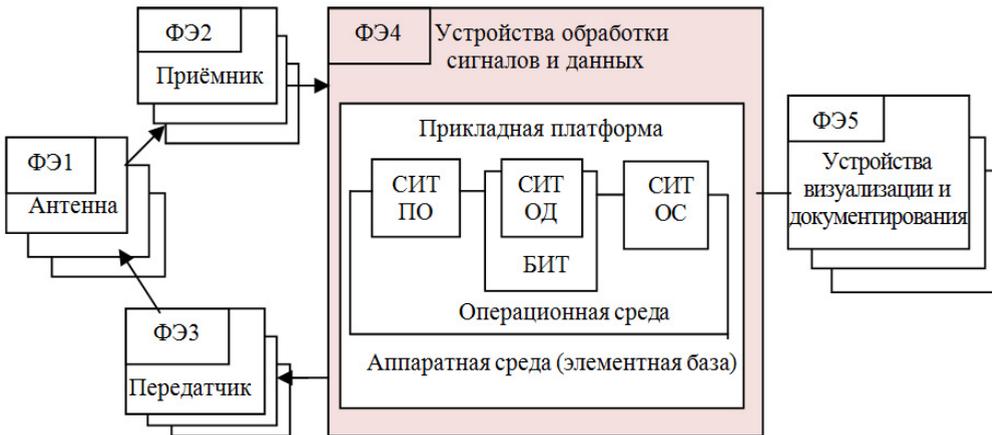


Рис. 1. Обобщенная архитектура образца РЭВ

СИТ ПО – специализированная информационная технология протоколов обмена;  
 СИТ ОД – специализированная информационная технология обработки данных;  
 СИТ ОС – специализированная информационная технология обработки сигналов;  
 БИТ – базовая информационная технология.

<sup>1</sup> Под прикладной платформой понимают структурированный набор информационных технологий и стандартов их реализации, обеспечивающей создание и применение средств обработки сигналов и данных.

<p style="text-align: center;"><b>СИТ ПО включает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Поддержку протокола обмена по СНЧ, СДВ, СВ, КВ, УКВ, радиорелейным, космическим, гидроакустическим, проводным каналам.</li> <li>– Поддержку сетевых протоколов типа ТСР/IP, АТМ, X.25.</li> <li>– Поддержку стандартов защиты информации в каналах связи и сетях передачи данных.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>СИТ ОС включает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Обработку радиолокационных сигналов.</li> <li>– Обработку радиосигналов.</li> <li>– Обработку оптоэлектронных сигналов.</li> <li>– Обработку гидроакустических сигналов.</li> <li>– Оцифровка аналоговых сигналов.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>СИТ ОД включает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Обработку координат.</li> <li>– Обработку ЭДЦ.</li> <li>– Прокладку маршрутов.</li> <li>– Учет целей.</li> <li>– Выработку данных стрельбы.</li> <li>– Визуализацию данных.</li> <li>– Классификацию целей.</li> <li>– Обработку результатов измерений.</li> <li>– Выработку рекомендаций по маневрированию, счислению пути.</li> <li>– Ведение журналов учета.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>БИТ включает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Информационные технологии (ИТ) электронной почты.</li> <li>– ИТ документооборота.</li> <li>– ИТ СУБД.</li> <li>– ИТ ГИС.</li> <li>– Офисные ИТ.</li> <li>– Формирование, поиск и предоставление информационных ресурсов.</li> <li>– Защиту информационных ресурсов.</li> <li>– Электронные подписи.</li> <li>– Управление конфигурацией.</li> <li>– Сетевое планирование.</li> <li>– Санкционирование применения оружия.</li> </ul>

В соответствии с рассмотренной архитектурой образца РЭВ можно сформулировать основные направления развития РЭВ корабля:

1. Развитие устройств преобразования электромагнитной (акустической) энергии во всех диапазонах электромагнитного спектра за счет применения новых материалов, форм построения и технологий производства.
2. Развитие устройств генерирования и приема электромагнитных сигналов во всех диапазонах электромагнитного спектра за счет применения новой элементной базы и более совершенных схем их построения.
3. Развитие методов и способов обработки электромагнитных и акустических сигналов.
4. Развитие средств и прикладных платформ обработки сигналов и данных.
5. Развитие средств визуализации данных на основе применения новых технологий отображения информации, мультимедийных форм ее представления, а также за счет использования новой элементной базы.
6. Интеграция образцов РЭВ в единую информационную инфраструктуру корабля с переходом к новой архитектуре их построения.

Направления 1-4 относятся к числу традиционных и хорошо освоенных. В направлении 5 намечились за последние годы существенные позитивные сдвиги.

Анализ исследований в этом направлении с учетом достижений последнего десятилетия в области создания эффективных средств обработки сигналов и данных показывает, что наибольший эффект в реализации возможностей базовых инфор-

мационных технологий и поддерживающих их технических и программных средств может быть получен на пути интеграции образцов РЭВ в единую информационную инфраструктуру корабля. Таким образом, шестое направление развития РЭВ является наиболее перспективным.

Справедливость этого утверждения подтверждается тем, что сегодня на корабле отсутствуют:

- единое адресное пространство;
- прозрачный доступ в соответствии с полномочиями должностных лиц к удаленным и обособленно хранящимся информационным ресурсам;
- средства, обеспечивающие реализацию мультимедийного трафика обмена информацией;
- унифицированная система панелей диалога для разнородных автоматизированных рабочих мест.

Поэтому перспективным направлением развития вооружения корабля сегодня считается интеграция образцов РЭВ в единую информационную инфраструктуру корабля с переходом к новой архитектуре их построения.

Суть нового подхода заключается в следующем:

- в интеграции образцов РЭВ не на основе парных связей, а на основе базовой информационной транспортной сети корабля;
- в обеспечении возможности подключения к базовой корабельной сети комплексов, станций различных типов РЭВ и функциональных элементов;
- во введении в состав технической архитектуры нового элемента — комплекса серверов обработки сигналов и данных;
- в переходе от функционально-специализированных архитектур средств обработки сигналов и данных к распределенной сетевой обработке.

Техническая архитектурная модель информационной инфраструктуры корабля с учетом нового подхода представляет собой локальную вычислительную сеть (ЛВС) корабля с коммутацией сегментов (рис. 2).

Модель ЛВС корабля будем рассматривать на основе модели, предложенной А.И. Обрезковым, применительно к научно-исследовательским судам [3].

Технология коммутации сегментов основана на отказе от использования разделяемых линий связи между всеми узлами сегмента и применении коммутаторов, позволяющих одновременно передавать пакеты между всеми парами его портов. Тогда каждый такой канал можно представить в виде СМО типа  $M|M|1$  с дисциплиной кругового опроса RR (Round Robin).

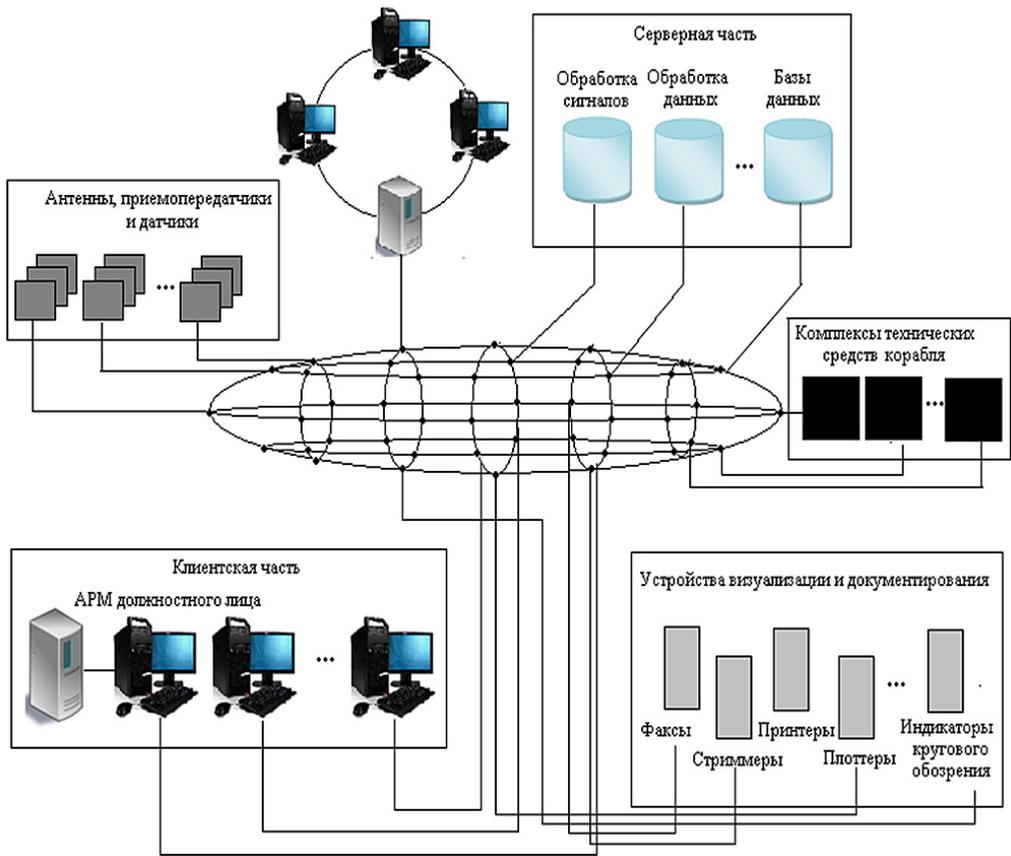


Рис. 2. Архитектура информационной инфраструктуры корабля на основе базовой информационной транспортной сети

Распределение длительности пребывания сообщения в подобной системе описывается в терминах преобразования Лапласа-Стилтьеса (ПЛС). На вход системы поступает  $K$  независимых пуассоновских потоков сообщений различных классов интенсивности  $\lambda_k$ . Длительности передачи сообщений каждого класса – независимые случайные величины с распределениями

$$F_k(x) = 1 - e^{-\mu_k x}, \quad (1)$$

где  $\mu_k = C/L_k$ ,  $C$  – пропускная способность канала;  $L_k$  – длина сообщения,  $k=1, \dots, K$ .

Для коммутатора вся сеть представляется наборами MAC-адресов устройств РЭВ, используемых на канальном уровне, причем каждый набор связан с определенным портом. Вся информация об адресах сетей, относящаяся к более высокому – сетевому уровню, им недоступна. Поэтому процессы обучения коммутаторов, филь-

трации и продвижения ими пакетов основаны на существовании одного логического пути между любыми двумя узлами сети.

Определим ПЛС длительности передачи сообщения  $k$ -го класса от абонента  $i$  к абоненту  $j$ . Пусть  $\pi_{ij} = \{e_{ijs}\}$  – множество элементов маршрута  $ij$ ,  $N_{ij} = \|\pi_{ij}\|$  – мощность этого множества,  $l$  – номер элемента маршрута, вносящего наибольшую задержку, т.е. «узкое» место маршрута. Тогда соответствующее ПЛС будет иметь вид:

$$\beta_{kij}(z) = \beta_{kl}(z) \prod_{\substack{s=1 \\ s \neq l}}^{N_{ij}} \beta_s(z), \quad (2)$$

где  $\beta_{kl}(z)$  – ПЛС длительности пребывания сообщения  $k$ -го класса в «узком» месте маршрута;  $\beta_s(z)$  – ПЛС длительности пребывания пакета в  $s$ -м элементе маршрута.

Данное распределение будет функцией от векторов интенсивностей поступления и обслуживания сообщений на элементы маршрута  $\beta_{kij}(z) = f(\bar{\Lambda}, \bar{M})$ .

Следует отметить, что интенсивность обслуживания напрямую зависит от длины сообщения, которая определяется прикладными процессами, реализуемыми в сети. Следовательно, исходная длина сообщений определяется верхним уровнем функциональной архитектуры ЭМВОС. Верхние уровни эталонной модели в процессе конвертации сообщения добавляют в него свою служебную информацию. Нижние уровни после фрагментации на пакеты добавляют в каждый свою служебную информацию.

Тогда, к моменту передачи сообщения по каналу, его длина наращивается в соответствии с

$$L_c^* = L_c \prod_{i \in I} (1 + \Delta_i), \quad (3)$$

где  $\Delta_i$  – избыточность, вносимая  $i$ -м уровнем эталонной модели;  $I$  – число уровней, участвующих в формировании сообщения.

Аналогичным образом наращивается и длина пакета:

$$L_n^* = L_n \prod_{j \in J} (1 + \Delta_j), \quad (4)$$

где  $\Delta_j$  – избыточность, вносимая  $j$ -м уровнем эталонной модели;  $J$  – число уровней, участвующих в формировании пакета.

Кроме того, при возникновении ошибки, которая не исправляется корректирующими кодами, происходит повторная передача пакета. Среднее число передач пакета при заданной вероятности возникновения ошибки в пакете  $P_{\text{ош}}$  будет

$$S = \sum_{k=1}^{\infty} k (1 - P_{\text{ош}})^{k-1} P_{\text{ош}} = \frac{1}{1 - P_{\text{ош}}}. \quad (5)$$

Таким образом, необходимо учитывать накладные расходы на организацию взаимодействия протоколов стека и на исправление ошибок. Для этого следует откорректировать интенсивности обслуживания сообщений.

Среднее количество бит, передаваемых по каналу, будет

$$L_b = L_n^* N, \quad (6)$$

где  $N$  – количество пакетов, передаваемых по каналу.

Благодаря экспоненциальному распределению длины сообщения можно выразить интенсивность передачи сообщения каналом с учетом накладных расходов на организацию взаимодействия протоколов стека и повторную передачу пакетов из-за ошибок в канале:

$$\mu = -C \ln \left( 1 - \frac{1}{L_b} \right). \quad (7)$$

Таким образом, предложенная модель дает распределение времени пребывания сообщения  $k$ -го класса в локальной сети корабля, построенной на основе технологии коммутации сегментов и узлов, при заданном векторе вероятностей возникновения ошибок на элементах маршрута для всех пар сетевых абонентов.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Придание информационной инфраструктуре корабля новых качеств в смысле сетевой организации транспортировки информации и распределенной обработки сигналов и данных может кардинально изменить информационный облик корабля [2].

Локальная вычислительная сеть корабля позволит:

- исключить параллелизм в выполняемых функциях образцов РЭВ;
- сократить стоимость создания и эксплуатации образцов РЭВ;
- повысить надежность, живучесть и ремонтпригодность образцов РЭВ.

### Литература

1. *Директоров Н.Ф., Катанович А.А.* Современные системы внутрикорабельной связи. – СПб.: Судостроение, 2001.
2. *Воскресенский В.В., Доценко С.М., Чудаков О.Е.* Информационное обеспечение управления и флот. – СПб.: Ника, 2002.
3. *Обрезков А.И.* Анализ систем массового обслуживания с неоднородными потоками заявок. – СПб.: ВУС, 1999. – 74 с.

*А.И. Бородин*

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ФАКТОР ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

*A.I. Borodin*

## ECONOMIC EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE AS THE FACTOR OF ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Систематизированы теоретические основы экономического эффекта и эффективности, исследована природа эффективности для обеспечения устойчивого развития предприятий, выделены виды экономической эффективности и определена сущность экономического эффекта, обобщены существующие показатели эффективности, представлена совокупность средств и способов обеспечения экономической эффективности для устойчивого развития предприятия.*

*Ключевые слова: экономическая эффективность, устойчивое развитие, экономический эффект, предприятие, эффект, управление, экономический рост предприятий.*

*In this work has been systematized theoretical foundations of economic benefit and efficiency, was investigated the nature of the efficiency for sustainable enterprise development, was highlighted economic benefits and the essence of the economic effect, summarized the existing performance indicators, was represented a set of means and methods to ensure cost-effectiveness for the sustainable enterprise development.*

*Key words: economic efficiency, sustainable development, economic benefit, the enterprise, effect, management, economic growth of the enterprises.*

Экономические успехи предприятий, их устойчивый рост становятся всё более зависимыми от способности персонала обеспечить эффективность деятельности предприятия. Однако, прежде чем принимать новые управленческие решения, обеспечивающие устойчивое развитие предприятия, необходимо учитывать те препятствия, которые могут возникнуть при достижении эффективности. Поэтому при разработке эффективных управленческих технологий очень важно исследовать природу эффективности, изучить все показатели эффективности, понимать отличие экономического эффекта от эффективности.

Вопросам изучения отдельных критериев и показателей эффективности и определения экономического эффекта посвящены множество работ советских, отечествен-

ных и зарубежных экономистов. Большинство советских экономистов, таких как Абалкин Л.И., Аганбегян А.Г., Волостных В.В., Выборнов В.И., Егизарян Г.А., Капустин В.И., Крылов Э.И., Маврищев В.С., Петухов Р.М., Сатуновский Л.М., Сергеев А.А., Смахов Б.М., Хачатуров Т.С. и др. рассматривают эффективность с точки зрения народного хозяйства и общественного производства в целом. Переход к формату рыночной экономики определил изменение научных взглядов на вопрос экономической эффективности: в частности, работы таких ученых, как Баканов М.И., Гончаров В.В., Ковалев В.В., Негашев Е.В., Савицкая Г.В., Стражев В.И., Черняк В.И., Шеремет А.Д., Фатхутдинов Р.А. и др. посвящены определению критериев и показателей экономической эффективности деятельности на уровне отдельного предприятия. Вопросам изучения и оценки эффективности деятельности коммерческих предприятий посвящены также научные труды зарубежных экономистов: Тодаро М., Кинг У., Клиланд Д., Питерс Т., Уотермен Р., Хайниш С., Беа Ф., Дихтл Э., Ришар Ж., Каплан Р., Нортон Д. и др. В то же время, проблемам систематизации показателей экономической эффективности и определению фактического экономического эффекта все еще не уделяется достаточно внимания.

Целью данной статьи является систематизация теоретических основ эффективности, исследование природы и показателей эффективности для разработки эффективных концепций управления, обеспечивающих экономический рост предприятий.

Эффективность производства относится к числу ключевых категорий рыночной экономики, которая непосредственно связана с достижением конечной цели развития производства в целом и каждого предприятия в отдельности. В наиболее общем виде экономическая эффективность производства представляет собой количественное соотношение двух величин - результатов хозяйственной деятельности и произведенных затрат (в любой пропорции). Исторически при всех способах производства безотносительно к формам собственности производителя интересует соотношение между затратами и результатами своей деятельности. Сущность проблемы повышения эффективности производства состоит в увеличении в процессе использования имеющихся ресурсов экономических результатов на каждую единицу затрат.

**Эффект** — от лат. effectus результат, воздействие. Соответственно, эффективность — это результативность.

**Экономический эффект** предполагает какой-либо полезный результат, выраженный в стоимостной оценке. Обычно в качестве полезного результата выступают прибыль или экономия затрат и ресурсов.

**Экономическая эффективность** — это соотношение между результатами хозяйственной деятельности и затратами живого и овеществленного труда, ресурсами.

Эффективность — одна из возможных характеристик качества некоторой системы, в частности, экономической, а именно ее характеристика с точки зрения соотношения затрат и результатов функционирования системы. В зависимости от того, какие затраты и особенно - какие результаты принимаются во внимание, можно говорить об экономической, социально-экономической, институциональной, социальной, экологической эффективности. Однако границы между этими понятиями расплывчаты и вокруг них ведутся активные дискуссии.

Эффективность является одним из важнейших показателей человеческой активности, взятым с точки зрения ее способности обеспечить конечный результат. Чаше

всего данный термин употребляется в контексте хозяйственной деятельности, т.е. экономики. Эффективность является ключевым понятием хозяйственной практики. В ней выражается совокупность наиболее общих, существенных и устойчивых связей и отношений по поводу полученных результатов хозяйственной деятельности и произведенных в ее ходе затрат. Как экономическая категория эффективность дает единую качественно-количественную характеристику результативности хозяйствования. Она присуща всему воспроизводственному процессу в целом и всем его фазам: производству, распределению, обмену и потреблению и находит свое выражение и реальное воплощение в деятельности любого хозяйственного звена и хозяйственных систем всех уровней, будь это отдельная фирма, предприятие, домохозяйство, отрасль, регион или вся экономика в целом [3].

Вначале понятие эффективности относили к технике и технологии. При этом под эффективностью понимали меру выполненной работы по отношению к затраченной энергии или соотношение между фактическим и потенциальным результатом любого процесса. Эффективность экономической деятельности ещё более четко подчеркивает оценочный характер категории «эффективность». Она всегда связана с отношением ценности результата к ценности затрат и может меняться с изменением оценок.

Экономическая эффективность — важнейшая социально-экономическая категория, для которой характерны свойства динамичности и историчности.

Эффективность производственной деятельности присуща различному уровню развития производительных сил каждой общественной формации. На всех этапах исторического развития общество всегда интересовал вопрос: ценой каких затрат и ресурсов достигается конечный производственный результат. Следовательно, исходная модель количественной оценки эффективности представляет собой соотношение между экономическими результатами и затратами, ресурсами. Максимизация конечных результатов с единицы затрат и ресурсов или минимизация затрат и ресурсов на единицу конечного результата — такова первичная цель общества, трудового коллектива, отдельной личности (работника). Эта цель, метод ее достижения, пути и резервы повышения экономической эффективности (их классификация и количественная оценка) являются содержанием экономической науки и экономических дисциплин (отраслевых и функциональных) [5].

Понятие «эффективность экономической системы» часто отождествляют с понятиями оптимальности и интенсивности. Однако эффективность является синонимом оптимальности лишь в том случае, если качество системы оценивается по критерию ее эффективности, а не по иным критериям (например, по скорости роста, по обеспечению социальной справедливости и т. п.). В этом случае, соответственно, критерий оптимальности — то же, что критерий эффективности. Понятие интенсивности функционирования экономической системы также не полностью совпадает с понятием ее экономической эффективности, так как означает степень реализации потенциальной экономической эффективности на том или ином этапе [1].

Различают общую (абсолютную) и сравнительную (относительную) эффективность. Общая эффективность необходима для оценки и анализа общеэкономических результатов и эффективности на различных уровнях экономики (макро- и микроу-

ровнях) за определенный период времени и в динамике для сопоставления уровня эффективности по предприятиям и регионам.

Сравнительная эффективность рассчитывается и анализируется при обосновании принимаемых производственно-хозяйственных, технических и организационных решений, для отбора из альтернативных вариантов оптимального. Такой отбор осуществляется на основе сопоставления по вариантам системы технико-экономических показателей, расчета срока окупаемости или коэффициента эффективности дополнительных капитальных вложений, величины экономического эффекта [4].

Следует отметить, что в отличие от экономического эффекта эффективность в этом значении - не абсолютная (эффект за определенный период), а относительная величина: наиболее распространенный способ ее определения заключается в делении величины эффекта на величину затрат (эффект на единицу затрат). Отсюда при прочих равных условиях чем больше экономический эффект (или результаты) и меньше примененные для этого ресурсы, тем выше эффективность системы. Уровень эффективности - важнейшая характеристика качества системы и качества решений (действий), изменяющих ее. Вариант функционирования экономической системы, обеспечивающий наибольшую ее эффективность в данных условиях (при заданных ограничениях), является оптимальным.

Наряду с общей эффективностью функционирования системы рассматривается частная эффективность ее отдельных частей и факторов, воздействующих на нее. Мерой частной эффективности является ее вклад в общую эффективность.

Принято выделять два аспекта эффективности: экономический и социальный.

Экономический аспект является результатом экономической деятельности, экономических программ и мероприятий, характеризуемый отношением полученного экономического эффекта, к затратам факторов, ресурсов, обусловившим получение этого результата, достижение наибольшего объема производства с применением ресурсов определенной стоимости.

Социальный аспект отражает соответствие результата производственно- хозяйственной деятельности социальным целям общества, коллектива, приоритетность человеческого (личностного) фактора в развитии экономики. При этом считается, что экономическая эффективность прямо характеризует соотношение результатов с затратами, необходимыми для их достижения, а социальная эффективность - степень достижения социальных параметров. Рассматриваемые в единстве, они образуют понятие «социально-экономическая эффективность».

Понятие эффективности является едва ли не самым важным в экономической теории и практике. Каждый предприниматель крайне заинтересован в эффективном ведении хозяйства. Поэтому чрезвычайно важно понять суть этого явления. Это тем более важно, потому что изучение использования любого ресурса подразумевает рассмотрение показателей эффективности их использования. Иными словами, характеризуя любую деятельность, важно знать не только, каков результат этой деятельности, но и каким образом он был достигнут: какие для этого были использованы ресурсы и насколько эффективно. Поэтому, в общем смысле, эффективность - это соотношение между результатом и затратами или ресурсами, которые этот результат вызвали [2].

Соотнесение результатов с затратами может производиться различными способами: логически (например, при определении эффективности обучения); в виде разности, когда из результата вычитают затраты (например, прибыль определяется как разница между результатом - выручкой и затратами на ее получение. [1])

Экономия - это абсолютный показатель эффективности, так как определяется как разница между нормативным (ресурсом) и реальным уровнем затрат). Такие показатели называются абсолютными.

Если показатели определяются в виде отношения затрат и результатов (например, производительность труда как соотношение между результатами труда и затратами труда и т. д.), они называются относительными. Относительные показатели бывают прямыми и обратными.

Прямые показатели называют показателями отдачи. Эти показатели призваны ответить на вопрос, сколько единиц результата «снимается» с единицы затрат, или какова «результатоотдача» затрат.

Обратные - показателями емкости. Эти показатели призваны ответить на вопрос, сколько необходимо единиц затрат для получения единицы результата, или какова «затратоемкость» результата.

В любом случае, определить эффективность - это значит соотнести результат с затратами (или ресурсами), которые этот результат вызвали. Однако содержание показателя эффективности и то, на какой вопрос он будет давать ответ, зависит от того, что исследователь берет в качестве результата и что в качестве затрат.

В период рыночной экономики и усиления конкурентной борьбы задачей какой-либо деятельности является «получение максимума результатов при минимуме затрат». С точки зрения математики, такое выражение некорректно, поскольку это означает, что результат должен стремиться к бесконечности, а затраты к нулю. То есть предлагается получить все из ничего. С точки зрения экономики это очень трудно осуществимая задача. Чаще всего повышения эффективности достигают двумя путями:

- либо достижения максимума результата при фиксированном объеме затрат;
- либо достижения минимума затрат при фиксированном объеме результата.

Таким образом, для того чтобы добиться повышения эффективности производственно-хозяйственной деятельности, необходимо рассмотреть, что собою представляют результаты деятельности предприятия, и что собой представляют его ресурсы и затраты. Система показателей эффективности производства должна давать всестороннюю оценку использования всех ресурсов предприятия и содержать все общеэкономические показатели. Очень важно, чтобы расчеты эффективности производства велись непрерывно: на стадиях проекта плана, утверждения плана, по мере его выполнения. В системе показателей эффективности производства не все из них имеют одинаковую значимость. Есть главные и дополнительные (дифференцированные) показатели. Если первые принято называть обобщающими, то вторые являются функциональными, характеризующими какую-либо определённую сторону деятельности.

Действенная, мобилизующая роль показателей эффективности производства во многом определяется методологией их расчета.

Следует заметить, что, ориентируясь только на темпы роста как на показатель, характеризующий эффективность производства, можно упустить главный фактор

эффективности - интенсификацию производства, т.к. высокие темпы роста могут быть достигнуты и за счет экстенсивных факторов, т.е. в результате дополнительных капитальных вложений на расширение производства (новое строительство, обновление оборудования, реконструкция предприятий), хотя использование средств и внутренних резервов производства при этом может оставаться на низком уровне.

Однако было бы ошибочно из сказанного делать вывод о непригодности показателя темпов роста для оценки эффективности производства и отдельных технико-экономических показателей.

Как уже говорилось, длительное время в среде экономистов велась дискуссия о том, с помощью какого показателя можно наиболее объективно определять эффективность производства. Предлагались различные формулы, но каждая из них имела свои положительные и отрицательные стороны, достоинства и недостатки. И поскольку ни один из предлагаемых показателей не может выступать в качестве универсального, для оценки эффективности производства была введена система показателей, в которой показатели оценки и планирования повышения экономической деятельности были объединены в четыре группы (и, таким образом, экономическая эффективность рассматривается как многомерное явление):

1. Обобщающие показатели экономической эффективности производства;
2. Показатели эффективности использования труда;
3. Показатели эффективности использования основных фондов, оборотных средств и капитальных вложений;
4. Показатели эффективности использования материальных ресурсов.

Уровень экономической и социальной эффективности производства зависит от многих факторов, которые ее определяют. В области практического решения задач управления эффективностью важное значение приобретает классификация факторов ее повышения. Все факторы целесообразно классифицировать по ограниченному количеству групповых признаков - это способствует определению главных направлений и путей повышения эффективности производства.

Классификация большого разнообразия факторов повышения эффективности (производительности) может осуществляться по трем признакам:

- 1) видам затрат и ресурсов (источниками повышения);
- 2) направлениям развития и усовершенствования производства;
- 3) местом реализации в системе управления производством.

Эффективность может быть выражена в количественных показателях, это дает возможность:

- а) сопоставления эффективности одной системы в разных условиях;
- б) сравнения эффективности разных систем между собой;
- в) определения т. н. абсолютной эффективности, что, однако, является еще далеко не разрешенной задачей, т.к. требует не только надежного измерения экономических величин, но и согласованной, общепринятой точки отсчета.

Обычно анализируются показатели эффекта и эффективности, характеризующие успешность экономической деятельности предприятия, так как по отдельности они не могут дать полной и всеобъемлющей оценки деятельности предприятия.

Для определения эффективности хозяйственной деятельности предприятия применяется система показателей (табл. 1).

При рассмотрении показателей важно отметить, что рыночные отношения предполагают, что в каждой сфере бизнеса должны быть свои показатели (часто нигде более не применяемые).

Таблица 1

**Система показателей эффективности хозяйственной деятельности предприятия**

Показатель	Характеристика	Способ расчета
<b>1. Производительность труда</b>		
1. Выработка	Отражает количество продукции, произведенной в единицу рабочего времени или приходящееся на одного среднесписочного работника в месяц, квартал, год	Отношение количества произведенной продукции к затратам рабочего времени на производство этой продукции
2. Трудоемкость	Величина, обратная выработке, характеризует затраты труда на производство единицы продукции	Отношение затрат труда к объему продукции
<b>2. Показатели использования основных фондов</b>		
1. Фондоотдача	Отражает количество произведенной продукции в расчете на 1 руб. основных производственных фондов	Отношение годового объема реализованной продукции к среднегодовой стоимости основных производственных фондов
2. Фондоёмкость	Показатель, обратный фондоотдаче. Отражает стоимость основных производственных фондов в расчете на 1 руб. реализованной продукции	Отношение среднегодовой стоимости основных производственных фондов к годовому объему реализованной продукции
3. Фондовооруженность труда	Характеризует оснащенность работников предприятия основными производственными фондами	Отношение среднегодовой стоимости основных производственных фондов к среднесписочной численности работников
4. Коэффициент интенсивности использования оборудования	Характеризует эффективность использования оборудования	Отношение фактического объема выпущенной продукции к установленной производственной мощности оборудования (пропускной способности)
<b>3. Показатели использования оборотных средств</b>		
1. Коэффициент оборачиваемости оборотных средств	Показывает, сколько оборотов совершили оборотные средства за анализируемый период (квартал, полугодие, год)	Отношение объема реализованной продукции за отчетный период к среднегодовому остатку оборотных средств за этот же период

Показатель	Характеристика	Способ расчета
2. Коэффициент закрепления оборотных средств	Показатель, обратный коэффициенту оборачиваемости оборотных средств. Характеризует сумму оборотных средств, приходящихся на 1 руб. выручки от реализации	Отношение среднего остатка оборотных средств за отчетный период к объему реализации за этот же период
3. Длительность одного оборота	Показывает, за какой срок к предприятию возвращаются его оборотные средства в виде выручки от реализации продукции	Число дней в отчетном периоде, деленное на коэффициент оборачиваемости оборотных средств
4. Материалоемкость продукции	Характеризует суммарный расход всех материальных ресурсов на производство единицы продукции	Отношение суммы материальных затрат, включенных в себестоимость реализованной продукции, к ее объему
5. Материалоотдача	Показатель, обратный материалоемкости продукции. Отражает количество произведенной продукции в расчете на 1 руб. материальных ресурсов	Отношение объема реализованной продукции к сумме материальных затрат
<b>4. Показатели рентабельности</b>		
1. Рентабельность продукции	Эффективность затрат, произведенных предприятием на производство и реализацию продукции	Отношение прибыли от реализации продукции к сумме затрат на производство и реализацию продукции
2. Рентабельность производства общая	Характеризует прибыльность (убыточность) производственной деятельности предприятия за определенный период времени (год, квартал)	Отношение балансовой прибыли к среднегодовой стоимости основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств
3. Рентабельность продаж (оборота)	Показывает, какую прибыль имеет предприятие с каждого рубля реализованной продукции	Отношение прибыли к средней за период величине чистых активов
4. Рентабельность имущества предприятия	Показывает, какую прибыль получает предприятие с каждого рубля, вложенного в активы	Отношение чистой прибыли к средней за период величине чистых активов
5. Рентабельность собственного капитала	Показывает эффективность использования средств, принадлежащих собственникам предприятия. Служит основным критерием при оценке уровня котировки акций на бирже	Отношение чистой прибыли к средней за период величине собственного капитала

Систематический и всесторонний анализ эффективности деятельности предприятия позволит:

- быстро, качественно и профессионально оценивать результативность хозяйственной деятельности как предприятия в целом, так и его структурных подразделений;

- точно и своевременно находить и учитывать факторы, влияющие на получаемую прибыль по конкретным видам производимых товаров и предоставляемых услуг;
- определять затраты на производство и тенденции их изменения, что необходимо для разработки ценовой политики предприятия;
- находить оптимальные пути решения проблем предприятия и получения прибыли в ближайшей и отдаленной перспективе, как следствие — обеспечить устойчивое развитие предприятия.

### ***Литература***

1. *Васильев И. А.* Анализ эффективности инвестиционных проектов. — М.: ВЕДИ, 2001. — 208 с.
2. *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Орлова Е.Р., Смоляк С.А.* Методы оценки инвестиционных проектов. — М.: Дело, 1998. — 248 с.
3. *Волков В.И.* Методология комплексной экспертизы инвестиционных программ и проектов. Ч. 2. — М.: РИНКЦЭ, 2004. — 200 с.
4. Инновационно-технологическая экспертиза инвестиционных проектов и программ / Под ред. Ю.В. Яковца. — М.: МФК, 2002. — 91 с.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Официальное издание — М.: Экономика, 2000. — 421 с.

*М.А. Ермолина*

**ПЛАТА ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРАВОПРИМЕНЕНИЯ**

*М.А. Ermolina*

**PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL POLLUTION AND PROBLEMS OF ENFORCEMENT**

*В работе анализируются спорные позиции высших судебных органов по вопросу правомерности взимания платежей за загрязнение окружающей среды с отдельных групп природопользователей.*

*Ключевые слова: платность природопользования, плата за загрязнение окружающей среды, окружающая среда, негативное воздействие на окружающую среду, принципы охраны окружающей среды.*

*This article analyzes the law enforcement practice and the controversial position of higher judiciary on the issue of the legality of charging for pollution from separate groups of natural resources.*

*Key words: board for wildlife management, a board for environmental contamination, environment, negative influence on environment, principles of preservation of the environment.*

В федеральном законодательстве закреплена обязанность предприятий-природопользователей по внесению платы за загрязнение окружающей среды, размещение отходов, другие виды негативного воздействия. Международно-правовой принцип «загрязнитель платит», имплементированный в российское законодательство об охране окружающей среды, вроде бы сам по себе не нуждается в толковании [15]. Плата за загрязнение окружающей среды является важнейшим элементом экономического механизма рационального природопользования и принципом охраны окружающей среды при осуществлении хозяйственной и иной деятельности [14]. Вместе с тем, как показывает правоприменительная практика, позиция судов по данному вопросу далеко не однозначна. Вопрос состоит в том: все ли предприятия, на которых образуются отходы производства и потребления, несут обязанность по внесению платежей за загрязнение окружающей среды?

В соответствии со статьей 58 Конституции Российской Федерации, «каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории»[3].

Негативное воздействие на окружающую среду является платным (пункт 1 статьи 16 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 (с изменениями от 19.07.2011) [6].

Согласно статье 1 указанного закона, негативное воздействие на окружающую среду — это воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия осуществления которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды. К видам же негативного воздействия на окружающую среду Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (пункт 2 статьи 16) относит:

- а) выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и иных веществ;
- б) сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади;
- в) загрязнение недр, почв;
- г) размещение отходов производства и потребления;
- д) загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий;
- е) иные виды негативного воздействия на окружающую среду.

В статье 1 Федерального закона от 24.06.1998 N 89-ФЗ (с изменениями от 19.07.2011) «Об отходах производства и потребления» определено, что отходы производства и потребления — это остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства [5].

В соответствии со статьей 1 указанного закона под «размещением отходов» понимается хранение и захоронение отходов. Хранение отходов — это содержание отходов в объектах размещения отходов в целях их последующего захоронения, обезвреживания или использования; захоронение отходов — это изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду; объект размещения отходов — это специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов (полигон, шламохранилище, хвостохранилище, отвал горных пород и др.).

Согласно статье 12 данного закона, создание объектов размещения отходов осуществляется на основании разрешений, выданных федеральными органами исполнительной власти в области обращения с отходами в соответствии со своей компетенцией.

Порядок исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду установлен Постановлением Правительства Российской Федерации от 28.08.1992 N 632 (с изменениями от 14.05.2009) «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» [7].

Положения вышеназванных норм федерального законодательства стали основой решений судов различных инстанций, однако каждый из органов правосудия придерживается собственной интерпретации существа вопроса относительно правовой природы и сущности института платы за природопользование.

Так, например, еще в 2004 г. Постановлением Федерального Арбитражного суда Северо-Западного округа от 07.12.2004 N А56-2567/04 было подтверждено, что «наличие договора на размещение (вывоз) отходов не освобождает природопользователя от внесения платы за размещение отходов потребления, размер которой зависит от количества и качества (опасности) отхода данного вида, вывезенного за расчетный квартал» [13].

Подобное мнение нашло отражение и в позиции Конституционного Суда РФ, изложенной в постановлении от 14.05.2009 N 8-П «По делу о проверке конституционности Положения подпункта «б» пункта 4 постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» в связи с запросом Верховного суда республики Татарстан»[8].

Конституционный суд признал незаконным освобождение конкретных организаций от внесения платы за загрязнение окружающей природной среды, поскольку это «нарушает конституционный порядок использования окружающей среды, основанный на том, что земля и другие природные ресурсы являются основой жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории, и предполагающий, что плата за негативное воздействие на окружающую среду является обязательной для всех природопользователей».

Вместе с тем позиция, изложенная в вынесенном позже Постановлении Президиума Высшего Арбитражного Суда РФ от 20.07. 2010 № 4433/10 диаметрально противоположна [12]. По мнению данного органа, обязанность по внесению платы за негативное воздействие на окружающую среду возлагается на физических и юридических лиц только в случае, если в результате их деятельности происходит такое воздействие на окружающую среду, которое подпадает под виды негативного воздействия, установленные Федеральным законом «Об охране окружающей среды». При этом ВАС РФ обратил внимание на то, что деятельность по размещению отходов носит специализированный характер и осуществляется в специально оборудованных местах.

Однако появившееся немногим позднее Определение Верховного суда Российской Федерации от 30.11.2010 N 78-Впр10-33 содержит вывод о том, хранение отходов не посредством их специализированного размещения в специально оборудованных местах все же не освобождает предприятие от предусмотренной законом обязанности по внесению платы за негативное воздействие на окружающую среду»[10].

Данное решение апеллирует к содержащему аналогичную позицию Определению Конституционного Суда Российской Федерации N 284-О от 10.12.2002 № 284-О «По запросу Правительства Российской Федерации о проверке конституционности Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» и статьи 7 Федерального закона «О введении в действие части первой Налогового кодекса Российской Федерации»[11].

Верховный суд также указал, что «платежи за негативное воздействие на окружающую среду как необходимое условие получения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями права осуществлять хозяйственную и иную деятельность, оказывающую негативное воздействие на окружающую среду, являются обязательными публично-правовыми платежами (в рамках финансово-правовых отношений) за осуществление государством мероприятий по охране окружающей среды и ее восстановлению от последствий хозяйственной и иной деятельности, оказывающей негативное на нее влияние в пределах установленных государством нормативов такого допустимого воздействия».

Казалось бы, с вопросом относительно правомерности взимания платежей все понятно, однако Верховный суд пошел еще дальше, сделав не вполне логичный вывод о том, что «невнесение платежей за негативное воздействие на окружающую среду, зачисление которых в силу статей 51, 57, 62 Бюджетного кодекса Российской Федерации подлежит в бюджеты разных уровней, повлечет финансовую невозможность принятия со стороны государства мер, направленных на предотвращение вреда, причиняемого природной среде и здоровью человека в результате хозяйственной деятельности ответчика».

По логике высших судебных органов, плательщиками природоохранных платежей являются любые юридические лица, включая те же Конституционный суд РФ, Верховный суд РФ и Высший арбитражный суд. Однако здесь опять же следует обратиться к федеральному законодательству.

Так, в силу статьи 4 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» право собственности на отходы принадлежит собственнику сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, а также товаров (продукции), в результате использования которых эти отходы образовались. В связи с этим следует заметить, что осуществлявший в недавнее время соответствующие природоохранные функции Ростехнадзор в письме от 28.10.2008 N 14-07/6011 «О плате за размещение отходов производства и потребления» пояснил, что «лицом, размещающим отходы», является их собственник либо лицо, «осуществляющее их хранение и (или) захоронение в соответствии с договором о конечном размещении, заключенным с собственником отходов (договор, в соответствии с которым контрагент принимает на себя все обязанности по размещению отходов, расчету платы и ее внесению)»[9]. Вместе с тем наличие такого договора не освобождает предприятие от внесения платы за негативное воздействие на окружающую среду, за исключением случаев, когда в договоре предусмотрен переход права собственности на отходы к такой специализированной организации либо когда заключенный договор является договором о конечном размещении отходов.

Очевидно, что и российский природопользователь еще не до конца осознал значимость природоохранных норм, которые, в конечном счете, выгодны как государству, так и ему самому. Так, Бюджетным кодексом РФ от 31.07.1998 (с изменениями от 30.11.2011) в статьях 51 и 57 установлены нормативы распределения платы за негативное воздействие на окружающую среду в бюджеты бюджетной системы Российской Федерации в размере: 20 % – в федеральный бюджет, 40 % – в бюджеты субъектов Российской Федерации 40 % – в бюджеты муниципальных районов и городских округов; в бюджеты городов Москвы и Санкт-Петербурга – 80 % [1]. Федеральным законодательством предусмотрены методы экономического стимулирования предприятий, уменьшающих негативное воздействие на окружающую среду. Наконец, соблюдая экологические требования, предприятие повышает свою инвестиционную привлекательность, по крайней мере, для зарубежных компаний[4].

Несмотря на это, «стимулом», побуждающим предприятия вносить плату за окружающую среду, как и прежде, являются лишь возможные меры административного воздействия. В частности, статья 8.41 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (с изменениями от 06.12.2011)

предусматривает за «невнесение в установленные сроки платы за негативное воздействие на окружающую среду» наложение административного штрафа на должностных лиц в размере от трех до шести тысяч рублей; на юридических — от пятидесяти до ста тысяч рублей [2].

Однако большинство предприятий все же предпочитают уклоняться от внесения платежей за загрязнение окружающей среды.

### Литература

1. Бюджетный кодекс Российской Федерации от 31.07.1998 (с изменениями от 30.11.2011) // СЗ РФ. 1998. №31. Ст. 3823. URL: <http://www.consultant.ru>
2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 N 195-ФЗ (с изменениями от 06.12.2011) // СЗ РФ. 2002. №1 (ч.1). Ст.1. URL: <http://www.consultant.ru>
3. Конституция Российской Федерации. Принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года (с поправками от 30.12.2008 N 7-ФКЗ) // Российская газета 2009, 21 января.
4. *Нечитайло А.И.* Принципы функционирования экономического механизма управления рациональным природопользованием в хозяйственной деятельности предприятий // Ученые записки РГГМУ, 2006, №3, с.158-166.
5. «Об отходах производства и потребления»: федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (с изменениями от 19.07.2011) // СЗ РФ. 1998. №26. Ст.3009. URL: <http://www.consultant.ru>
6. «Об охране окружающей среды»: федеральный закон от 10.01.2002 (с изменениями от 19.07.2011) // СЗ РФ.2002.32.Ст.133. URL: <http://www.consultant.ru>
7. «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия»: постановление Правительства Российской Федерации от 28.08.1992 N 632 (с изменениями от 14.05.2009) // Российская газета 1992, 16 сентября. URL: <http://www.consultant.ru>
8. «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» в связи с запросом Верховного суда республики Татарстан»: постановление Конституционного Суда РФ от 14.05.2009 N 8-П «По делу о проверке конституционности Положения подпункта «б» пункта 4 постановления Правительства Российской Федерации» // Российская газета 2009, 27 мая. URL: <http://www.consultant.ru>
9. «О плате за размещение отходов производства и потребления»: письмо Ростехнадзора от 28.10.2008 N 14-07/6011 // URL:<http://www.consultant.ru>
10. Определение Верховного Суда Российской Федерации от 30.11.2010 N 78-Впр10-33. URL: <http://www.consultant.ru>
11. «По запросу Правительства Российской Федерации о проверке конституционности Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» и статьи 7 Федерального закона «О введении в действие части первой Налогового кодекса Российской Федерации»: определение Конституционного Суда Российской Федерации N 284-О от 10.12.2002 № 284-О // Российская газета 2002, 25 декабря. URL: <http://www.consultant.ru>
12. Постановление Президиума Высшего Арбитражного Суда РФ от 20.07. 2010 № 4433/10. URL: <http://www.consultant.ru>
13. Постановление Федерального Арбитражного суда Северо-Западного округа от 07.12.2004 N A56-2567/04. URL: <http://www.consultant.ru>
14. *Сердитова Н.Е.* Экономика природопользования: эколого-экономический аспект // Ученые записки РГГМУ, 2007, №4, с.149-165.
15. *Фирова И.П.* Современные аспекты концепции устойчивого развития // Ученые записки РГГМУ, 2005, №3, с.137-145.

# СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

*М.Г. Лазар*

**ЭТИКА НАУКИ КОНЦА XX - НАЧАЛА XXI ВВ. И ЕЕ ПРОБЛЕМЫ**

*M.G. Lazar*

**THE ETHICS OF SCIENCE AT THE EDGE OF XX AND XXI CENTURY AND ITS PROBLEMS**

*В статье раскрываются нравственные аспекты функционирования науки как социального института, содержание этики науки как формы самосознания науки, профессионально-этические нормы выбора темы исследований, выполнения процедур проверки и экспертизы, научной публикации и соавторства, научной дискуссии. Раскрыты формы и содержание гражданской и нравственной ответственности ученых.*

*Ключевые слова: мораль, нравственность, этика, этика науки, нормы профессиональной морали, этика ученого, этическая ответственность.*

*The article covers moral aspects of scientific functioning as a social institution as well as the contents of the ethics of science as a form of its self cognition. The author pays attention to professional and ethic norms of the research aspect's selection, carrying out procedures of expertise and examination, scientific publication, co-authorship and scientific discussion. Forms of and contents of civil and moral responsibility of academics are considered.*

*Key words: Morals, morality, ethics, ethics of science, norms of professional morals, ethics of a scientist, ethics responsibility.*

Классическая наука, с момента ее оформления в XVII в. придерживалась идеала объективности процесса познания и его результата. Это означает, что в науке (в английском смысле слова «science» — естествознание) не было место для морали, для других ценностей, наука и постижение истины мыслилась как автономная от религии, морали, политики сфера духовной деятельности. В условиях борьбы науки и религии, вплоть до XX в., позиция «наука ради науки», этической нейтральности науки была понятна и объяснима: наука была бастионом и символом свободы, она стремилась быть автономной от общества и его институтов областью занятий.

Однако, после Второй мировой войны, отношение общества к науке меняется в результате изменившегося социального статуса и возможностей самой науки. Предложенная Просвещением и позитивизмом мечта о том, что наука (и знания) способны преодолеть социальное зло, создать предпосылки для блага и счастья всех людей планеты переживает острейший кризис. Наука XIX – первой половины XX вв. действительно открыла невиданные возможности воздействия человека на природу, породила умнейшие машины, технику, средства спасения миллионов людей от опасных болезней, но она не смогла создать царство разума и справедливости. Более того, среди научных достижений XX века – ядерное и термоядерное оружие, бактериологическое, химическое оружие как средства массового уничтожения людей. Детища европейской цивилизации – наука и техника породили возможность самоуничтожения цивилизации и всего живого на Земле. Практическое применение научных достижений, наряду с положительными последствиями, имело и отчетливо отрицательные последствия – загрязнение атмосферы, отравление рек и океанов, уничтожение флоры и фауны, лесов и почвы и т.п. Люди, назвавшие себя учеными в годы второй мировой войны в разных странах ставили опыты над военнопленными, проводили исследования по травматологии и онкологии в концлагерях, исследовали действие газа на человеческий организм.

Вследствие всего этого наука начинает восприниматься многими людьми как источник социального зла и риска, как социальная опасность. Прогресс науки и применение ее достижений **выдвинули тем самым проблемы социального контроля над наукой, нравственного самоконтроля, гражданской и этической ответственности** ученых за ее практическое использование, проблематика, которая сегодня составляет предмет **этика науки**.

Существующее многообразие подходов к оценке изменившейся социальной роли науки и отношения общества к ней можно свести к трем точкам зрения. Первая – **сциентистская** (от латинского *scientia* – наука), **продолжающая отмеченное отношение** Просвещения и позитивизма к науке и знаниям – абсолютизирует возможности науки в решении социальных проблем, игнорируя при этом возможности других, ненаучных форм деятельности в этом направлении. Вторая точка зрения, близкая к первой, **состоит в абсолютном разведении содержания научных поисков, их результатов и их возможного практического применения**. Наука ни в чем не виновата, она нейтральна по отношению к политике, экономике, а значит и этически нейтральна. Этот подход – следствие узкой специализации ученых, ограничения их интересов лишь профессиональной сферой, низкого уровня их гуманитарной культуры. Третья точка зрения, именуемая **гуманистической** (по сути – **антисциентистской**) представляет собой широко распространенное пессимистическое отрицательное, отношение к (западной) науке как не оправдавшей ожиданий общества, враждебной людям силе, противостоящее гуманистическим компонентам культуры. Наука, согласно этой трактовке, дает возможность производить как можно больше вещей, товаров, но она подавляет в человеке человеческое, превращает его в объект для манипулирования. Поэтому ученые – безответственные, социально опасные люди, деятельность которых должна быть поставлена под жесткий социальный контроль.

Все представленные точки зрения сходятся на понимании науки как автономной сферы деятельности, на абсолютизации ее могущества, она рассматривается как

злой джин, выпущенный из бутылки. При этом игнорируется то, что наука — лишь один из элементов социальной системы, взаимодействующий со всеми ее компонентами — экономикой, политикой, правом, моралью, поэтому наука и ее творцы всегда ориентированы на реализацию социальных программ с разными ценностными идеалами. Это означает, что реализация потенциала науки при решении социальных проблем зависит от многих факторов, и не в последнюю очередь от типа социально-политического устройства каждой страны, от степени открытости и демократизма общества, от наличия контроля общества над властью. Все высказанные точки зрения объединяет, несомненно, мысль о том, что возрастающая роль науки в современном обществе **предполагает усиление социального контроля над ней** (о котором мы написали в 23 номере данного журнала).

Задачей данной статьи является раскрытие содержания **этики науки**, которая представляет собой философско-этическое и социологическое изучение взаимоотношений науки и морали: а) в плане воздействия науки на мораль, знаний и научного прогресса на нравы и моральность людей; б) в плане воздействия морали на науку, ценностей и норм морали на отношения в науке и ее результаты [5, с. 150]. Этика науки рассматривает идеалы и ценностные ориентации науки, ее гуманистическое назначение. Как область знаний она является составной частью философии науки, социологии науки и этики, она может развиваться как направление науковедения, на основе реального осуществления этического подхода к складывающимся сегодня в современной науке отношениям и ситуациям.

Прежде чем раскрыть содержание этики науки отметим кратко, что же понимается нами под моралью и этикой, каковы их регулятивно-нормативные возможности. Это необходимо сделать, поскольку при рассмотрении этической проблематики науки в рамках сложившихся традиций их изложении, авторы работ не дают свое понимание морали и этики.

**Мораль** как социальное явление представляет собой специфическую форму отражения социальной действительности в оценочно-ценностных категориях, суждениях; она выражает ценностное отношение человека к окружающей действительности в пределах добра и зла. Элементы, составляющие мораль имеют разную природу:

- 1) действия (поступки) индивидов и совокупное поведение (нравы) социальных групп;
- 2) нравственные отношения между людьми, социальными группами, индивидом и группами или обществом, выступающие как справедливые, гуманные и т.п.;
- 3) побуждения, мотивы, устремления человека (явления воли);
- 4) личностно-психологические свойства людей, воспринятые как отношение к действительности;
- 5) ценностные суждения людей;
- 6) моральный язык.

При этом мораль не может быть сведена ни к одному из указанных элементов, так как она включает в себя одновременно и элементы нравственного сознания (идеалы, принципы, нормы), и нравственные отношения и нравственную деятельность (поступки). Как видно, мораль включает элементы рефлексии, т.е. этики, она пронизывает все существующие социальные отношения, она всеядна.

**Мораль и нравственность** социальные явления представляют собой совокупность меняющихся от эпохи к эпохе идеалов, принципов и норм отношений, хотя в них присутствует и некое «вечное» общечеловеческое содержание. Как продукт духовно-практической деятельности людей, отражающий, в конечном счете, условия их жизнедеятельности, они накапливают многовековой опыт человечества в плане выживания, в отношениях с природой, в практике общения и общего жития. Мораль и нравственность являются специфическими формами разрешения в ценностно-оценочной форме постоянно возникающих противоречий между личностью и обществом, его структурами. Они обладают самопринудительной, обязующей силой, основанной на том, что представления людей о добре, зле, долге, чести, ответственности отражают насущную социальную потребность в согласовании интересов, действий и желаний людей, воплощаясь в нравственных нормах, принципах, идеалах жизни. Ценностная ориентация личности, проявляясь через механизм нравственного выбора, выражает нравственную целостность личности. Поэтому мораль предполагает наличие свободы выбора, наличие **нравственного выбора, который проявляется как способность человека к самозаконотворчеству**, как нравственное испытание, нравственное искание личности в нестандартных ситуациях [подробнее см.: 3].

Напомним читателю, что существует русскоязычная традиция употребления слов «нравственность», «мораль», «этика», поскольку в русском языке существует возможность строго различать эти понятия. «*Нравственность* понимается как практика межсубъектных взаимоотношений (коренное слово — «нрав»), *мораль* — как отражение этих взаимоотношений в сознании субъектов (моральные представления о чести, справедливости, доброте, мужестве, достоинстве и т.п., нормы отношений), а *этика* понимается как наука о морали и нравственности, у которой есть свои методы познания этого предмета» [там же, с.167-168]. Этика как наука формирует ориентиры поведения, формулирует новые смыслы этических категорий, фиксирует нравственно-этический опыт в виде этических кодексов. В частности, общественная мораль конкретизируется в нормах профессиональной морали (этики) и профессиональных кодексов, в «этике профессии» — этике ученого, этике инженера, врача, информационной этике и т.п. (см.: [1]). Поэтому в последние десятилетия понятия «этика», «этическое» часто заменяют понятия «мораль», «моральное», «нравственное», что не лишено смысла, так как этика, наряду с моралью, тоже стала ориентиром и регулятором отношений людей.

Профессиональная деятельность ученых регулируется не только законом, общественной моралью, административно-организационными нормами, но и профессиональной моралью (этикой). Профессиональная мораль (этика) связана с профессиональным использованием, проявлением основных элементов общественной морали, она — применение норм последней к специфике профессии, их конкретизация с учетом особенностей профессии, ученого в частности. Можно, поэтому, говорить о научной честности, о профессионально-этическом долге, ответственности ученого.

Для обозначения широкого круга философских, социологических и этических проблем взаимодействия науки и морали, как мы отметили выше, сегодня употребляется термин «этика науки». Понятие «профессиональная этика ученого» — более узкое по содержанию понятие чем «этика науки», оно обозначает преимущественно

регулятивно-нормативные аспекты действия морали в науке, т.е. она включает совокупность профессионально-этических норм и принципов, образующих сегодня профессионально-этический кодекс ученых разных научных дисциплин. О нормах и идеалах этики науки мы писали в предыдущей статье (см. [6.б]).

Что касается традиций анализа этической проблематики науки, т.е. сложившихся в российско-советском науковедении традиций рассмотрения проблемы взаимоотношений науки и морали, то они таковы (подробнее [4, с. 63-77]). *Первая, наиболее ранняя традиция* заключается в рассмотрении всей этической проблематики научной деятельности на общеполитическом уровне. Кроме сборника «Наука и нравственность» (1971 г.), — это работы Мотрошиловой Н.В., Юдина Б.Г., Фролова И.Т и других авторов. В рамках этой традиции, исследователи, хотя и раскрывали весьма широкий круг этических проблем науки, главное внимание уделяют, вместе с тем, проблеме гуманизма науки, этическим проблемам генетики. Эта тематика продолжала изучаться в их работах 1980-90 гг. годов, преимущественно в работах Б.Г. Юдина (см. [7]).

Так, в статьях И.Т. Фролова и Б.Г. Юдина и их совместной монографии 1986 г. «Этика науки. Проблемы и дискуссии» особое внимание обращалось на гуманистические проблемы науки, на этические проблемы генетики и на двойственный характер геномной инженерии, а в перспективе прогнозировалось, что «... мы получим новую интегральную дисциплину: *социологию и этику науки*» [10, с.11]. Как отмечали эти авторы, с помощью геномной инженерии можно в неограниченном количестве получать новые, труднодоступные раньше медикаменты и избавить людей от наследственных болезней путем замены патологических генов нормальными. Но она одновременно содержала потенциальную угрозу для человечества, поскольку манипуляции ее методами затрагивали самые интимные механизмы генетических саморегулирующихся процессов, что, в конечном счете, могло привести к созданию организмов с совершенно новыми генетическими качествами, эволюционно не обусловленными [там же, с.289-291]. Еще в 1974 г. создатель методов получения новых гибридных молекул ДНК обратился к ученым всего мира с призывом наложить мораторий на эксперименты с рекомбинантами ДНК до принятия надежных правил эксперимента, исключающих опасность инфекции новыми генетическими комбинациями. Впервые со стороны самого научного сообщества прозвучал призыв ограничить свободу исследований, с тем, чтобы оценить возможный риск и выработать меры предосторожности. Это вызвало бурные дискуссии в мировом научном сообществе по этическим проблемам науки и ответственности ученых, осознавшим необходимость этических самоограничений внутри науки. Дискуссия не оставила равнодушным и советское научное сообщество. Как писал Б.Г. Юдин « В феврале 1975 г. в Калифорнии проходила международная конференция, имевшая целью выработать меры предосторожности для проведения этих исследований. В ней принимали участие и лидеры нашей молекулярной генетики В.А. Энгельгарт и А.А. Баев. Именно они «занесли» тогда на нашу почву «вирус» интереса к этическим аспектам развития геномной инженерии» [9, с.37]. Этот аспект этики науки становится главным в научных публикациях И.Т. Фролова и Б.Г. Юдина. Тогда эти аспекты действительно прозвучали впервые в мире, и они начали обсуждаться во всех странах, включая СССР, однако, идеологизированное сознание большинства советских ученых не допускало тогда мысль о *возможно-*

сти этического и гражданского самоконтроля, о самостоятельной приостановке самими учеными своих исследований. Эта прерогатива принадлежала, тогда только властям, советской власти или администраторов от науки. В этом и была крамольность идеи этического самоконтроля в науке. Присутствовала в зарубежных дискуссиях и другая крамольная в СССР мысль: каждое исследование должно пройти **этическую экспертизу. Это – требование его этической обоснованности, этической приемлемости, которое должно предшествовать исследовательскому проекту.** То есть этический момент оказывается встроенным в само исследование с самого начала. Но дальше этого утверждения указанные авторы не идут в этическом анализе, так как не указаны практические пути осуществления этих требований этики науки.

Пожалуй, здесь и расходятся исследователи проблем этики науки в понимании ее сути и роли. В работах представителей этой традиции есть определение предмета этики науки и ее деление на внешнюю и внутреннюю этику науки, раскрывается гуманистическая направленность науки, суть сциентизма и антисциентизма, вклад отечественных и зарубежных ученых в изучении этих проблем. Но на деле, они трактуют этику ученого, скорее, как некий внешний контроль общества, в их работах не встречается какое-либо определение, анализ сути морали и нравственности, в частности, профессиональной морали (этики) ученого, содержания нравственного выбора ученого.

В рамках *второй традиции*, воплощенной работами М.П. Медянцева 70-х годов (Казань) и некоторых других авторов, этические аспекты науки рассматриваются под углом зрения гражданской, социально-этической ответственности ученых, которая как бы «покрывает» все морально-этические проблемы науки. В эту же традицию вписывается и коллективная монография «Социализм и наука» (1981 г.), в которой этическая проблематика науки, кроме разных аспектов ответственности науки и ученых, лишь кратко упомянута в виде идеи социального контроля в научной деятельности и только вскользь говорится о существовании моральных норм науки. Проблема ответственности ученого действительно намного шире других аспектов представлена в литературе тех лет, как научной, так и публицистической, видимо, поэтому позже ей стали уделять меньшее внимание. *Третья традиция* исследований этики науки состоит в частичном игнорировании проблем ответственности ученых, зато в них обоснована правомерность существования профессиональной морали ученого, впервые выделены наиболее существенные уровни и типы нравственных отношений в науке, рассмотрены другие важные аспекты соотношения науки и морали: соотношение научно-технического и нравственного прогресса, научных знаний и моральных ценностей. Это работы В.П. Коблякова, Г.И. Полушина, Ю.Н. Тундыкова и др., небольшие по объему (как правило, научно-популярные брошюры общества «Знание» или статьи в сборниках). Но кроме указанных достоинств этих работ, в них отсутствует одна очень важная сторона исследования этики ученого: раскрытие механизма действия профессиональной морали ученого, их конкретного содержания, а не просто перечисление нравственных черт ученого, необходимых для успешного выполнения своих профессиональных обязанностей. Например, в работе Г.И. Полушина «Нравственная функция научной деятельности» (1981) нормы профессиональной морали ученого сведены к «элементарным нравственным качествам личности»: честности,

правдивости, добросовестности, скромности и других нравственным качествам. Другими словами, в работах авторов этого направления исследований, представляющих разные регионы СССР, но опубликованных в Москве, отсутствует социологическое углубление, реальный этический анализ моральных норм науки.

*Последняя традиция* в нашем изложении, возникшая и развивающаяся одновременно с другими, это традиция реального сочетания социолого-наукоедческого и философско-этического подходов к моральным проблемам науки. Она содержится в работах науковедов М.М. Карпова, М.Г. Лазара, И.И. Леймана, Е.З. Мирской и других авторов. Е.З. Мирская с 1968 года опубликовала множество работ по этой теме, в которых последовательно осуществляет социолого-наукоедческий и этический подход при изучении этических проблем науки, она - один из организаторов издания монографического исследования этой проблематики «Этос науки» (2008). Автор этих строк с 1972 г. также активно исследует проблемы профессиональной морали ученых, регулятивные возможности этических норм в науке, широкий спектр проблем *взаимоотношений науки и морали* в статьях и двух монографиях. Он впервые в СССР в монографии 1978 г. ввел в научный оборот термин «этика науки», четко определил ее предмет в монографии «Этика науки» 1985 г., а в 1988 г., совместно с Б.М. Фирсовым и В.А. Ядовым, предложил первый в СССР проект профессионально-этического кодекса социологов, принятый с некоторыми изменениями Советской Социологической Ассоциацией

Суммируя кратко подходы к взаимоотношениям науки и морали, к проблематике этики науки, можно констатировать наличие разных критерий, лежащих в основе анализа, изложения и классификации этических проблем науки.

Первый критерий – выделение **интранаучных и экстранаучных этических проблем**. Второй – выделение проблем **по объекту** этих отношений. Третий – **по этапам научного процесса** – от производства идей, через их признание в науке до их социального признания и применения. Пытаясь их соединить, можно выделить следующие основные нравственные проблемы науки, этапов научного труда и типов отношений в науке, взаимоотношений науки и общества, имеющие повышенную нравственную нагрузку, требующие повышенной гражданской и нравственной ответственности субъекта науки, выступающие предметом изучения этики науки:

- 1) нравственные отношения, выражающие позицию субъекта познания к объекту исследования, к процессу исследования (отношения «субъект — объект исследования» или «ученый — предмет научного труда»);
- 2) субъект—субъектные отношения, т.е. «ученый — ученый», или «ученый — научное сообщество», отражающие специфику научного общения и научных коммуникаций;
- 3) отношения возникающие в процессе управления наукой и ее финансирования, являющиеся во многом экстранаучными, внешними для науки отношениями.

Последний тип отношений связан с организацией научной деятельности, с планированием исследований, с социальным применением результатов науки, но затрагивает ее социальные цели и предназначение.

Перечисленные отношения приобретают особую нравственную окраску, заостряя проблему морального выбора, долга, ответственности и в силу положения науки в со-

временной России. В ней наука не только утратила свою независимость, но, как и на Западе, она тесно переплетается с промышленностью, сельским хозяйством, здравоохранением, бизнесом и другими сферами, ее развитие требует значительной государственной финансовой поддержки, увеличивается милитаризация науки, становится все более тесной связь науки и технологий, грань между ними практически исчезает.

Анализ этических аспектов указанных типов отношений науки позволяет выделить несколько блоков **интранаучных** ситуаций, в которых ощутимо присутствует моральный выбор, проявляется морально-этический фактор:

- а) **этика научного исследования**, связанная с проблемами мотивации прихода в науку и выбора профессии исследователя, области и темы исследований, с выбором методов и средств проверки и экспертизы;
- б) **этика научной публикации** (проблемы и нормы соавторства, цитирования, составления библиографии по теме и другие);
- в) **этика научной дискуссии, полемики** — устной или письменной, очной или заочной;
- г) **этика отношений в научном коллективе** (между начинающим ученым и научным руководителем, между разными поколениями в науке, между административным руководителем научного учреждения и подчиненными ему сотрудниками и другие);
- д) **этика профессиональной ответственности**.

**Экстранаучные этические проблемы** — это этические аспекты взаимоотношений «ученый — общество», «наука — общество», связанные с социальным применением результатов науки и кристаллизованные в проблеме **нравственной и гражданской ответственности ученого и науки** в современном мире.

Рассмотрим кратко перечисленные основные блоки ситуаций в науке, образующих в совокупности этику науки, краской нитью которой является социальная и нравственная ответственность ученых.

**Мотивация прихода в науку и выбора темы для научных исследований.** Ученые, особенно начинающие, постоянно находятся перед выбором между объективной необходимостью концентрировать свои усилия на кардинальных научных проблемах в своей области и необходимостью выбирать «наиболее финансируемые» или «диссертательные» темы. Первый вариант выбора требует многолетних усилий без видимой отдачи или признания, а, следовательно, требует увлеченности, преданности теме и даже мужества; второй вариант — жизненный, он реально связан с ситуацией в мировой науке. По данным социологов и нашим опросам аспирантов в течении трех последних десятилетий, около 70 % аспирантов, стажеров и соискателей приходят в науку без сформулированной темы будущих исследований и лишь у 20 % она была выбрана в вузе в курсовых и дипломных работах. У остальных она возникала в силу собственных склонностей. Сегодня ситуация в целом не изменилась.

Как аспиранты, так и взрослые ученые в России вынуждены параллельно с учебой или научной работой работать в других учреждениях, что никак не способствует полной отдаче науке. Поэтому на практике обостряется моральный конфликт между нормами-идеалами науки, требующими полной отдачи сил и преданности науке, и

социальной реальностью, заставляющей молодого ученого (да и не только его) выбирать наиболее «проходимую» или выгодную тему. Этот аспект рассмотрен нами в статье посвященной этике науки, нормативной системе науки [6b, с.220-229].

**Выполнение процедур проверки и экспертизы, рецензирование** в процессе научного исследования требуют не меньшей честности, скрупулезности и надежности выбранных методов. Наука, особенно в ее англосаксонском смысле слова (*science* — естествознание), предполагает много черновой, нетворческой работы — бесчисленные опыты, анализы, проверки. Очень часто бывает так, что результаты проверочного эксперимента или расчета противоречат ожидаемым результатам или исходной гипотезе. В этом случае требуется не только повторная работа, но и стойкость духа, честное отношение к науке, ее проверочному этапу, мужество выбрасывать за борт то, на что потрачено много времени и труда.

**Научная публикация** требует не меньше скрупулезности, профессионализма, ответственности. Она — не только форма накопления и обнародования знания, она — основа научного престижа, признания и «веса» ученого в обществе, поэтому подчиняется определенным нормам и правилам, отступление от которых является очень часто и отступлением от истины и этики науки. Первое требование к научной публикации состоит в том, что она должна представить действительно нечто новое в данной дисциплине, хотя бы новую информацию. Опубликованию подлежит то, что проверено, доказано, испытано, подтверждено экспериментом, архивными или статистическими данными. Наиболее частое отступление от этого — **компиляция и плагиат**. Начинающий ученый не всегда знает, что существует правило, согласно которому незнание нормы не освобождает от ответственности. Кроме того, есть проблема первооткрывателя, приоритета в науке, конкуренции исследователей, работающих в разных центрах или странах по одной и той же тематике. Вторая норма публикации относится к моральным обязанностям перед теми, кто участвовал, помогал в работе, не получая при этом права соавтора. Благодарность конкретному лицу за конкретно оказанную помощь, помещенная в начале публикации — самая распространенная форма корректности и культурности. Третья норма относится к **цитированию** и соавторству. Цитировать можно академически бесстрастно и точно или эмоционально окрашено. Можно спрятать свою мысль за частоклоном цитат, как делалось в советское время в общественных науках. Так или иначе, в ссылках на других авторов проявляется определенное отношение к их идеям, методикам, результатам: согласие или несогласие, поддержка, сомнение или даже ирония и сарказм. Умолчание — тоже отношение к предшественнику или коллеге. Однако использование чужих результатов, идей без ссылки на авторство, это — плагиат (проще — воровство текста, идеи, схемы, статистических данных), это отступление не только от морали, но и от закона об интеллектуальной собственности. Цитирование как форма научного общения в наибольшей степени выражает суть получения нового результата из старого знания, обеспечивает кумулятивную функцию науки, Поэтому отклонением от норм профессиональной морали ученого является цитирование, имеющее одну из следующих причин:

- а) стремление перечислить как можно больше авторов, занимающихся данной проблемой, дабы создать впечатление обширных познаний и научной добросовестности (чем «страдают» обычно списки литературы кандидатских диссертаций);

- б) упоминание или цитирование работ не по их реальному вкладу в разработку данной темы, а из стремления «сделать реверанс» в адрес предполагаемых рецензентов, оппонентов, критиков;
- в) использование чужой библиографии (порой с теми же ошибками). Такой «метод» цитирования не снимает, однако, ответственности с перенявшего;
- г) взаимные ссылки по договоренности двух авторов — ситуация, образно названная в социологии науки «кукушка и петух», которая повышает обоим «индекс цитирования», являющийся одним из показателей веса и престижности ученых, их профессионального признания.

Но такой «метод» обесценивает смысл самих публикаций (подробнее о формах и нормах научных коммуникаций и публикаций см.: [6а, с.236-246]).

**Правила цитирования** выражают не только требования логики, «техники изложения», они являются одновременно и этико-эстетическими нормами, отражением общей культуры и нравственного облика автора публикации. Специфика научного общения через публикацию состоит в том, что коммуникация здесь заочная. Это не дает, однако, права обходиться с чужими результатами как угодно. Кража идей может осуществляться, вместе с тем, и в обезличенной форме, путем сбора идей, программ, высказанных устно на конференциях, симпозиумах. Сформулируем поэтому некоторые нормы, связанные с цитированием:

- 1) использование результатов труда другого исследователя и ссылка на его работы не освобождает от моральной ответственности за их использование;
- 2) цитата не всегда является аргументом, доказательством. Цитаты из классиков дисциплины нельзя превращать в дубинку для оглушения противника, ибо наука требует доказательств, аргументов;
- 3) цитировать надо с учетом смысла контекста, цитата является корректным учетом мнений по данной проблеме; вырванная из контекста цитата может исказить смысл идеи цитированного автора;
- 4) цитирование и ссылки на других авторов, включение их работ в библиографию должны быть оправданы содержанием этих работ, а не служить «реверансом» на всякий случай.

**Этические проблемы соавторства** связаны с усилением коллективного начала в научных исследованиях. Если в начале XX в, примерно 80% научных работ публиковались соло-авторами, то сейчас наблюдается обратная ситуация. Определение «права на соавторство» — дело чрезвычайно деликатное и сложное, так как долевое участие всегда неравноценно. Оно определяется четкостью и корректностью руководителя темы, проекта, программы исследований. В случае, когда доля участия относительно равная у всех участников работы, оптимальным решением является алфавитный порядок соавторов. Чаще всего вложенный труд неравен по «удельному весу», например, техническое обеспечение, аналитическая работа, интерпретация материала, генерирование идей или общее руководство, координация работы. В этом случае необходимо учесть следующие моменты:

- а) право на соавторство для начинающего ученого является важным стимулом творчества, иногда — катализатором поиска темы или направления исследований;

- б) несправедливое забывание одного участника создает недоверие в творческой группе, деморализует всю группу;
- в) существует международное правило упоминания лишь первого автора из группы более трех: «N и другие», поэтому эта первая фамилия обычно и запоминается в научном мире.

Весьма щепетильным в нравственном плане является соавторство начинающего ученого и признанного мэтра. Не меньше проблем нравственно-профессионального плана рождает **вынужденное соавторство** руководителя научного учреждения и подчиненных ему научных сотрудников. В мировой практике известны случаи, когда директор НИИ за год становился соавтором более пятидесяти публикаций, к теме которых он имеет весьма отдаленное отношение. Для начинающих ученых особенно важно знакомство с этико-эстетическими нормами научной полемики, дискуссии. Научный прогресс невозможен без **научной критики**, столкновения мнений, полемики. Цель критики — нахождение внутренних противоречий в данной гипотезе, теории. Критика не должна, однако, принимать форму «сведения счетов», личных нападок в адрес друг друга, словесного «базара». Полемизирующие должны воздержаться от применения оскорбительных эпитетов, сравнений, ярлыков. В науке существует норма демократичности, равенства всех перед лицом истины при обсуждении научных проблем, а также **норма толерантности**, т.е. терпимости к любым точкам зрения, к самым нелепым на первый взгляд идеям. В научном споре признанный ученый при обсуждении проблем всегда дает вначале слово молодым, дабы не давить своим авторитетом и статусом в науке на мнения остальных.

Таковы некоторые постоянно встречаемые **интранучные этические проблемы** научного исследования и научного общения, присущие науке XXI в.

Есть, однако, множество нравственных проблем, возникающих на переднем фронте науки, в связи с появлением новых научных направлений, методик, технологий. К ним относятся упомянутые выше **проблемы биоэтики**. Термин биоэтика был впервые использован в 1970 американским медиком Ван Р. Поттером (1911–2001), который обозначил биоэтику как область исследований, призванную соединить биологические науки с этикой во имя решения в длительной перспективе задачи выживания человека как биологического вида при обеспечении достойного качества его жизни. Примерно в те же годы американский медик А. Хеллегерс (1926–1979) дал другую трактовку биоэтики, представив её как новый способ осмысления и решения моральных конфликтов, порождаемых высоко технологичной медициной. Именно он придал биоэтике академический статус и способствовал её признанию в биомедицинских науках, политике и СМИ. Его понимание биоэтики стало со временем преобладающим. В конце 1960-х — начале 1970-х гг. в США возникают первые центры, занимающиеся проблемами биоэтики. Первое десятилетие своего существования биоэтика развивалась в основном в США, затем постепенно стала укореняться также в Западной Европе и других регионах мира. Российский национальный комитет по биоэтике РАН создан в 1992. К основным проблемам биоэтики следует отнести: проблемы суррогатного материнства, эвтаназии, пересадки органов у человека, клонирования человека, искусственного аборта, коррекции (изменении пола) и др. (см.: [7]).

Не менее острые сегодня проблемы экологической этики, являющейся фундаментом экологической культуры (см. [8, с. 255-265]). Существует проблема нравственного и правового обеспечения защиты компьютерной информации от хакеров. Наряду с очевидной пользой от информационных технологий и Интернета, необходимо помнить и про уязвимость этих сложных систем. Чувствительны к сбоям системы управления воздушным транспортом, электроэнергетические, банковские и оборонные системы многих стран и в этом повинна низкая этическая культура хакеров, что является важнейшим элементом информационной безопасности. Этические проблемы существуют в таких сферах науки как изучение мозга, психиатрия, медицина, социологии, других науках, проблемы о которых мы писали в предыдущих статьях в данном журнале и других публикациях.

Стержневой же проблемой этики науки как в интранаучном, так и экстранаучном аспектах, является проблема гражданской и нравственной ответственности ученых в современном мире, которой посвящено наибольшее количество работ, как в отечественной, так и зарубежной литературе.

В структуре ответственности можно выделить субъект ответственности (кто отвечает?), предмет (за что отвечает?) и инстанцию ответственности (перед кем отвечают). С точки зрения субъекта ответственности можно выделить два уровня ответственности: индивидуальную и групповую, а поскольку современная наука представляет собой, по преимуществу, форму групповой, организованной деятельности, то мы можем говорить об ответственности науки в целом. Но групповая ответственность невозможна без наличной индивидуальной ответственности, т.е. без индивидуальной нравственной профессиональной совести и ответственности.

Предмет же ответственности охватывает не только собственные действия субъекта или то, что он делает «в соавторстве», но и то, что делают или делали все, к кому он хоть как-то причастен. Наука, как известно, не может развиваться без опоры на достижения предшественников и без обобществления своих результатов, поэтому специфика предмета ответственности в науке такова, что он не существует без гражданской и нравственной ответственности науки в целом.

Инстанцию ответственности можно определить как источник требования, оценок и санкций. Таким источником в науке XXI века являются дисциплинарно структурированные научные сообщества, проще говоря, – профессиональные (дисциплинарные) ассоциации, общества ученых, без существования которых сегодня наука немыслима. Именно они являются реально такой инстанцией ответственности. Каждая научная (дисциплинарная) ассоциация, практически во всех демократических странах, имеет свой устав, профессионально-этический кодекс, свой «этический трибунал» и одновременно является структурной единицей более широкой организационной структуры, национального, регионального или международного масштаба – Всемирной Организации научных работников, организуемой и курируемой ЮНЕСКО. Этот тезис встречает сопротивление у сторонников авторитаризма в обществе и науке.

Международное научное сообщество более полувека встревожено антигуманными применениями достижений науки, оно периодически развязывает дискуссии общественности о месте и роли науки и ученых в современном обществе. В связи с этим Международная Ассоциация научных работников под эгидой ЮНЕСКО еще

в 70-е годы прошлого века приняла ряд документов, касающихся ответственности ученых. В 1973 г. было создано **Международное общество социальной ответственности в науке**, основавшее свой журнал «Newletter», а в 1974 г. XVIII сессия ЮНЕСКО приняла «Рекомендации о статусе научных работников», пункт 14 которых посвящен гражданским и этическим аспектам научных исследований. В нем говорится о том, что государства - члены ООН должны обладать ответственностью и правом определения целей и задач программ и необходимых для исследования методов. ЮНЕСКО в 70-е годы прошлого века спровоцировало дискуссии об этических аспектах исследований в области ДНК, биотехнологий, контроля над полом, приведшие к временному мораторию над исследованиями в области генной инженерии, к обсуждению в конце XX и начале XXI вв. этических проблем пересадки органов, определения смерти, эвтаназии, клонирования животных и человека, права на прерывание беременности женщин и многие другие? Периодическое возобновление дискуссий в указанном выше журнале, а также в журнале «Science» и других изданиях международного научного сообщества свидетельствуют о том, что **новые научные направления должны находиться постоянно под социальным контролем общества и моральном самоконтроле научного сообщества, они актуальны и в XXI веке.**

Ответственность ученого (и науки) как форма проявления его профессиональной совести, чести и достоинства, профессионального долга имеет и в XXI веке конкретные формы воплощения в зависимости от уровня субъекта науки и касается как **внутринаучных**, так и **внешних аспектов** функционирования науки. Внутринаучная ответственность ученого и исследовательского коллектива (команды, группы) принимает по прежнему следующие формы: за «качество» результатов экспериментов, опытов, информации о них, воплощенной в научных докладах, статьях монографиях, патентах; за качественное рецензирование научных работ, проектов в статусе рецензента журналов, эксперта фондов, проектов, советника при том или ином уровне государственной власти.

Ответственность как индивидуальная, так и коллективная, имеет свои формы в рамках научной дисциплины. В сжатой форме можно перечислить ее конкретные выражения. Это ответственность:

- а) за выбор направлений, темы научных исследований в рамках своей дисциплины или программы;
- б) за степень обоснованности, проверенности и объективности полученных новых данных, знаний;
- в) за социальное применение своих знаний, открытий во благо общества;
- г) за социальные последствия научного прогресса для человеческой цивилизации;
- д) за экологические последствия реализации своих идей и за экологическое воспитание молодого поколения ученых;
- е) за обеспечение приоритета отечественной науки на международной арене;
- ж) за подготовку и воспитание научной молодежи в духе гуманизма, высоких идеалов науки, воплощенных в этосе науки.

Возникновение новых этических проблем в науке обусловлено двумя характерными чертами современной науки - неопределенностью и риском. Например, в изучении различных аспектов охраны окружающей среды мы имеем дело с чрезвычайно

сложными системами. В экологии высока не только степень системной неопределенности, но и стоимость реализации принимаемых решений. В подобных ситуациях рассматриваются и используются альтернативные подходы. Неопределенность тесно связана с проблемой риска в науке. Есть области познания, где оправдать риск смогут лишь будущие поколения, этим обусловлена необходимость этической экспертизы современных научных и технических проектов. Гражданский и профессионально-этический долг ученого — проинформировать дисциплинарное сообщество или, если надо, и все общество об отрицательных — близких или отдаленных — последствиях таких проектов.

Мы солидарны с мнением авторов вступительной статьи Л.И. Киященко и Е.З. Мирской к монографии «Этос науки» о том, что «непрерывно расширяющееся публичное обсуждение этических проблем науки, оказывающее влияние на общественное мнение, воздействует и на саму науку. В исследовательской практике неуклонно растет число ситуаций, в которых учет этических требований необходим...» [11, с.11-12]. Задача этики науки как составной части науковедения — раскрыть нравственное содержание этих новых ситуаций, указать возможные альтернативы нравственного выбора ученых в этих ситуациях.

### Литература

1. *Бакитановский В.И., Согомонов Ю.В.* Этика профессии: миссия, кодекс, поступок. — Тюмень: НИИ прикладной этики ТюмГНГУ, 2005, с.320-360.
2. *Зимбули А.Е.* Этическая экспертиза как предмет этического осмысления. / Лекции по этике, вып. 3. — СПб.: Изд. РГПУ, 2011.
3. *Зимбули А.Е.* Нравственная оценка: парадоксы и алгоритмы. — СПб.: Изд. РГПУ, 2001.
4. *Лазар М.Г.* Этика науки в СССР-России: история становления // Социологический журнал, 2010, № 1, с. 63-77.
5. *Лазар М.Г.* Этика науки как новое направление социологии науки // Журнал социологии и социальной антропологии, 2001, № 3, с.148-159.
6. *Лазар М.Г.* а) Коммуникации в современной науке: социологические и этические аспекты // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 18; б) **Социальный контроль и самоконтроль в современной науке** // Ученые записки РГГМУ, 2011, № 23.
7. Рабочие тетради по биоэтике. Вып.1-3, Сб. научных статей / под ред. Б.Г. Юдина. — М.: Изд-во Московского гуманитарного ун-та, 2006.
8. *Товбина В.Л.* Экологическая культура: понятие и проблемы становления // Ученые записки РГГМУ, 2006, № 2, с. 255-265.
9. *Юдин Б.Г.* В фокусе исследования — человек: этические регулятивы научного исследования // Этос науки, М.: «Академия», 2008.
10. *Юдин В.Г., Фролов И.Т.* Этика науки: проблемы, дискуссии. — М.: Политиздат, 1986.
11. Этос науки. — М.: Академия, 2008.

*С.А. Абезгауз*

**ОБРАЗОВАНИЕ ИНСТИТУТА КОММЕРЧЕСКИХ АГЕНТОВ  
МИНИСТЕРСТВА ФИНАНСОВ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ ЗА ГРАНИЦЕЙ**

*S.A. Abezgauz*

**THE ESTABLISHMENT OF THE INSTITUTE OF COMMERCIAL AGENTS  
ABROAD OF THE MINISTRY OF FINANCE OF THE RUSSIAN EMPIRE**

*В данной статье приводится краткий обзор основных этапов образования института коммерческих агентов Министерства финансов Российской империи за границей, а также направление его деятельности и хронологические рамки. Автор приходит к выводу о приоритете России в учреждении данного института, необходимость существования которого позднее была осознана и другими странами Европы.*

*Ключевые слова: коммерческие агенты, Министерство финансов, Российская империя*

*The article contains the short review of the basic stages of the establishment of the institute of commercial agents abroad, its areas of activity, chronological frameworks. The author has come to the conclusion that Russia was the first country in the establishment of the given institute which necessity of establishment has been accepted also by other countries of Europe later.*

*Key words: commercial agents, the Ministry of Finance, the Russian Empire*

История возникновения и деятельность института коммерческих агентов Министерства финансов Российской империи за границей, как самостоятельная тема, до настоящего времени не была отражена в научных работах как отечественных, так и зарубежных исследователей. В 2003 г. в Москве на правах рукописи была опубликована диссертационная работа А.Е. Смирнова «Агенты Министерства финансов Российской империи за границей: С.С. Татищев в Лондоне». Сделав общий обзор экономической политики Российской империи с 1829 по 1911 г., основное внимание в своей работе автор направил на изучение деятельности С.С. Татищева на посту агента Министерства финансов в Лондоне (1898–1903) [2В]. В 2007 г. в Санкт-Петербурге состоялась защита диссертации П.В. Ерофеева «Экономические отношения России и Франции в конце XIX века – начале XX века в донесениях агента Министерства финансов А.Г. Рафаловича» на соискание звания кандидата исторических наук. В данной работе автор также подчеркивал, что деятельность института агентов Министерства финансов за границей не подвергалась специальному изучению. П.В. Ерофеев пришел к выводу, что переговоры по организации займов и размещению русских ценных бумаг на французском финансовом рынке, подготовка общественного мнения во Франции, помощь российским компаниям в ведении дел с французскими партнерами никогда не становились предметом специального и комплексного исторического исследования, хотя данные отчетов А. Г. Рафаловича использовались в различных на-

учных работах. Поэтому объектом своего диссертационного исследования П.В. Ерофеев избрал биографию А.Г. Рафаловича и его службу на посту агента Министерства финансов, а предметом — отчеты, служебные письма, доклады А.Г. Рафаловича на экономические, финансовые и общественно-политические темы [1В]. Деятельность института агентов Министерства финансов опять же не была изучена.

Должности коммерческих агентов Министерства финансов за границей были учреждены в 1893 г. Главной задачей их работы был сбор и анализ сведений, способствующих развитию отечественной внешней торговли. В издании «Обзор деятельности Министерства финансов в царствование императора Александра III» необходимость деятельности коммерческих агентов объяснялась тем, что «международные торговые сношения за последнюю четверть минувшего столетия сильно изменились; торговля приняла характер напряженного соперничества, вызывающего искание новых рынков и проложение новых торговых путей ... В виду того соперничества, которое приходится выдерживать нашей еще неокрепшей промышленности с произведениями других стран при слабом развитии непосредственных торговых сношений России с иноземными рынками ... признано было необходимым иметь за границею таких представителей, которым была бы поручена непосредственная охрана торговых интересов России и забота о развитии наших коммерческих сношений с иностранными государствами ... В 1894 г. коммерческие агенты Министерства финансов имелись в Париже, Берлине, Лондоне, Генуе» [2А, с. 83].

Также деятельность коммерческих агентов регламентировалась статьей 134 Соборания узаконений и распоряжений правительства «О коммерческих агентах Министерства финансов за границею», утверждавшей, что «Государственный Совет, в соединенных департаментах Государственной экономии и законодательств и в общем собрании, рассмотрев представление Министра финансов о коммерческих агентах Министерства финансов за границею, мнением положил:

1. Учредить должности коммерческих агентов Министерства финансов за границею, присвоив сим должностям V класс по чинопроизводству, V разряд по шитью на мундире и III разряд 1 степени по пенсии.
2. Предоставить Министру финансов определять число означенных агентов и размер их содержания в пределах ассигнуемых на сие средств, а также их обязанности, местопребывание и район деятельности.
3. Отпустить в 1894 г. в распоряжение Министра финансов на содержание упомянутых в отделении I агентов **47 555 руб. 82 коп. металлических, начиная с 1 января 1895 г.**, вносить ежегодно в подлежащие подразделения расходной сметы департамента торговли и мануфактур на эту же надобность по **67 000 руб. мет.**» [10А, ст. 134].

В докладе С.Ю. Витте, внесенном на рассмотрение в Государственный Совет и одобренном императором Александром III **29 октября 1893 г.**, сказано, что «озабочиваясь принятием мер к улучшению наших торговых сношений с иностранными государствами, Министерство финансов пришло к заключению о необходимости учреждения, хотя бы на главнейших путях международной торговли, должностей специальных коммерческих агентов Министерства финансов, с возложением на оных собирания сведений по части промышленности фабричной, заводской и ре-

месленной и исполнения различных поручений Министерства финансов» [5А. Л. 3.]. Там же определялись требования к кандидатам: «Непосредственная охрана торговых интересов России и забота о развитии наших коммерческих сношений с иностранными государствами должна быть, за пределами России, поручена лицам, вполне подготовленным к успешному выполнению этих весьма важных и сложных обязанностей. От представителей наших торговых интересов за границей Министерства финансов вправе требовать: ясного понимания экономических нужд России, интересы коей они призваны ограждать за пределами своего отечества; близкого знакомства с торгово-промышленною политикою тех стран или районов, на которые распространяется их деятельность; постоянное наблюдение не только за ходом законодательных и административных мероприятий в экономической области, но и за результатом применения их к жизни и, самое главное, — способности и полной готовности служить интересам своей страны ... За полную невозможность предъявления столь широких требований к консульскому персоналу представляется необходимым, хотя бы на главнейших путях международной торговли, учреждение специальных коммерческих агентов Министерства финансов, которые, отвечая приведенным выше требованиям, содействовали бы нашим торговцам и производителям к установлению непосредственных торговых сношений с чужими странами» [5А. Л. 5].

В докладе сообщалось, что еще 23 августа 1893 г. было получено разрешение на учреждение должности коммерческого агента Министерства финансов в Генуе, также дополнялось, что «учреждение должностей — дело не новое» и что еще в 1836 г. в Берлине, Лондоне, Париже, Брюсселе были утверждены подобные должности агентов [5А. Об. 5]. Необходимое количество вакансий требуемых должностей в докладе было определено «в 10 лиц, не считая имеющихся уже ныне в Берлине, Лондоне и Париже». Согласно информации, содержащейся в докладе, к 1893 г. в Берлине, Лондоне и Париже уже действовали коммерческие агенты. Но так ли было в действительности? Действительно ли институт коммерческой агентуры был учрежден в 1836 г.? Какими правами и полномочиями обладали агенты?

Из упомянутого доклада видно, что обязанности, которые должны были быть возложены на агентов, до этого принадлежали консулам («За полную невозможностью предъявления столь широких требований к консульскому персоналу»). В документации Министерства иностранных дел обязанности консулов по делам торговли и промышленности определялись следующим образом: «донесение русскому правительству о всяком новом налоге или возвышении старого, о всякой вновь принятой мере, касающейся торговли и мореплавания, о всех событиях, которые могли иметь влияние на перемены в курсе и цене товаров и припасов о всем вообще, касающемся русской торговли и мореплавания; сообщение тарифов; росписей пошлин, взимаемых с русских произведений; сведения об урожаях, об успехе торговли и мореплавания и мерах, необходимых для их развития; доставление ведомостей о прибывших и отбывших российских судах и о привезенных или вывезенных ими товарах; ежегодных обозрений движения торговли во всем пространстве консульского округа; ежегодное донесение о существующих в месте пребывания консула ценах на товары и съестные припасы, а также вексельном курсе; надзоре за исправным исполнением русских подданных их торговых обязательств; наблюдение за контрабандой; соби-

рание сведений о всех торговых обычаях; принятие мер к усилению, облегчению и расширению торговых отношений России со страной, в которой находится консул; доставка сведений об учреждении маяков, о всех изменениях в отмелях и фарватерах портов и о пароходных сообщениях, как существующих так и вновь устанавливаемых» [1А, с. 18].

Безусловно, консулы не всегда успевали справляться с такой нагрузкой, не говоря о том, что они не всегда были компетентны в торгово-экономических вопросах. Поэтому было принято решение о выделении отдельного института агентов. Но какому из министерств они подчинялись? И когда же все-таки появился этот институт?

В 1911 г. институт агентов был выведен из компетенции Министерства финансов и передан в Министерство торговли и промышленности. Этой внутренней реформе предшествовала большая работа о сборе информации, об анализе преимуществ и недостатков агентуры, о пользе и усовершенствовании института. В 1910 г. в «Вестнике Центрального Банка» была опубликована статья, посвященная вопросу о российских коммерческих агентах за границей, за авторством В.М. Фелькнера, занимавшего с 1898 по 1908 г. должность помощника агента Министерства финансов при посольствах в Берлине и Вене [6Б]. В статье сообщалось, что поступивший в Министерство торговли и промышленности проект об учреждении в составе российских посольств, миссий и генеральных консульств, сопряженных к ним должностей агентов этого министерства за границей, не является новшеством: «Задуманное преобразование лишь дополняет и развивает действующую около 100 лет осведомительную службу заграничных представителей нашего финансового ведомства» [3В, с. 3]. По сведениям В.М. Фелькнера, еще в 1817 г. «по мысли посетившего Санкт-Петербург великого естествоиспытателя Александра Гумбольдта, был учрежден в Берлине при тогдашней миссии нашей пост “агента Министерства финансов по мануфактурной части”, на обязанности которого лежало держать русское правительство в курсе всего заслуживающего внимания в германской экономической жизни, а также издавать, в сотрудничестве с профессорами берлинского университета, журнал, посвященный изучению производительных сил России и Германии. По-видимому, труды берлинского агента заслужили одобрение, — по крайней мере, в 1829 г. такой же пост был учрежден и в Париже, затем в 1830 г. — в Вене, с 1836 г. — в Лондоне и с 1847 г. — в Константинополе, Берне и Брюсселе» [3В, с. 4].

Действительно, в Полном собрании законов Российской империи за 1829 г. есть статья № 3080 «О назначении при миссии во Франции агента Министерства финансов, особенно по мануфактурной промышленности и по торговле», где сообщается: «Согласно представлению вашему о полезности иметь при миссии во Франции агента Министерства финансов и, особенно по мануфактурной промышленности и по торговле, с тем, чтобы агент сей по распоряжениям вашим временно мог отправляться к миссиям в Лондоне и другие места, повелеваю возложить сию должность на отставного полковника барона Мейендорфа, с производством ему жалованья по 2500 рублей в год» [3А, с. 593].

Должность агента в Лондоне была учреждена 17 июля 1836 г. [8А. Об. 105]. В Брюсселе же должность агента была утверждена только в 1854 г. в связи с упразднением должностей агентов по мануфактурной части в Лондоне и Париже: «По случаю

объявления войны... со стороны Министерства финансов сделано распоряжение, чтобы агенты оно по мануфактурной части в Лондоне и Париже немедленно выехали оттуда. Агенту в первом из сих городов Каменскому предписано возвратиться в Санкт-Петербург, а агенту в Париже, к.с. Талю, дано знать, чтобы он ожидал дальнейших приказаний в Брюсселе ... Должности агентов по мануфактурной части в Лондоне и Париже упразднить, а взамен того учредить таковое агентство в Брюсселе» [7А. Л. 348]. Но в 1857 г., после окончания Крымской войны, было решено восстановить должность агента в Париже: «Высочайше повелено было иметь во Франции агента Министерства финансов с тем, чтобы он сообщал сведения об усовершенствованиях и открытиях по разным отраслям промышленности и по временам ездил по поручениям Министерства в Лондон и другие места» [8А. Об. 105]. В.М. Фелькнер в своей статье указывал, что в 1859 г. были восстановлены должности в Берлине и Лондоне [3В, с. 4]. Так же в его статье имеется небольшая неточность об агентстве в Константинополе. В декабре 1846 г. в министерстве была рассмотрена бумага «Об увольнении титулярного советника Айвазовского от должности агента Министерства финансов в Константинополе», в которой сообщалось что такая должность была учреждена в марте 1845 г., но в связи с просьбой об увольнении «выбор новой кандидатуры отложить впредь до времени, когда обстоятельства того потребуют» [6А. Об. 283].

Таким образом, годом учреждения института агентов Министерства финансов за границей можно назвать 1829 г. Эта дата подтверждается законодательными актами и архивным материалом. Этот же год, как отправной, используется в диссертационной работе А.Е. Смирнова. Сведения, содержащиеся в статье В.М. Фелькнера, об учреждении должности агентов в 1817 г. требуют уточнений. Активность института в указанный период связана с деятельностью министра финансов Е.Ф. Канкрин (1823–1844). Переломным моментом стала Крымская война, после которой хотя и были восстановлены некоторые агенты, но существенной роли и значимости они не имели.

Возобновление деятельности института произошло с того времени, когда Министерство финансов возглавил С.Ю. Витте. Поэтому, как правило, информация об учреждении нового института встречается с 1893 г. В резолюции Государственного совета от 18 ноября 1893 г. на докладе С.Ю. Витте сообщалось, что «учреждение агентов, с намеченной Министерством финансов в общих чертах широкой программой деятельности, является мерой новой, не испытанной еще на практике, вследствие чего установленные ныне же компетенции этих лиц и точнее разграничение возложенных на них задач едва ли было бы возможно и даже желательно для успеха дела. Поэтому на первых порах предпочтительнее разрешение этих вопросов инструкционным путем министру финансов, от которого будет зависеть озаботиться внесением в свое время основных положений составленной им инструкции на законодательное утверждение» [5А. Л. 57].

В инструкции агентам было сказано, что они обязаны: «Ст.1: А. доставлять Министерству финансов сведения обо всех важных явлениях торговли, промышленности и мореплавания ...; Б. развивать на месте наши торговые сношения ... Ст. 2: агенты подчинены Министерству финансов ... Ст.3: для доставления агентам возможности успешно выполнять их задачу им присваиваются служебные права, тождественные с правами военных или морских агентов в иностранных государствах» [5А.

Л. 61 – Об. 65]. Одной из первых была утверждена должность коммерческого агента в Генуе, так как должности в таких городах, как Берлин или Париж, уже номинально существовали. С 1 января 1896 г. ввиду малозначительности должность коммерческого агента в Генуе была упразднена [5А. Об. 33]. Позднее должности агентов были образованы в Константинополе [9А, с. 2543], Иокогаме, Вашингтоне и пр. [12А].

Агенты Министерства финансов стали определенным индикатором экономической жизни России. Ввиду того что постоянный штат не был утвержден, новые должности учреждались или упразднялись в зависимости от значимости направления. Так, например, в 1896 г. начальник отделения Департамента торговли и мореплавания обратился с предложением к министру финансов учредить должность коммерческого агента в Вене. Мотивировалось это тем, что «к числу стран, по своему ближайшему соседству имеющих для нашей отпускной торговли несомненное значение, несмотря даже на сравнительно малозначительные размеры товарного обмена, существующего в настоящее время, должна быть, бесспорно, отнесена Австро-Венгрия. Предшествовавшая заключению русско-германского торгового договора таможенная война с Германией существенно изменила характер нашей отпускной торговли, прекратив тяготение наших товаров к германским рынкам и принудив наших экспортеров сбывать свои товары на другие рынки, преимущественно австрийские» [5А. Об. 33]. Обоснованием данного предложения послужила торговая конвенция, заключенная с Австро-Венгрией на 10 лет: «Созданная, таким образом, прочная основа для правильного развития торговых наших сношений с Австро-Венгрией вызывает настоящую потребность облегчить нашим экспортерам вступление в непосредственные торговые связи с австрийскими и венгерскими фирмами и учредить с этой целью в Вене коммерческого агента» [5А. Об. 33]. Однако такая самостоятельная должность не была создана, торговля с Австро-Венгрией не занимала значительного объема в экономике Российской империи. Сбор информации о торговых связях с Австро-Венгрией осуществлял агент в Берлине.

Для большей свободы действий и для получения дипломатического иммунитета в июне 1894 г. коммерческий агент Министерства финансов в Берлине В.И. Тимирязев был причислен к посольству в Берлине. В октябре 1894 г. Министерство финансов ходатайствовало за коммерческого агента в Лондоне Г.П. Каменского, но ходатайство было отклонено Министерством иностранных дел в ноябре 1894 г. В мае 1897 г. к посольству был причислен коммерческий агент в Вашингтоне М.В. Рутковский [5А. Л. 50]. В декабре 1897 г. был поднят вопрос о причислении всех агентов к МИД. В октябре 1898 г. было принято решение «О причислении агентов Министерства финансов к императорским посольствам и миссиям»: «В России ранее, чем в других государствах Европы, сознана была потребность назначения в иностранных государствах независимо от дипломатических представительств, особых лиц от МФ с целью содействию, расширению и упрочению финансовых и торговых сношений России с иностранными государствами. Финансовые агенты иностранных государств, в местах своего пребывания, входят в состав надлежащих посольств и пользуются различными преимуществами, как-то: правом личной неприкосновенности; подсудности лишь законам своей страны; свободы от платежа всяких местных податей и налогов; правом представления ко Двору и участия в придворных и общественных торжествах,

на которые приглашается весь дипломатический корпус, и правом официальных сношений с надлежащими властями ... Между тем русские агенты Министерства финансов за границей не имеют указанных преимуществ». Также С.Ю. Витте обращал внимание, что наименование коммерческих агентов не исчерпывает собой весь круг возлагаемых на них обязательств, поэтому, по его мнению, необходимо было «заменить наименование «коммерческие агенты» Министерства финансов за границей на именование агенты Министерства финансов за границей, включить сих агентов в состав надлежащих посольств или миссий» [5А. Л. 131-Л.132].

С образованием Министерства торговли и промышленности в 1905 г. был поднят вопрос о переводе агентов в компетенцию нового ведомства, что и произошло в 1912 г., будучи подтверждено в статье 37148 Полного собрания законов Российской империи «Об учреждении должности агентов Министерства торговли и промышленности за границую и секретарей при некоторых из них»: «1. Учредил должности агентов Министерства Торговли и Промышленности за границею; ... 2. Упразднил должности агентов Министерства Финансов за границею, за исключением агента сего ведомства в Париже» [11А. Ст. 866].

В обязанности агентов Министерства торговли и промышленности за границей входило:

- 1) изучение иностранных рынков в целях осведомления российского правительства и заинтересованных учреждений, а также частных лиц, с ходом торговли за границей;
- 2) непосредственное содействие русским торговцам в местах своего пребывания;
- 3) производство особых экономических исследований за границею по поручениям Министерства торговли и промышленности, а равно исполнение поручений Министра финансов по предметам ведомства Министерства финансов [4А. Л. 162].

В 1913 г. оставался только один агент Министерства финансов за границей, агент в Париже, должность которого бессменно занимал А.Г. Рафалович.

Институты коммерческих агентов существовали и в странах Европы. В.М. Фелькнер в 1908–1909 гг. побывал во Франции, Италии, Бельгии для изучения деятельности ведомств труда и социального попечения, промышленности, торговли и общественных работ этих стран. По заданию Министерства финансов им были написаны статьи о деятельности агентов Великобритании, Франции, Италии и Бельгии, которые были опубликованы в «Вестнике финансов» в 1910 г.[2-5Б]. В журнале за 1908 г. была напечатана статья «Государственные коммерческие агенты в Германии», за подписью П.М. [1Б]. В «Словаре псевдонимов» И.Ф. Масанова В.М. Фелькнер не имеет псевдонима «П.М.», однако в архивном деле «О выработке законопроекта об агентах Министерства Торговли и Промышленности за границей» автором этой статьи назван В.М. Фелькнер [4А. Л. 206].

В статье, посвященной английским агентам, автор писал: «Страна просвещенных мореплавателей и коммерсантов – Великобритания – ранее других государств осознала необходимость учреждения за пределами отечества сверх многочисленных консульских должностей, еще специально чутких к вопросам торгово-промышленной жизни осведомительных органов государственной службы ... уже 15 лет тому назад неослабное систематическое стремление правительства поднять, при усиливающей-

ся борьбе за обладание рынками, свою правительственную торгово-политическую осведомленность побудило **Foreign Office** провести, в течение 1895 г., вопрос о прикомандировании к некоторым посольствам Великобритании особых коммерческих атташе – *British Commercial Attachés* [3Б, с. 429]. В 1896 г. новая должность была учреждена в Париже и Берлине. Но, 1896 г., как год образования английской заграничной агентуры, противоречит тому факту, что Британия стала первой европейской страной, основавшей этот институт. В книге американского исследователя Г.М. Фиска, посвященной теоретическим вопросам международной торговли, приводятся сведения о том, что служба английских агентов появилась в 1880 г., в 1907 г. действовало семь агентов [4В, с. 192].

В Германии институт коммерческих агентов был создан в 1893 г. и назывался *Handelssachverständige*. [1Б, с. 417]. Та же дата называется в книге французского историка Г. Хозера, посвященной причинам экономического могущества Германии в начале XX в. [5В, с. 140]. В Бельгии с 1880 г. функция экономического осведомления была возложена на консулов [4Б, с. 16], институт *Attachés Commerciaux* сформировался только в 1909 г., в Италии подобная служба была основана в 1906 г. [5Б, с. 327].

Интересной особенностью русской службы агентов было то, что они относились к компетенции Министерства финансов, несмотря на наличие дипломатического имунитета (с 1912 г. Министерства торговли и промышленности), иностранные агенты были в ведении МИД своих стран. Важным обстоятельством изучения данного вопроса является то, что в Российской империи одной из первых стран в Европе была учреждена служба коммерческих агентов, если же рассматривать деятельность Е.Ф. Канкрин, то приоритет в данном вопросе за Россией. В 1910 г. в статье в газете «Новое время» сообщалось: «Министерство торговли и промышленности взялось за решение давным-давно назревшего вопроса об организации экономического представительства России за границей. Пример – Германия, в гигантском росте экспорта, в котором только поставленная заграничная коммерческая агентура сыграла не последнюю роль ... Оказывается, что первые опыты заграничной коммерческой агентуры при посольствах были предприняты Россией еще в начале прошлого века, но не получили должной деловой постановки и скоро захирели, не успевши принести заметной пользы отечественной промышленности и торговле. Таким образом, опередивши Европу почти на  $\frac{3}{4}$  столетия, мы все-таки и здесь по обыкновению очутились у нее в хвосте» [4А. Л. 153].

### Литература

#### А. Документы и опубликованные материалы:

1. МИД: Его права и обязанности. Центральные учреждения. Заграничные установления. Консулы. – СПб., 1904.
2. Обзор деятельности Министерства финансов в царствование императора Александра III (1881-1894). – СПб., 1902.
3. Полное Собрание Законов Российской Империи. Собрание 2-е. Т. IV. 1829. № 3080. 9 авг. – СПб., 1830.
4. Российский Государственный Исторический Архив (РГИА). Ф. 23. Оп. 1. Д. 6.
5. РГИА. Ф. 23. Оп. 1. Д. 80.
6. РГИА. Ф. 40. Оп. 1. Д. 11.
7. РГИА. Ф. 40. Оп. 1. Д. 14.
8. РГИА. Ф. 40. Оп. 1. Д. 15.

9. Собрание Указонений и Распоряжений Правительства. Ст. 965.: Об учреждении в Константинополе должности коммерческого агента Министерства финансов. — СПб., 1896.
10. Собрание Указонений и Распоряжений Правительства. Первое полугодие. 1894. — СПб., 1894.
11. Собрание Указонений и Распоряжений Правительства. Первое полугодие. 1912. — СПб., 1912.
12. Список агентов Министерства финансов можно проследить по Адрес-календарю. Общая роспись начальствующим и прочих должностных лиц. — СПб., 1895—1912.

#### **Б. Периодика:**

1. Государственные коммерческие агенты в Германии // Вестник финансов, промышленности и торговли, 1908, № 24, с. 417—425.
2. *Фелькнер В.М.* Французские правительственные коммерческие агенты за границей // Вестник финансов, промышленности и торговли, 1910, №2, с. 55—62.
3. *Фелькнер В.М.* Великобританские правительственные коммерческие агенты за границей // Вестник финансов, промышленности и торговли, 1910, №10, с. 429—431.
4. *Фелькнер В.М.* Бельгийские консулы и правительственные коммерческие агенты за границей // Вестник финансов, промышленности и торговли, 1910, № 27, с. 13—16.
5. *Фелькнер В.М.* Итальянские правительственные коммерческие агенты за границей // Вестник финансов, промышленности и торговли, 1910, № 34, с. 326—329.
6. *Фелькнер В.М.* Русские правительственные и биржевые коммерческие агенты за границей / Вестник Центрального Банка, 1910, №2 (декабрь).

#### **В. Историография:**

1. *Ерофеев П.В.* Экономические отношения России и Франции в конце XIX века - начале XX века в донесениях агента Министерства финансов А.Г. Рафаловича / Автореф. дис. на соискание ученой степени. — СПб., 2007.
2. *Смирнов А.Е.* Агенты Министерства финансов Российской империи за границей: С.С. Татишев в Лондоне / Автореф. дис. на соискание ученой степени. — М., 2003.
3. *Фелькнер В.М.* Русские правительственные и биржевые коммерческие агенты за границей. — СПб., 1911.
4. *Fisk G.M.* International Commercial Policies, with special reference to the United States. — London, 1907.
5. *Hauser H.* Germany's commercial grip on the world. Her business method explained. — New York, 1918.

## ХРОНИКА

17 – 18 мая в Санкт-Петербурге проводился V Невский международный экологический конгресс. По итогам участия в конкурсе за лучшую экологическую акцию РГГМУ награжден памятным дипломом «Делай свой город чище».

21 – 25 мая в Москве в рамках V международного сезона «Комплексная безопасность – 2012» РГГМУ стал победителем конкурса. За инновационные разработки университет награжден золотой медалью «Гарантия качества и безопасность».

4 июня 2012г. РГГМУ с официальным визитом посетила делегация представителей Всемирной метеорологической организации, в числе которой Роберт Риддавей, генеральный секретарь Королевского метеорологического общества Великобритании и Джинка Адебайо, начальник отдела стипендий департамента по образованию и подготовке кадров ВМО. В рамках визита Роберт Риддавей по сложившейся традиции передал в дар фонду библиотеки РГГМУ книги по метеорологии на английском языке.

С 4 по 6 июня 2012г. в РГГМУ состоялась итоговая аттестация выпускников бакалавров- метеорологов, прошедших обучение на английском языке. Государственная аттестационная комиссия в составе представителей Всемирной метеорологической организации, возглавляемой генеральным секретарем Королевского метеорологического общества Великобритании Робертом Риддавеем, высоко оценила уровень подготовки выпускников.

8 июня – Всемирный день океанов. В нынешнем году эта дата замечательна тем, что международное сообщество празднует важный юбилей – 30-ю годовщину принятия Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву, получившей название «Конституция океанов».

С 2 по 4 июля 2012г. в РГГМУ прошла VI международная конференция «Экология больших городов и промышленных зон». В работе конференции приняли участие около 400 ведущих специалистов в области экологии из России, стран СНГ, Польши, Чехии, Мексики и др. Обсуждались результаты всестороннего исследования проблем состояния качества окружающей среды. Знакомились с мировой практикой решения задач экологического обоснования устойчивого развития городов, обменивались опытом с зарубежными коллегами. Подробно см. «Материалы VI международной научной конференции 2 – 4 июля 2012г.»

С 18 по 22 июня 2012г. в РГГМУ прошел семинар по оценке компетентности авиационного метеорологического персонала. В работе семинара приняли участие более 50 ведущих специалистов в области авиационной метеорологии. Это – эксперты ВМО, руководители организаций и подразделений, ответственных за метеорологическое обеспечение гражданской авиации, из 18 стран-членов ВМО, включая Россию, государства-участники СНГ, государства Балтии, Восточной Европы и Азии.

## Список авторов

- Абезгауз Софья Аркадьевна*, к.ист.наук, доц.каф. Соц.-гум.наук РГГМУ  
*Белевич Михаил Юрьевич*, к.физ.-мат.наук, вед.научн.сотр. Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (СПФ ИОРАН) (812) 328-43-50  
*Боев Артём Сергеевич*, магистр факультета Экологии и физики окружающей среды РГГМУ  
*Бородин Александр Иванович*, д.экон.наук, проф.каф. Экономики и финансов НИУ ВШЭ  
*Винников Сергей Дорوفеевич*, к.т.н., доц.каф. Гидропрогнозов РГГМУ (812) 444-82-61  
*Воробьёв Валерий Игоревич*, д.геогр.наук, проф.каф. Метеопрогнозов РГГМУ  
*Гахраманова Матанат Рафик гызы*, диссертант Национального аэрокосмического агентства Азербайджана  
*Даньшина Анна Владимировна*, инженер СЦНИТ РГГМУ (812) 444-41-65  
*Дмитриев Фёдор Алексеевич*, к.х.н., доц.каф. Химии и природной среды РГГМУ  
*Ермолина Марина Анатольевна*, к.ю.н., доц.каф. Соц.-гум.наук РГГМУ  
*Зелионко Алексей Владиславович*, магистр каф. Гидрологии суши РГГМУ  
*Иванов Андрей Владимирович*, аспирант каф. Геоэкологии Национального минерально-сырьевого университета «Горный»  
*Капранов Илья Евгеньевич*, к.техн.наук, инженер-проектировщик, ОАО «Силловые машины», завод «Электросила»  
*Карасёв Иосиф Филиппович*, д.т.н., проф.каф. Гидрометрии РГГМУ  
*Коршунов Александр Алексеевич*, к.т.н., науч.сотр. ВНИИГМИ  
*Кучеренко Ольга Евгеньевна*, руководитель группы отдела гидрометрии и гидрологической сети ФГБУ «ГГИ»  
*Лазар Михай Гаврилович*, д.фил.наук, проф.каф. Соц.-гум.наук РГГМУ (812) 444-59-47  
*Леднова Юлия Анатольевна*, инж.каф. Гражданского строительства и прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного политехнического университета  
*Оганова Софья Артуровна*, аспирантка каф. КУПЗ РГГМУ, инженер-исследователь НИС РГГМУ  
*Орлеанская Елена Сергеевна*, асп.каф. Гидрологии суши  
*Плиник Николай Леонидович*, доцент, к.г.н., заведующий каф. КУПЗ РГГМУ  
*Погребов Владимир Борисович*, д.биол.наук, вед.специалист консалтинговой фирмы ЗАО «Экопроект»  
*Рождественский Анатолий Вадимович*, д.т.н., проф., вед.науч.сотр. ГГИ  
*Смирнов Юрий Дмитриевич*, к.техн.наук, доц.каф. Геоэкологии Национального минерально-сырьевого университета «Горный»  
*Стрекалова Зоя Васильевна*, магистр каф. Гидрологии суши РГГМУ  
*Татарникова Татьяна Михайловна*, д.тех.наук, проф.каф. МИТ (812) 224-30-39  
*Фролов Ростислав Данилович*, к.т.н., проф. Волжской Академии водного транспорта  
*Чанцев Валерий Юрьевич*, к.г.н., доц.каф. ПОиОПВ РГГМУ (812) 224-06-49  
*Шаймарданов Владислав Марсельевич*, к.техн.наук, зав.отделом Всероссийского научно-исследовательского института гидромет.информации (48439) 74187  
*Шаймарданов Марсель Зарифович*, н.с. ВНИИ гидромет.информ (48439) 74187  
*Шелест Татьяна Анатольевна*, аспирант каф. Физической географии Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина  
*Шемелов Владимир Александрович*, к.т.н., нач.отд. ОНРИПНПК ВКА им.Можайского (812) 235-28-41  
*Яготинцева Наталья Владимировна*, аспирант каф. Информационных технологий и систем безопасности РГГМУ

### ***Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала***

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен являться оригинальным, неопубликованным ранее в других печатных изданиях. Объем статьи может составлять до 1,5 авторских листов (1 а.л. равен 40 тыс. знаков), в исключительных случаях по решению редколлегии – до 2 авторских листов.
2. На отдельной странице приводятся сведения об авторе (авторах) на русском и английских языках: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и место работы, контактные телефоны, адрес электронной почты. Плата за опубликование рукописей с аспирантов не взимается.
3. Аннотация статьи объемом до 7 строк на русском и английском языках не должна содержать ссылок на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.
4. Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок.
5. Пронумерованный список литературы (в алфавитном порядке, сначала на русском, затем на иностранных языках) приводится в конце статьи на отдельной странице с обязательным указанием следующих данных: для книг – фамилия и инициалы автора (редактора), название книги, место издания (город), год издания; для журнальных статей – фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер, выпуск, страницы (первая и последняя). Разрешается делать ссылки на электронные публикации и адреса Интернет с указанием всех данных.
6. Оформление ссылок в тексте: в квадратных скобках [ ] указать порядковый номер литературы. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [13, с. 23].
7. Сноски помещаются на соответствующей странице текста.
8. Таблицы и другие цифровые данные должны быть тщательно проверены и снабжены ссылками на источники. Таблицы приводятся в тексте статьи, номер и название указываются над таблицей.
9. Названия зарубежных компаний приводятся в тексте без кавычек и выделений латинскими буквами. После упоминания в тексте фамилий зарубежных ученых, руководителей компаний и т.д. на русском языке, в полукруглых скобках приводится написание имени и фамилии латинскими буквами, если за этим не следует ссылка на работу зарубежного автора.

**Рекомендации по форматированию  
для подачи рукописи в редакционно-издательский отдел**

Формат А5 (148×210) книжный.

Поля: верхнее – 1,8 см; нижнее – 2,3 см; левое – 1,8 см; правое – 1,8 см.

От края до верхнего колонтитула – 0 см, до нижнего колонтитула – 1,8 см.

Колонцифры внизу в зеркальном положении – 10, обычным шрифтом, начинать с титульного листа.

Набрать текст шрифтом Times New Roman, обычный.

Межстрочный интервал – одинарный.

Абзацный отступ – 0,75 см.

Интервал до заголовка – 24 пункта, после – 6.

Размер шрифта: основной текст – 11, таблицы – 9.

Лежачие таблицы поместить в отдельный файл на формат А5 альбомный, поля: верхнее, нижнее и правое – 1,8 см, левое – 2,3 см, шрифт – 9.

Рисунки располагать по тексту в соответствии со ссылкой.

Подрисуючную подпись набрать шрифтом – 9.

В формулах русские буквы прямые, латинские – курсивные, греческие – прямые, тригонометрические функции (sin, cos и др.) набирать прямым шрифтом.

Литература – шрифт 9.

Оглавление поместить в конце рукописи – шрифт 9.

**Требования к оформлению статьи для публикации в Ученых записках**

Инициалы и фамилии авторов на русском языке.

Название на русском языке.

Аннотация на русском языке.

Ключевые слова на русском языке.

Инициалы и фамилии авторов на английском языке.

Название на английском языке.

Аннотация на английском языке.

Ключевые слова на английском языке.

Формат 17×24 книжный.

Поля зеркальные: верхнее и нижнее – 2,3 см; левое и правое – 1,8 см.

От края до верхнего колонтитула и нижнего колонтитулов – 1,8 см.

**Внимание!**

Авторская правка в верстке – компенсационная, до пяти буквенных исправлений на странице.

Научное издание

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ  
РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
№ 25

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Редакторы:* И.Г. Максимова  
*Компьютерная верстка:* Ю.И. Климов  
ЛР № 020309 от 30.12.96.

---

Подписано в печать 15.08.12. Формат 70×100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,6. Тираж 500 экз. Заказ № 116.  
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

---