Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 12

Научно-теоретический журнал

Издается с октября 2005 года
Выходит 4 раза в год

ISSN 2074-2762

РГГМУ

Санкт-Петербург
2010

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

Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета № 12. Научно-теоретический журнал. – СПб.: изд. РГГМУ, 2010. – 200 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 12. – St. Petersburg: RSHU Publishers, 2009. – 200 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

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2010
© Авторы публикаций, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Гидрология

Н.Б. Барышников, А.О. Пагин, Т.С. Селина, А.В. Твердохлебов. Пропускная способность пойменных русел 5

Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, Ю.В. Демидова. Коэффициенты шероховатости речных русел 14

Д.И. Исаев, М.В. Соболев. Расчет стока наносов реки Невы 20

Метеорология

П.А. Блакидная, С.П. Смышляев, Е.М. Атласкин, Г. Шаарийбуу. Модельное исследование влияния солнечной активности на газовый состав и тепловой режим атмосферы 25

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров, Г.Г. Щукин. Методика и результаты наблюдений за грозами, системами пеленгации гроз и МРЛ 38

В.В. Чукин, Е.С. Алдошкина, А.В. Вахнин, А.Ю. Канухина, О.А. Мельникова. Мониторинг интегрального содержания водяного пара в атмосфере ГНСС-сигналами 50

А.М. Геворгян. Территориальное распределение обильных осадков в Армении 60

В.В. Осечкин, Е.В. Гниловской, В.Е. Потемкин. Оценка дополнительного озонообразования в зимней нижней полярной стратосфере с использованием некоторых положений теории Вольтерра 74

Экология

В.В. Дроздов, А.В. Коробков. Влияние процесса дноуглубительных работ на экологическое состояние акваторий Выборгского залива 80

А.Б. Степанова, Г.Ф. Шарафутдинова, Е.Ю. Воякина. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам 97

Е.Г. Дурягина. Мониторинг нефтеразливов 110

Экономика

Л.А. Хандожко, А.Г. Тимофеева. Оценка успешности и экономической полезности прогнозов температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы 120

Г.Г. Гогоберидзе, А.Ю. Домнина. Возможные конфликты между видами морской деятельности в акваториях российской части Юго-восточной Балтики и разработка рекомендаций по их предотвращению 132

И.А. Нечитайло. Проблемы типологии процедур финансового управления в организациях 152

Социально-гуманитарные науки

М.Г. Лазар. Социология науки в России: 20–30-е годы XX века 167

Н.Л. Гагулина. Проблемы системы управления качеством образования в вузе 176

И.Б. Шумакова. Многомерный статистический анализ научного кадрового потенциала Санкт-Петербурга 184

Хроника 196

Список авторов 197

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала 198

CONTENTS

Hydrology

N.B. Baryshnikov, A.O. Pagin, T.S. Selina, A.V. Tverdokhlebov. Capacity of floodplain riverbeds 5
N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, Yu.V. Demidova. Roughness coefficients of riverbeds 14
D.I. Isaev, M.V. Sobolev. The Neva river solid matter flow computation 20

Meteorology

P.A. Zimenko, S.P. Smyshlyaev, E.M. Atlaskin, G. Shaaribu. A model study of the solar activity effects on the variability of the gas composition and temperature in the atmosphere 25
A.V. Snegurov, V.S. Snegurov, G.G. Shchukin. Methods and results of lightning observations with lightning detection networks and weather radars 38
V.V. Chukin, E.S. Aldoshkina, A.V. Vakhnin, A.Yu. Kanukhina, O.A. Mel'nikova. Monitoring of precipitable water vapour in atmosphere by GNSS-signals 50
A.M. Gevorgyan. The spatial distribution of heavy precipitation in Armenia 60
V.V. Osetchkin, E.V. Gnilovskoy, V.E. Potiomkin. An estimation of additional ozoneforming in the winter lower polar stratosphere making use of some aspects of the Volterra's theory 74

Ecology

V.V. Drozdov, A.V. Korobkov. Influence of dredging works on an ecological condition water areas of the Vyborg gulf 80
A.B. Stepanova, G.F. Sharafutdinova, E.Ju. Voyakina. Hydrochemical features of small lakes of the island of Valaam 97
E.G. Duryagina. Monitoring of oil spills 110

Economics

L.A. Handozhko, A.G. Timofeyeva. The score of success and economic value of air temperature forecasts for Moscow thermal production 120
G.G. Gogoberidze, U.A. Domnina. Potential conflicts of the marine activities in the Russian part of the South-East Baltic and recommendations for conflicts prevention 132
I.A. Nechitailo. Problems of financial management processes classification in companies 152

Social science and humanities

M.G. Lazar. Sociology of science in Russia: 20–30 years of XX century 167
N.L. Gagulina. Problems of quality management system in university education 176
I.B. Shumakova. A multivariate statistical analysis of the scientific personnel potential of Saint Petersburg 184

Chronicle 196

ГИДРОЛОГИЯ

Н.Б. Барышников, А.О. Пагин, Т.С. Селина, А.В. Твердохлебов

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЙМЕННЫХ РУСЕЛ

N.B. Baryshnikov, A.O. Pagin, T.S. Selina, A.V. Tverdokhlebov

CAPACITY OF FLOODPLAIN RIVERBEDS

Анализом методов расчёта пропускной способности пойменных русел установлено, что наиболее перспективной, хотя и недостаточно разработанной, является методика, основанная на системе уравнений движения потока с переменной по длине массой. На основе экспериментальных данных установлена зависимость инерционных членов этого уравнения от глубины потока и угла между динамическими расходящимися осями взаимодействующих потоков. Их наибольшие значения составляют соответственно 80,1 и 24,2 %, т.е. являются вполне значимыми.

Ключевые слова: пойма, русло, эксперименты, глубина, угол, динамические и геометрические оси, объём.

By the analysis of the methods of calculation of capacity of floodplain riverbeds it was established that the most promising, but not developed enough, methods are those that are based on the system of equations of motion of stream with the mass varying with the length. On the basis of the experimental data the dependence of the terms of this system of equation was determined to depend on the depth of the stream and the angle between the dynamical and moving apart axes of the interacting streams. Their maximal values are 80.1 and 24.2 % respectively, i.e. they are meaningful enough.

Key words: floodplain, riverbeds, experimental data, depth, angle, the dynamical and moving apart axes, capacity.

Значительное снижение качества натурной информации в период перестройки, обусловленное как объективными, так и субъективными причинами, сопровождаемое увеличением числа, а главное, мощности катастрофических паводков, приводят к необходимости совершенствования методов расчёта пропускной способности пойменных русел. Это в первую очередь обусловлено важностью данной информации для гидротехнического строительства и водохозяйственных мероприятий. Действительно, если на больших реках имеются данные стационарных наблюдений за длительный период времени, что позволяет с достаточной для практики точностью оценить максимальные расходы воды, то на большинстве средних и особенно малых рек такая информация, как правило, отсутствует. К тому же наметившееся потепление климата приводит к усилению мощности катастрофических паводков в ряде регионов юга и востока России.

Особенно остро стоит вопрос расчёта пропускной способности пойменных русел на равнинных реках, которых в России большинство. Известно [Барышников, 1984], что практически все равнинные реки – пойменные. Измерения же на них затруднены из-за большой ширины разлива и скоротечности паводков и половодий. Действительно, на пойменных створах, как правило, в русловой части шириной 50–70 м, имеется 5–7 скоростных вертикалей, а на пойме шириной 700–10 м ограничиваются одной-тремя вертикалями. И это несмотря на то что рельеф поймы значительно сложнее рельефа русла.

Наставление по изысканию и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (НИМП-72) [Наставление…, 1972] рекомендует расчёт пропускной способности пойменных русел осуществлять на основе формулы Шези посредством деления сечения на русловую и пойменную составляющие, т.е.:

$$Q = Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}} = F_{\text{р}} v_{\text{р}} + F_{\text{п}} v_{\text{п}} = F_{\text{р}} C_{\text{р}} \sqrt{h_{\text{р}} I_{\text{р}}} + F_{\text{п}} C_{\text{п}} \sqrt{h_{\text{п}} I_{\text{п}}} \ . \qquad (1)$$

Анализ этой формулы и контрольные расчёты по ней на основе формул Павловского и Маннинга показали, что средние погрешности расчётов составляют 30–36 % (в зависимости от используемой таблицы для определения коэффициента шероховатости n) при максимальных погрешностях, превышающих 300 %. Помимо этого следует учитывать, что уклон водной поверхности пойменного потока $I_{\text{п}}$ не измеряется. Более того, даже методика его измерения не разработана. Определённые трудности из-за сложного рельефа и различия шероховатости по ширине поймы возникают и при расчётах средних глубин, что часто приводит к необходимости деления поймы на отдельные отсеки.

В конце сороковых – начале пятидесятых годов прошлого столетия трудами в основном отечественных исследователей [Гончаров, 1962; Железняков, 1981] был вскрыт эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков. Суть этого эффекта заключается в значительной трансформации скоростного поля руслового потока под воздействием пойменного и пойменного потока под воздействием руслового. Теоретическое обоснование этого эффекта при параллельных динамических осях взаимодействующих потоков сделано В.Н. Гончаровым, а при непараллельных осях – Н.Б. Барышниковым и др. Влияние этого эффекта особенно велико при непараллельных динамических осях потоков и может привести как к значительному увеличению пропускной способности русла (при расходящихся динамических осях потоков), так и к её уменьшению (при сходящихся осях) [Барышников, 2007]. К сожалению, этот эффект в методике, основанной на формуле Шези (1), никак не учитывается. Поэтому в конце пятидесятых–шестидесятых годов прошлого столетия широкое распространение получило введение корректирующих коэффициентов k русловой $k_{\text{р}}$ и пойменной $k_{\text{п}}$ составляющих потоков для условий параллельности их осей в виде:

$$Q = k_{\text{р}} Q_p + k_{\text{п}} Q_n = k_{\text{р}} F_{\text{р}} C_{\text{р}} \sqrt{h_{\text{р}} I_{\text{р}}} + k_{\text{п}} F_{\text{п}} C_{\text{п}} \sqrt{h_{\text{п}} I_{\text{п}}} \qquad (2)$$

или

$$Q = k(Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}}). \qquad (3)$$

При этом было рекомендовано принимать значения поправочных коэффициентов в виде: $k_{\text{р}} < 1$; $k_{\text{п}} > 1$ и $k < 1$.

Многочисленные формулы для расчёта этих коэффициентов [Барышников 2007; Карасёв, 1980], как правило, были основаны на данных лабораторных измерений и практической ценности не имели. Тем более что изменение пропускной способности русла с поймой в этом случае не превышало 10–15 %, т.е. находилось в пределах точности измерений.

Более важными, имеющими большое практическое значение, были натурные исследования ГГИ на реках Луге у пос. Толмачёво и Пьяне у деревни Камкино и частично на р. Хопёр у хутора Беспимяновский, выполненные под руководством Д.Е. Скородумова [Скородумов, 1965], а также исследования Н.Б. Барышникова по данным наблюдений более чем на 50 станциях на сети Росгидромета [Барышников, 1958; 2007].

Анализ данных этих измерений позволил Д.Е. Скородумову установить, что движение воды в руслах с поймами является неравномерным, неустановившимся и, более того, с переменным по длине расходом воды. Поэтому для расчётов им вместо уравнения (1) было рекомендовано использовать уравнение движения потока с переменным по длине расходом воды в виде:

$$I = \frac{\nu V^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_{\text{К}_\text{н}} V_{\text{н}}^2 - \alpha_{\text{К}_\text{в}} V_{\text{в}}^2}{2gL} + \frac{V - V_g}{gF}\frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{в}}}{L} + \frac{\alpha_{\text{Б}}}{g}\frac{\Delta V}{\Delta t}, \qquad (4)$$

где $\alpha_{\text{К}}$ и $\alpha_{\text{Б}}$ – соответственно коэффициенты Кориолиса и Буссинеска; v_g – проекция скоростей притекающих или оттекающих вод на направление движения руслового потока; индексы «н» и «в» обозначают, что параметры соответственно относятся к нижнему или верхнему створам; L – расстояние между этими створами.

Д.Е. Скородумовым [Скородумов, 1965] и Н.Б. Барышниковым [Барышников, 1984; 2007] выполнена оценка членов уравнения (4). С этой целью обозначим члены его правой части через

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_{\text{К}_\text{н}} V_{\text{н}}^2 - \alpha_{\text{К}_\text{в}} V_{\text{в}}^2}{2gL};\ \varepsilon_2 = \frac{V - V_g}{gF}\frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{в}}}{L} \text{ и } \varepsilon_3 = \frac{\alpha_{\text{Б}}}{g}\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

(ε_1 характеризует затраты энергии потока за счет неравномерности режима его движения). Введя допущения о постоянстве расхода и равенстве коэффициента Кориолиса на верхнем и нижнем створах, получим приближенное выражение для расчета $\varepsilon_1 \approx \frac{\overline{\alpha_{\text{К}} Q}}{2gL}\left(\frac{1}{F_{\text{в}}^2} - \frac{1}{F_{\text{н}}^2}\right)$. Практически величина этого члена уравнения

определяется характером изменения площадей сечения по длине реки. По данным расчетов на примере рек Луги и Пьяны значения ε_1/I могут достигать 55 %. Величина ε_2/I, характеризующая затраты энергии на массообмен между русловыми и пойменными потоками, на этих же реках достигает 20 %. Однако анализ данных специальных исследований показывает, что при больших углах пересечения динамических осей потоков в русле возникает водоворотная область, размеры которой определяются мощностью пересекающихся потоков. Она может занимать все русло, и течение в нем останавливается или даже изменяется на обратное. Следовательно, значение ε_2/I может достигать 100 %.

Несколько сложнее оценка значения ε_3/I, характеризующего нестационарность режима. По данным Н.Б. Барышникова [Барышников, 1958], его величина мала и на равнинных реках не превышает 5 %. Однако, как показывают исследования последних лет, влияние нестационарности процесса значительно больше. Действительно, при затоплении поймы свободного меандрирования наблюдается неоднократная смена направлений течений на ней. Таким образом, нестационарность процесса косвенно учитывается и другими членами уравнения. Решив уравнение (4) относительно *v*, получим:

$$V = C\sqrt{hI\left(1 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{I}\right)}. \qquad (5)$$

Эту формулу можно применять для расчетов скоростей течения руслового или пойменного потоков при их взаимодействии.

Данная методика является перспективной, но в ней имеются существенные недостатки. Основным из них является замена сложного пространственного потока одномерным с целью применения уравнения одномерной идеализации к решению поставленной задачи.

Рассмотрим возможные пути решения проблемы расчета пропускной способности русел с поймами с учетом эффекта взаимодействия потоков в них. Учитывая, что уравнения (4) и (5) применялись для расчетов только русловой части потока, а уравнение неразрывности не использовалось, целесообразно разработать аналогичные (4) уравнения для пойменных составляющих потока. Такая система уравнений для потоков в руслах с двусторонними поймами имеет вид:

$$I_{\text{р}} = \left(\frac{V^2}{C^2 h}\right)_P + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha_{\text{ч}} V^2}{2g}\right)_P + \left(\frac{q_* V'}{gF'}\right)_P + \left(\frac{\alpha_{\text{п}} \partial V}{g \partial t}\right)_P; \qquad (6)$$

$$I_{\text{пл}} = \left(\frac{V^2}{C^2 h}\right)_{\text{пл}} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha_{\text{ч}} V^2}{2g}\right)_{\text{пл}} + \left(\frac{(q+q_1)V'}{gF'}\right)_{\text{пл}} + \left(\frac{\alpha_{\text{п}} \partial V}{g \partial t}\right)_{\text{пл}}; \qquad (7)$$

$$I_{\text{пп}} = \left(\frac{V^2}{C^2 h}\right)_{\text{пп}} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\alpha_{\text{Q}} V^2}{2g}\right)_{\text{пп}} + \left(\frac{(q+q_2)V'}{gF'}\right)_{\text{пп}} + \left(\frac{\alpha_{\text{П}}\partial V}{g\partial t}\right)_{\text{пп}}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial(Q_{\text{р}} + Q_{\text{пл}} + Q_{\text{пп}})}{\partial x} + \frac{\partial(F_{\text{р}} + F_{\text{пл}} + F_{\text{пп}})}{\partial t} = q_1 + q_2, \quad (9)$$

где $q_* = q_{\text{пл}} + q_{\text{пп}}$ – расход воды на единицу длины потока за счет массообмена между русловой левой (пл) и правой (пп) пойменными составляющими потока; q_1 и q_2 – соответственно расходы воды на единицу длины потока, учитывающие приток воды со склонов на левую и правую поймы, а также потери на испарение и фильтрацию; V' и F' – соответственно средняя скорость массообмена между русловым и пойменными потоками V' и площадь продольного сечения, на которой происходит этот массообмен F'.

Данное направление является перспективным, но для его реализации необходимо выполнить большие по объёму натурные и лабораторные исследования с целью получения зависимостей инерционных членов уравнений (4) или (6)–(8) от определяющих морфометрических характеристик расчётного участка.

Н.Б. Барышниковым на основе анализа натурной информации, полученной на сети Росгидромета [Барышников, 1984; 2007], была разработана эмпирическая методика расчёта средних скоростей руслового потока, основанная на графической зависимости:

$$V_{\text{р}} / V_{\text{р.б}} = f(h_{\text{р}} / h_{\text{р.б}}, \alpha), \quad (10),$$

приведённой на рис. 1:

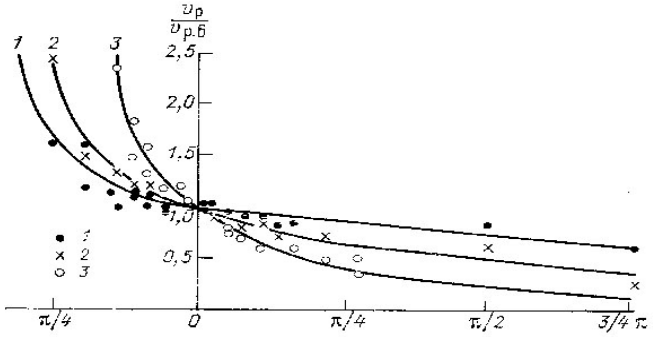


Рис. 1. Кривые $V_{\text{р}}/V_{\text{р.б}} = f(h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}}, \alpha)$: *1* – $h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}} = 1{,}10$; *2* – $h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}} = 1{,}25$; *3* – $h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}} = 1{,}50$

Здесь $V_{\text{р.б}}$ – средняя скорость руслового потока при уровнях, предшествующих уровням затопления бровок прирусловых валов. Её рекомендуется определять по формуле Шези; $V_{\text{р}}$ – средняя скорость руслового потока при его взаимодействии с пойменным потоком.

Контрольные расчёты, выполненные на основе независимой информации, показали высокую эффективность методики. Погрешности расчётов были примерно в два раза меньше, чем по методике, основанной на формуле Шези (2). Однако дальнейший анализ и расчёты на основе дополнительной информации, в частности, выполненные Е.В. Польциной, показал, что зависимость (10) необходимо уточнить, особенно при углах α , близких к 0^0. Действительно, как вытекает из анализа формулы Шези с учётом формулы Маннинга

$$V \approx \alpha h^{2/3},$$

т.е. с увеличением глубин скорости руслового потока должны возрастать. В то же время из-за уменьшения градиента скоростей между русловым и пойменным потоками при увеличении глубин сопротивление движению потока уменьшается, а это, в свою очередь, должно привести к ослаблению воздействия эффекта взаимодействия потоков. Всё это привело к необходимости корректировки расчётных зависимостей (рис. 1).

Более сложной является проблема разработки методики расчётов пропускной способности пойм. Это обусловлено как сложным их рельефом и низкой точностью исходной информации о пойменных потоках, так и отсутствием сведений об уклонах их водной поверхности. Другим осложняющим фактором является отсутствие методики расчётов ширины части поймы, на которой наблюдается ускоряющее воздействие руслового потока на пойменный. По данным Г.В. Железнякова [Железняков, 1981], полученным в результате лабораторных экспериментов на установке с гладкой поймой, эта величина равна пяти-шести ширинам руслового потока. По нашим данным, основанным на результатах натурных измерений, ширина этого участка поймы значительно меньше и зависит от шероховатости последней. Установлено [Барышников, 1958; 2007], что в натурных условиях она может изменяться от 1,5 до 4 ширин русла, находясь в обратной зависимости от шероховатости поймы.

Учитывая эти соображения, на кафедре гидрометрии была разработана эмпирическая методика расчётов пропускной способности пойм (рис. 2), основанная на графических зависимостях вида:

$$\frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{п}} + Q_{\text{р}}} = f\left(\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{п}} + F_{\text{р}}}, \frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{р}}}\right). \qquad (11)$$

При таком положении с методикой расчётов пропускной способности русел с поймами на кафедре гидрометрии в течение 2006–2008 гг. был выполнен цикл экспериментальных исследований, основной задачей которых являлась оценка веса инерционных членов уравнений (4) или (6) и выявление их зависимости от морфометрических характеристик расчётного участка.

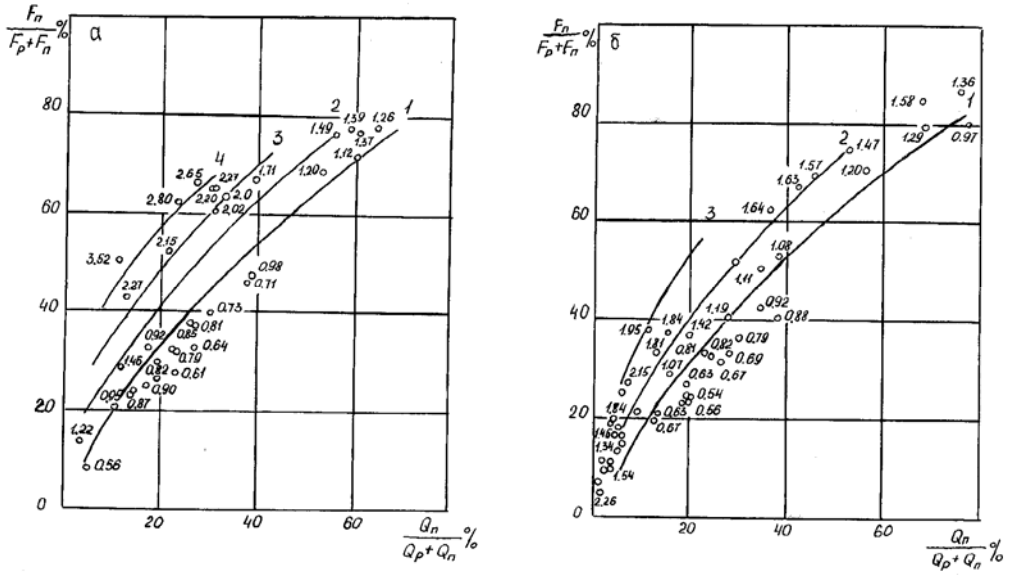


Рис. 2. Кривые $Q_п / (Q_р + Q_п) = f(F_п /(F_р + F_п), n_п / n_р)$

1–4 значения $^{пп}/_{пр}$: 1– $^{пп}/_{пр} = 1$; 2– $^{пп}/_{пр} = 2$; 3– $^{пп}/_{пр} = 3$; 4– $^{пп}/_{пр} = 4$

Как вытекает из анализа данных, приведённых в таблице, при расходящихся осях взаимодействующих русловых и пойменных потоков значения первого инерционного члена уже при $\alpha = 20^0$ достигает –56,6 %, а второго – 16,8 %. Более того, наблюдается довольно чёткая зависимость вида $\varepsilon_1 / I = f(\alpha, h)$ и $\varepsilon_2 / I = f(\alpha, h)$, приведённая на рис. 3 и 4 (при постоянных значениях глубин руслового потока).

Результаты расчётов инерционных членов ε_1 / I и ε_2 / I

h, см	$\frac{h}{h_{р.б}}$	ε_1 / I			ε_2 / I		
		Угол расхождения, α^0					
		5	10	20	5	10	20
5,1	1,02	–1,02	–1,36	–1,37	–0,000245	–1,2	–1,3
6,0	1,2	–5,21	–8,54	–1,68	–0,1	–2,1	–2,79
7,0	1,4	–9,84	–16,4	–1,80	–0,3	–2,9	–4,82
8,0	1,6	–16,8	–22,0	–25,8	–2,4	–5	–8,7
9,0	1,8	–21,4	–30,3	–34,4	–4,9	–7,4	–12,01
10,0	2,0	–30,1	–41,2	–56,6	–7,4	–10,2	–16,8

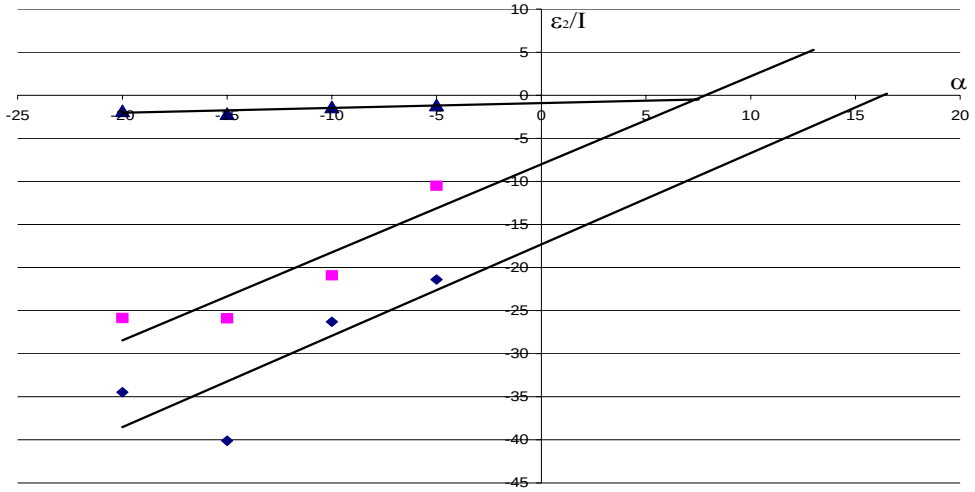


Рис. 3. Зависимость $\varepsilon_1/I = f(\alpha, h)$

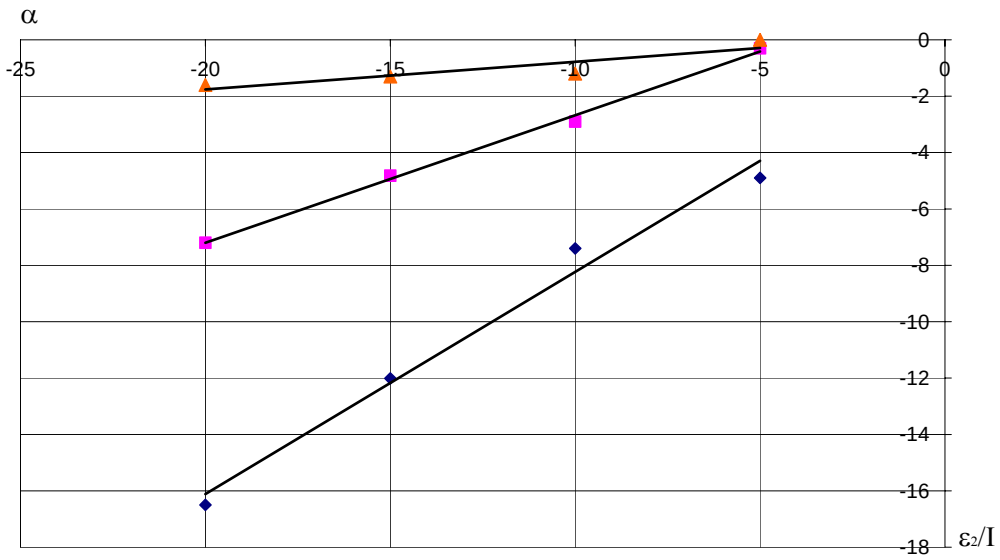


Рис. 4. Зависимость $\varepsilon_1/I = f(\alpha, h)$

Заключение

Проведённый анализ и расчёты позволяют сделать следующие выводы:

- наилучшие результаты контрольных расчётов получаются по методике, основанной на графических зависимостях (10) и (11), приведённых на рис. 1 и 2;
- наиболее перспективным, но требующим глубоких проработок, сопровождаемых детальными полевыми и лабораторными исследованиями, является направление, основанное на использовании системы уравнений движения потока с переменным по длине расходом воды;
- при использовании для расчётов методики, рекомендуемой Наставлением по изысканию и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки [НИМП-1972], погрешности расчётов могут значительно превышать допустимые пределы.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Речные поймы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 152 с.
2. *Барышников Н.Б.* Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 280 с.
3. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 345 с.
4. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 374 с.
5. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 311 с.
6. *Карасёв И.Ф.* Речная гидрометрия и учёт водных ресурсов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 310 с.
7. Наставление по изысканию и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки [НИМП-72]. – М.: Транспорт, 1972. – 280 с.
8. *Скородумов Д.Е.* Вопросы гидравлики поименных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды // Труды ГГИ, 1965, вып. 128, с. 3–96.

Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, Ю.В. Демидова

КОЭФФИЦИЕНТЫ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, Yu.V. Demidova

ROUGHNESS COEFFICIENTS OF RIVERBEDS

Выполнен анализ методов расчётов максимальных расходов воды, основанных на использовании меток высоких вод и коэффициентов шероховатости русел и пойм. Вскрыты недостатки этих методов и, в частности, определения этих коэффициентов как в речных руслах простых форм сечения, так и в руслах с поймами. Предложены пути совершенствования расчётных методик.

Ключевые слова: коэффициент шероховатости, максимальный расход, русло, пойма, сечение, метки высоких вод

In this paper, analysis of methods of the maximum water discharges computation based on the use of marks of high water and roughness coefficients of riverbeds and floodplains is performed. Disadvantages of those methods and, in particular, of the roughness coefficients determination for riverbeds with simple cross-sections and for riverbeds with floodplains are revealed. Ways of improvements of those approaches are proposed.

Key words: roughness coefficient, maximum discharge, riverbed, floodplain, cross-section, marks of high water.

Максимальные расходы воды являются одной из важнейших гидрологических характеристик при проектировании различных гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий. Все методы их расчётов, включая и статистические, основаны на натурной информации. К сожалению, качество последней низкое, начиная с периода, предшествующего перестройке, и по настоящее время. Это обусловлено в первую очередь тем, что, как правило, максимальные расходы, и особенно катастрофические, по разным причинам не измеряются. Действительно, на равнинных реках они обычно проходят при затопленной пойме, часто при ледоходе и других плавающих предметах, что представляет большую опасность жизни измерителям. Именно это приводит к тому, что довольно часто требования техники безопасности запрещают производить измерения в таких условиях. Вторым фактором является быстротечность их прохождения. Учитывая, что малые и средние реки недостаточно изучены, часто на них отсутствуют посты и станции Росгидромета, это приводит к необходимости расчётов максимальных расходов воды на основе данных о метках высоких вод и морфометрических характеристиках русел и пойм. Наставление [НИМП-72] рекомендует при этом использовать методику расчётов, основанную на формуле Шези $v = C\sqrt{hI}$, т.е. априори допуская, что движение потока является квазиравномерным. Одним из основных параметров в этой формуле является коэффициент Шези. Для его расчётов обычно используются различные формулы, которых в настоящее время насчитывается более двухсот. Не оста-

навливаясь на анализе этих формул, так как он неоднократно выполнялся рядом авторов [Железняков, 1981; Карасёв, 1980], отметим лишь, что наиболее простыми, а потому и наиболее часто применяемыми, являются формулы Маннинга $C = \frac{h^{1/6}}{n}$ и Павловского $C = \frac{h^{y}}{n}$. Определять коэффициенты шероховатости n по описательной характеристике расчётного участка обычно рекомендуется по одной из соответствующих таблиц. Наиболее распространёнными из них являются таблицы И.Ф. Карасёва и М.Ф. Срибного в России и В.Т. Чоу и Дж. Бредли в США. Коэффициенты шероховатости являются интегральной характеристикой всех видов сопротивлений. Основными их недостатками являются неопределённость размерности и субъективизм при их определении по соответствующим таблицам. Действительно, описательная характеристика расчётного участка недостаточно точна, к тому же в таблицах Чоу и Бредли приводится три значения этого коэффициента, отличающихся между собой на 20–30 % [Барышников, 2003].

В РГГМУ на основе данных измерений в русловых потоках в беспойменных руслах более чем на 500 постах Росгидромета были выполнены расчёты с целью оценки эффективности методики, основанной на формулах Шези и Маннинга или Павловского и таблицах для определения коэффициентов шероховатости. При этом оценка выполнена для всех указанных таблиц (Срибного, Карасева, Чоу и Бредли). Результаты этой оценки приведены в таблице.

Среднеквадратические и максимальные величины отклонений табличных коэффициентов шероховатости от их расчётных значений (в % от n_p)

Группа рек	Количество рек	$\Delta n/n_p = (n_p - n_т)/n_p$							
		по Срибному		по Чоу		по Бредли		по Карасёву	
		$\frac{\Delta n}{n_p}$	$\frac{\Delta n_{max}}{n_p}$	$\frac{\Delta n}{n_p}$	$\frac{\Delta n_{max}}{n_p}$	$\frac{\Delta n}{n_p}$	$\frac{\Delta n_{max}}{n_p}$	$\frac{\Delta n}{n_p}$	$\frac{\Delta n_{max}}{n_p}$
Равнинные	317	34,7	173	36,2	218	35,8	321	34,8	165
Горные и полугорные	185	31,9	208	30.8	203	32,4	255	31,7	210
Осредненные	502	33,7	208	34,1	218	35,1	321	37,8	210

Здесь Δn – осредненная величина отклонений табличных значений коэффициентов шероховатости от расчетных (по натурным данным).

Как вытекает из анализа данных, приведённых в таблице, средняя погрешность расчётов по всем четырём использованным в расчётах таблицам для определения коэффициентов шероховатости составляет 31–36 % при максимальных погрешностях, значительно превышающих 100 %. Это свидетельствует о низкой эффективности расчётной методики и необходимости её совершенствования. Более того, дальнейшие исследования, проведённые в РГГМУ [Барыш-

ников, 2003 и 2007], показали, что на малых и средних реках коэффициенты шероховатости изменяются в несколько раз при изменении глубин, что не учитывается ни одной из расчётных формул. В зависимости от состояния берегов и расположения русловых образований относительно расчётного створа коэффициенты шероховатости могут как увеличиваться, так и уменьшаться. В связи с этим для малых и средних рек было выделено четыре типа зависимостей $\frac{n_р}{\overline{n}_р} = f(\frac{h_р}{\overline{h}_р})$ и пятый тип – для больших рек (рис.1).

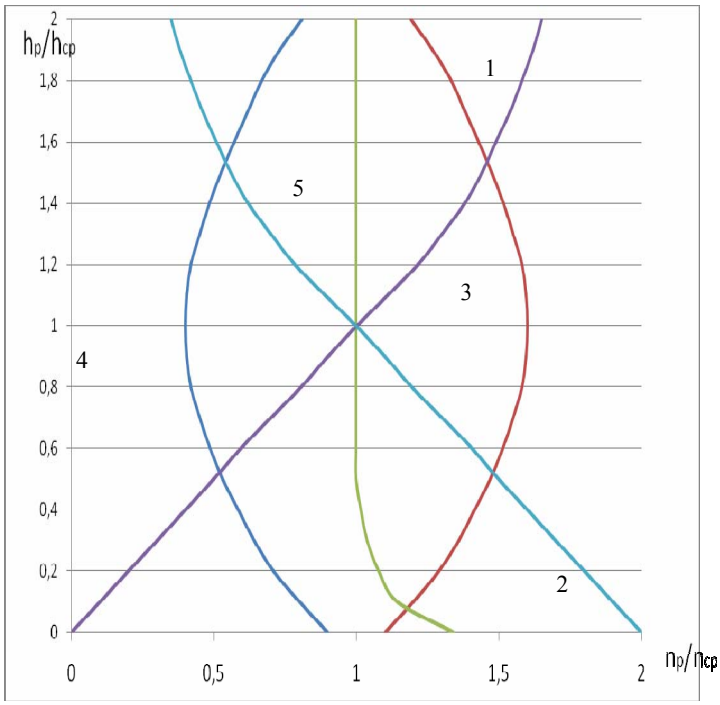


Рис. 1. Зависимости $\frac{n_р}{\overline{n}_р} = f(\frac{h_р}{\overline{h}_р})$; 1–5 типы кривых

Такие типы кривых характерны как для равнинных, так и для горных рек. Как видно на рис. 1, первый тип кривой характеризуется увеличением значений коэффициентов шероховатости речных русел при увеличении глубин. Такой характер изменения коэффициентов шероховатости приходит в противоречие практически со всеми известными формулами. Действительно, в соответствии с последними, в частности Маннинга или Павловского, коэффициенты шероховатости должны уменьшаться при увеличении глубин, а они, наоборот, увеличиваются. Более того, не в степени, близкой к 0,2, а в несколько раз. Такой характер изменения коэффициентов шероховатости можно объяснить влиянием бере-

гов на малых и средних равнинных реках или расположением русловых образований относительно расчётного створа. На горных реках вместо растительности берега могут быть «засорены» крупнообломочным материалом.

Второй тип кривых характеризуется уменьшением значений коэффициентов шероховатости при увеличении глубин, что вполне соответствует большинству расчётных формул. Однако величина этого уменьшения в несколько раз, а иногда и на порядок, больше расчётной.

Третий и четвёртый типы кривых занимают промежуточное положение. Действительно, при третьем (четвёртом) типе кривых сначала наблюдается увеличение глубин, а затем их уменьшение (увеличение). Такой вид кривых можно объяснить как зарастаемостью берегов на равнинных реках или их засорённостью – на горных, так и воздействием русловых образований при их расположении выше или ниже расчётного створа. Действительно, до определённого уровня берег реки сильно зарос растительностью или засорён. При дальнейшем повышении уровня растительность на берегах отсутствует или берег расчищен.

Ещё более сложной является проблема определения коэффициентов шероховатости для пойменных русел и самих пойм, с учётом эффекта взаимодействия в зоне воздействия руслового и пойменных потоков. Последний был вскрыт в работах в основном отечественных исследователей [Гончаров, 1962; Железняков, 1981; Барышников, 1984]. Не останавливаясь на детальном анализе воздействия этого эффекта на гидравлические сопротивления, так как он выполнен в работах одного из авторов [Барышников, 1984, 2007, 2008], отметим лишь, что под воздействием этого эффекта коэффициенты шероховатости могут как существенно увеличиваться, так и уменьшаться. Н.Б. Барышниковым на основе достаточно надёжных натурных данных была сделана попытка получить для пойменных русел аналогичные скоростям $v_р / v_{р.б} = f(h_р / h_{р.б}, \alpha)$ и уклонам водной поверхности $I_р / I_{р.б} = f(h_р / h_{р.б}, \alpha)$ зависимости вида $n_р / n_{р.б} = f(h_р / h_{р.б}, \alpha)$ (рис. 2).

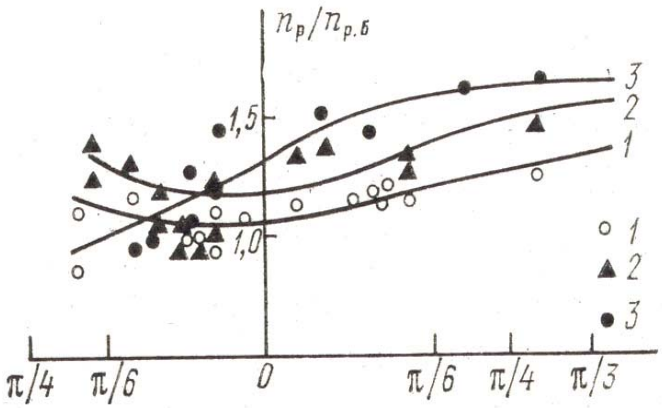


Рис. 2. Кривые $n_р / n_{р.б} = f(h_р / h_{р.б}, \alpha)$. *1* – $h_р / h_{р.б} = 1{,}10$; *2* – $h_р / h_{р.б} = 1{,}25$; *3* – $h_р / h_{р.б} = 1{,}50$

Здесь α – угол между динамическими осями взаимодействующих русловых и пойменных потоков; индексы «р.б.» и «р.» показывают, что расчётные параметры определены при уровнях затопления бровок прирусловых валов «р.б.» и более высоких уровнях «р.».

Как видно на рис. 2, чёткой зависимости, такой же как зависимости $v_{\text{р}}/v_{\text{р.б}} = f(h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}}, \alpha)$ или $I_{\text{р}}/I_{\text{р.б}} = f(h_{\text{р}}/h_{\text{р.б}}, \alpha)$, не наблюдается.

Учитывая, что большинство рек России равнинные и, как правило, имеют широкие поймы, служащие для пропуска особенно высоких и тем более катастрофических паводков, наиболее острой является проблема расчёта пропускной способности пойм.

В то же время качество натурной информации о пойменных расходах оставляет желать лучшего. Действительно, расходы воды на поймах в системе Росгидромета даже в лучшие годы либо вообще не измерялись, либо количество скоростных вертикалей на них резко сокращалось, несмотря на более сложный, чем в руслах рельеф пойм. В качестве примера можно привести р. Ветлугу у д. Быстри: при измерении максимального расхода на её пойме, ширина которой немного менее километра, ограничились всего двумя вертикалями, хотя в русловой части потока шириной 60 м их количество равнялось шести. Другими важными факторами являются отсутствие измерений уклонов водной поверхности на поймах и воздействие руслового потока на поток поймы. Последнее заключается в том, что верхние слои руслового потока в периоды подъёма уровней, имеющие большие скорости течения, поступая на пойму, приводят к тому, что при расчётах на основе формулы Шези значения коэффициентов шероховатости существенно снижаются до значений 0,012–0,016, хотя в соответствующих таблицах минимальные значения коэффициентов шероховатости составляют 0,025–0,030, т.е. в два раза больше фактических. По-видимому, при расчётах коэффициентов шероховатости пойм целесообразно использовать методику, предложенную Б.В. Поляковым [Поляков, 1946], заключающуюся в делении поймы на отдельные отсеки с различными значениями коэффициента шероховатости. Осреднённое для поймы в целом его значение получают как средневзвешенное, т.е.

$$\overline{n}_{\text{п}} = \frac{\Sigma n_i b_i}{B_{\text{п}}}.$$

Здесь n_i – значения коэффициентов шероховатости для участков поймы шириной b_i и $B_{\text{п}}$ – ширина поймы.

При такой методике возникает проблема определения ширины участка, находящегося под воздействием руслового потока. По данным Г.В. Железнякова [Железняков, 1981] и В.Н. Гончарова [Гончаров, 1962], ширина этого участка, определённая по данным исследований на моделях русла с гладкими поймами, составляла 5–6 ширин русла. Однако результаты исследований Н.Б. Барышникова [Барышников, 2007] на основе натурных данных позволили установить,

что ширина этого участка зависит от шероховатости поймы и составляет 1,5–4 ширины русла.

Таким образом, проведённый анализ и расчёты, выполненные на основе натурных и лабораторных данных, позволяют сделать следующие выводы и предложения:

– при расчётах максимальных расходов воды на основе меток высоких вод и таблиц для определения коэффициентов шероховатости средние погрешности расчётов скоростей для беспойменных русел составляют 31–36 % при их максимальных значениях, превышающих сотни процентов;

– для пойменных русел снижение погрешностей расчётов возможно при учёте эффекта воздействия пойменного потока на русловой;

– при подсчёте расходов воды пойм необходимо применять методику, предложенную Б.В. Поляковым, основанную на делении поймы на отсеки с резко отличной шероховатостью;

– самостоятельной проблемой является разработка методики расчётов ширины участка поймы, находящегося под активным воздействием руслового потока;

– необходима разработка методики измерения уклонов водной поверхности пойменных потоков при различных типах пойм.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Гидравлические сопротивления речных русел.– СПб.: изд. РГГМУ, 2003. – 147 с.
2. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 314 с.
3. *Барышников Н.Б.* Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 280 с.
4. *Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С.* Учёт кинематического эффекта в методах расчёта пропускной способности пойменных русел // Метеорология и гидрология, 2008, № 10, с. 80–85.
5. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 374 с.
6. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 311 с.
7. *Карасёв И.Ф.* Речная гидрометрия и учёт водных ресурсов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 310 с.
8. *Поляков Б.В.* Гидрологический анализ и расчёты. – Л.: Гидрометеоиздат, 1946. – 480 с.
9. Наставление по изысканию и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки [НИМП-72]. – М.: Транспорт, 1972. – 280 с.

Д.И. Исаев, М.В. Соболев

РАСЧЕТ СТОКА НАНОСОВ РЕКИ НЕВЫ

D.I. Isaev, M.V. Sobolev

THE NEVA RIVER SOLID MATTER FLOW COMPUTATION

Изложен метод расчета стока взвешенных и донных наносов при наличии нескольких форм их перемещения на примере р. Невы.
Ключевые слова: сток наносов, мутность.

In this paper an approach to the suspended and bottom sediments flow computation for their various combinations is presented.
Key words: sediment, flow computation.

Сведения о стоке донных наносов в значительной степени определяют условия судоходства на реках России, надёжность и стоимость различных гидротехнических сооружений и различных водохозяйственных мероприятий. Перемещаясь в различных формах (влечение, качение, сольтация, гряды и др.), речные наносы непосредственно определяют общий режим, лимитирующие глубины, а также направление и характер свальных течений. Принято считать, что на р. Неве сток наносов незначителен, русловые мезоформы отсутствуют или слабо выражены и потому внимание к изучению стока наносов было недостаточным.

По характеру перемещения наносы принято разделять на взвешенные и донные. Сначала рассмотрим взвешенные наносы. По происхождению их можно разделить на два класса: естественные и антропогенные. К антропогенным могут быть отнесены наносы, поступающие при сбросе промышленных и канализационных вод, и др. Естественный источник поступления наносов делится на две категории: поступление из притоков (Ижора, Тосна, Мга, Славянка, а также ручьи) и из Ладожского озера. Как показали непосредственные измерения мутности в притоках, их вклад в общий сток наносов р. Невы составляет менее 3 %. Мутность воды р. Невы, берущей свое начало из Ладожского озера, также мала и в среднем составляет 5–7 мг/л, незначительно изменяясь от истока к устью.

Несмотря на малую мутность, ежегодный вынос наносов р. Невы в Невскую губу измеряется сотнями тысяч тонн и может оказывать значительное влияние на процессы формирования качества воды и рельефа дна.

Однако бывают условия, когда мутность в р. Неве за короткий период может достигать 160 мг/л. Как показывают наши исследования, причиной такого явления являются шторма в Шлиссельбургской губе Ладожского озера. В результате штормов происходит взмучивание донных отложений, что приводит к поступлению наносов в р. Неву, создавая проблему на водозаборах. Эти же наносы составляют значительную часть илистых донных отложений рукавов дельты р. Невы и Финского залива.

Процессы взмучивания в результате воздействия волны на подвижное дно рассматривались в работах океанологов по изучению проблем переформирова-

ния пляжей. Впервые А.В. Караушев [Караушев, 1977] совместил взвешивающие силы в результате волнового воздействия и силы, возникающие при поступлении движущейся воды.

Основная задача предлагаемой методики – определить значения мутности взмыва в Шлиссельбургской губе по методике Караушева при различных метеорологических условиях и разработать прогноз поступления наносов в р. Неву. Для этого были использованы данные об измеренных расходах взвешенных наносов за 1948, 1949 и 1952, 1953 гг. и данные наблюдений за мутностью воды по четырём водозаборам в 2004 г. На основе лоцманских карт была разбита координатная сетка, в узлах которой задавались отметки глубин и средний диаметр донных отложений. Затем по методике В.Г. Андреянова [Самохин, 1980] были рассчитаны средние высоты волн. Высота волны для бухты Петрокрепость зависит как от скорости ветра, так и от его направления. Так, при северных ветрах, даже при относительно небольшой скорости, высота волны достигает 1 м.

Для различных направлений ветра были построены карты изолинии мутности. Как показали результаты расчетов, при западном, южном и восточном ветрах поле мутности примерно одинаковое. При северном ветре зона распространения повышенной мутности составляет более 1/3 зеркала бухты. Соответственно поступление наносов в р. Неву при штормах северного направления значительно увеличивается.

Результаты расчетов были сопоставлены с натурными данными. Анализ результатов показал наличие связи между расчетными данными и наблюденными. Проверка на независимом материале показала хорошее соответствие результатов расчётов при северных ветрах с натурными данными, при остальных направлениях ветра получены недостаточно удовлетворительные результаты. По-видимому, это объясняется прежде всего тем, что расчетная схема никак не учитывает продолжительность действия ветра. По нашему мнению, более значимым предиктором является высота волны на акватории.

Донные наносы составляют около 10 % всего стока наносов. Происхождение этих наносов, по нашему мнению, более сложное. Одной из причин их образования, по-видимому, является врезание русла р. Невы, приводящее к размыву песчаных отложений, а также их поступление с водосбора. Структурные формы их перемещения в р. Неве своеобразны. На стрежнях потока наносы перемещаются сальтацией – перебрасыванием частиц наносов на короткие расстояния в придонном слое водного потока. У берегов и в устьевой зоне формируются гряды, они являются дефицитными, т.е. сформированными в условиях недостаточного поступления твердого материала. Гряды – собирательный термин, которым, как правило, подчеркивается специфическая конфигурация руслового образования, имеющего относительно пологий верховой и крутой низовой склоны. В этом смысле к грядам относятся рифеля, барханы и другие русловые образования грядовой формы (побочни, осередки и косы).

Нами была разработана методика расчетов расходов донных наносов при наличии в створе одновременно двух форм движения – грядовой и безгрядовой.

В настоящее время наилучшие результаты получаются по формуле ГГИ для расчета расхода донных наносов в грядовой форме [Каполиани, 2004]:

$$q_{\text{в}} = 0{,}11 h_{\text{г}} V \text{Fr}^3 . \quad (1)$$

В этой зависимости высоту гряд рекомендуется определять в общем случае по формулам Снищенко:

$$h_{\text{г}} = 0{,}25H \quad (2)$$

при $H < 1$ м,

$$h_{\text{г}} = 0{,}2 + 0{,}1H \quad (3)$$

при $H > 1$ м.

При наличии данных о скорости потока и крупности частиц высоту гряд рекомендуется определять по формулам Каполиани:

$$h_{\text{г}} = 0{,}39 d \left(V/V_0\right)^{2,5} \text{Fr}^{-3,75} , \quad (4)$$

$$V_0 = 3H^{0,2} \left(d + 0{,}0014\right)^{0,3} . \quad (5)$$

Для крупных наносов в диапазоне изменения гладкости потока $15 < H/d_{95} < 150$ высоту гряд рекомендуется определять по формуле Носелидзе:

$$h_{\text{г}} = \left(0{,}07 V/V_0 + 0{,}02\right) H . \quad (6)$$

В приведенных формулах использованы следующие обозначения: $q_{\text{в}}$ – удельный расход донных наносов; $h_{\text{г}}$ – высота гряд; V – средняя скорость потока на вертикали; Fr – число Фруда; H – глубина потока; V_0 – скорость потока, соответствующая началу движения частиц; d – диаметр частицы.

В результате анализа данных измерений с помощью гидролокатора бокового обзора и продольного эхолотирования были получены средние характеристики гряд. Высота гряды составила 0,09–0,11 м, длина – 5–7 м, крутизна 0,02.

Для расчета расхода влекомых наносов в безгрядовой форме применялась формула Гончарова [Гончаров, 1962]:

$$q_{\text{в}} = 3(1 + \varphi) V_{\text{н}} k \left(\frac{V}{V_{\text{н}}} - 1 \right) \left(\frac{V^3}{V_{\text{н}}^3} - 1 \right), \quad (7)$$

где φ – параметр турбулентности; $V_{\text{н}}$ – средняя несдвигающая критическая скорость потока; k – средняя крупность частиц.

В качестве исходных данных для расчета расходов донных наносов из «Атласа единой глубоководной системы Европейской части РСФСР» [1990] было выбрано 4 створа на различных участках р. Невы. Первый створ расположен на участке Шереметьевской отмели в районе Петрокрепости, второй – около г. Кировска, третий – в районе Ивановских порогов, четвертый – около Петропавловской крепости. Затем по каждому створу были выписаны глубины, характерные для данного участка реки, и определены расстояния до промерных вер-

тикалей. Далее по исходным данным были построены поперечные профили и по методике А. В. Караушева (основанной на формуле Шези) рассчитаны средние скорости на вертикалях. Для расчета использовались следующие формулы:

$$V = nh_{в}^{2/3}; \tag{8}$$

$$n = V_{ср} \big/ h_{ср}^{2/3}; \tag{9}$$

$$V_{ср} = Q/\omega; \tag{10}$$

$$h_{ср} = \omega/B, \tag{11}$$

где n – коэффициент шероховатости; $h_{в}$ – глубина на вертикали; $V_{ср}$ – средняя скорость течения на данном участке реки; $h_{ср}$ – средняя глубина на данном участке реки; Q – расход р. Невы, принятый равным 2500 м^3/с; ω – площадь поперечного сечения; B – ширина реки.

Затем на каждом поперечном профиле были построены эпюры скоростей. Далее на основании критериальных зависимостей В. Н. Гончарова были определены критические скорости движения потока по формулам:

$$V_{н} = \lg\frac{8{,}8H}{k_5}\sqrt{\frac{2g(\rho_1-\rho)k}{3{,}5\rho}}; \tag{12}$$

$$\frac{V^{I}}{V_{н}} = 2{,}5\left(\frac{k_5}{H}\right)^{1/12}; \tag{13}$$

$$\frac{V^{II}}{V_{н}} = \frac{0{,}75V^{III} + 0{,}25V^{I}}{V_{н}}; \tag{14}$$

$$\frac{V^{III}}{V_{н}} = 2{,}5\left(\frac{H}{k_5}\right)^{1/12}, \tag{15}$$

где k_5 – крупность частиц 95 %; g – ускорение свободного падения (9,81 м/с^2); ρ_1 – плотность наносов, принятая 2650 кг/м^3; ρ – плотность воды; V^{I}, V^{II} и V^{III} – соответственно первая, вторая и третья критические скорости. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов критических скоростей на различных участках р. Невы

Створ	$V_{н}$, м/с	V^{I}, м/с	V^{II}, м/с	V^{III}, м/с
Петрокрепость	0,38	0,48	1,52	1,87
Кировск	0,38	0,48	1,52	1,87
Ивановские пороги	0,37	0,48	1,52	1,87
Петропавловская крепость	0,34	0,44	1,51	1,86

По полученным данным о поперечных профилях были выявлены участки, на которых движение наносов происходит в различных формах. Эти участки были установлены на основе следующих соотношений критериальных зависимостей, разработанных В.Н. Гончаровым:

а) в области скоростей $V^I/V_н > V/V_н > V_н/V_н$ поверхность деформируемого русла остается в общем плоской, и режим перемещения называют первым безгрядовым;

б) в области скоростей $V^{III}/V_н > V/V_н > V^I/V_н$ на дне появляется система гряд, поэтому режим перемещения называют донногрядовым, причем гряды возникают при скорости потока, равной первой критической, а при скорости потока, равной второй критической, гряды достигают максимального размера и скорости перемещения;

в) при скорости потока $V/V_н > V^{III}/V_н$ перемещение наносов совершается потоком при сохранении плоского рельефа дна, и режим перемещения называют вторым безгрядовым.

Как показали расчеты, значительную часть ширины русла занимают гряды. На стрежне Невы транспорт наносов происходит при ковровом перемещении (второй безгрядовый режим). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения расходов донных наносов

Створ	$q_в$ по ф-ле (7), кг/с	$q_в$ по ф-ле (1), кг/с	$\Sigma q_в$, кг/с	$\Sigma q_в$, тыс.т/год
Петрокрепость	194	166	360	11340
Кировск	21	4,2	25,2	794
Ивановские пороги	45,6	13,2	58,8	1852
Петропавловская крепость	15,4	2,2	17,6	554

Из анализа данных табл. 2 вытекает, что расход наносов в створе Петрокрепости на порядок выше, чем в нижележащих створах. Это можно объяснить тем, что донные наносы транспортируются Невой в условиях дефицита поступления твердого материала, а в формулах ГГИ и Гончарова расход донных наносов должен быть близок к транспортирующей способности потока. Отсюда следует, что предложенная методика применима для рек, чья транспортирующая способность близка к расходу донных наносов. Для р. Невы наиболее близкими к физически обоснованным пределам следует считать расходы донных наносов, рассчитанные для створа Нева–Петропавловская крепость.

Литература

1. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РСФСР. Т. 3. Волго-Балтийский водный путь им. В.И. Ленина от Ленинграда до Рыбинска. – Л.: ЦКП ВМФ, 1990. – 315 с.
2. *Гончаров В. Н.*, Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 376 с.
3. *Каполиани З.Д.*, *Костюченко А.А.* Расчёты расхода донных наносов в реках // Сб. работ по гидрологии, 2004, № 27, с. 25–40.
4. *Караушев А.В.* Теория и методы расчётов речных наносов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 272 с.
5. *Самохин А.А.*, *Соловьёва Н.Н.*, *Догановский А.М.* Практикум по гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 296 с.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

П.А. Блакидная, С.П. Смышляев, Е.М. Атласкин, Г. Шаарийбуу

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ГАЗОВЫЙ СОСТАВ И ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ

P.A. Zimenko, S.P. Smyshlyaev, E.M. Atlaskin, G. Shaaribu

A MODEL STUDY OF THE SOLAR ACTIVITY EFFECTS ON THE VARIABILITY OF THE GAS COMPOSITION AND TEMPERATURE IN THE ATMOSPHERE

Трехмерная интерактивная химико-климатическая модель нижней и средней атмосферы используется для исследования взаимосвязи химических и физических процессов на примере влияния вариаций потоков солнечной радиации, вызванных изменениями солнечной активности, на температуру и содержание озона. Результаты численных экспериментов с раздельным и совместным влиянием солнечной активности на химический состав и циркуляцию атмосферы показали, что обратные связи могут оказать как количественное, так и качественное воздействие на содержание озона и температуру.

Ключевые слова: озон, температура, солнечная радиация, солнечная активность, обратные связи.

A three-dimensional interactive chemistry climate model of the lower and middle atmosphere is used to study interactions between chemical and physical processes in the atmosphere due to solar flux variations induced by solar activity changes on the temperature and atmospheric ozone variability. The model results have shown that indicated that feedbacks between ozone and temperature changes can have a both quantitative and qualitative impact on the temperature and atmospheric ozone variability.

Key words: ozone, temperature, solar radiation, solar activity, feedbacks.

Результаты наблюдений последнего времени свидетельствуют о тревожных тенденциях долгопериодной изменчивости температурного режима и газового состава атмосферы, такие как глобальное потепление в тропосфере, выхолаживание стратосферы, истощение толщины озонного слоя в стратосфере и увеличение его содержания в тропосфере [IPCC, 2001; WMO, 2003]. Эти изменения происходят одновременно и могут быть связаны, т.к. как увеличение, так и уменьшение температуры воздуха может привести к вариациям скоростей химических реакций с результирующим изменением содержания атмосферных газов. В свою очередь, изменение концентраций радиационно-активных газов в атмосфере, таких как озон, метан, фреоны или водяной пар, оказывает замет-

ное влияние на радиационный нагрев и выхолаживание в атмосфере с соответствующими вариациями ее циркуляции и температурного режима [Александров, 1982; Брасье, 1987].

Предполагается, что наблюдаемые изменения климата и газового состава атмосферы могут быть в значительной степени обусловлены антропогенным воздействием на окружающую среду [IPCC, 2001; WMO, 2003]. Вместе с тем естественная природная изменчивость разных временных масштабов также может привести к существенным изменениям структуры и состава атмосферы, сравнимым по амплитуде с антропогенным воздействием [Geller, 2002; Jackman et al., 1996]. Одним из подобных естественных факторов является одиннадцатилетний цикл солнечной активности, в процессе которого потоки солнечной радиации в ультрафиолетовой области солнечного спектра могут значительно изменяться от минимума к максимуму солнечной активности [Lean, 2000; Lean et al., 1997; Rottman, 2000]. Солнечная активность является природным фактором, который может оказать влияние как на физические, так и на химические процессы в атмосфере, а обратные связи между этими процессами могут существенно изменить масштаб и даже направление влияния солнечной активности на тепловой режим и газовый состав атмосферы.

Изучению влияния солнечной активности на изменения структуры и состава атмосферы в последнее время уделялось значительное внимание [Geller, 2002; Jackman et al., 1996; Логинов, 1980; Ракипова, 1977; Смышляев, 2005; Shindel et al., 1999]. Результаты этих, как экспериментальных, так и теоретических, исследований показали, что в основном при увеличении солнечной активности от минимума к максимуму одиннадцатилетнего цикла отмечается увеличение температуры и содержания озона. Однако в определенных ситуациях отмечается и уменьшение температуры, и сокращение содержания озона [Tourpali et al., 2003; Криволуцкий, 1995].

Одним из факторов, который может привести к корректировке генеральной положительной тенденции реакции температуры и содержания озона на увеличение солнечной активности вплоть до смены знака эффекта, может быть обратная связь между одновременным воздействием изменений солнечной активности на нагрев атмосферы и скорости химических реакций. Подобные взаимосвязи в последнее время исследуются с использованием интерактивных химико-климатических моделей (ХКМ) [Tourpali et al., 2003; Rozanov et al., 2004; Eyring et al., 2005], однако природа одновременного воздействия солнечной активности на радиационный режим, динамику и химию атмосферы еще изучена недостаточно. В настоящей работе делается попытка исследовать чувствительность температуры и содержания озона в атмосфере на изменения спектральных потоков солнечной радиации, вызванные солнечной активностью, путем проведения численных экспериментов с химико-климатической моделью нижней и средней атмосферы.

Главной целью настоящей работы является исследование неявного воздействия изменения солнечной активности на изменение климата за счет обратных связей между изменением содержания атмосферных газов, температуры и циркуляции атмосферы путем проведения численных экспериментов с трехмерной интерактивной химико-климатической моделью с использованием данных спутниковых измерений об изменчивости спектральных потоков солнечной радиации.

Методология

Солнечное излучение дает практически всю энергию, управляющую физическими и химическими процессами в земной атмосфере. Нагрев атмосферы в результате поглощения газами и аэрозолем солнечного излучения инициирует динамические процессы разного масштаба, определяющие перенос массы и тепла в атмосфере. С другой стороны, фотодиссоциация атмосферных газов в результате поглощения солнечной радиации дает начало химическим процессам образования и разрушения озона и влияющих на него газов [Александров, 1992; Брасье, 1987]. Следовательно, изменения величины потоков солнечной энергии, достигающей земной атмосферы, потенциально могут повлиять как на химическое образование и разрушение атмосферного озона, так и на его перенос атмосферными потоками массы.

На основании наблюдений за количеством солнечных пятен было установлено существование 11-летнего цикла изменения солнечной активности. Инструментальные измерения вариаций интенсивности потоков солнечной радиации появились сравнительно недавно. Изменения интегрального потока (по всем длинам волн) невелики и составляют десятые доли процента [Александров, 1992; Брасье, 1987; Смышляев, 2005]. Однако излучение в ультрафиолетовой области спектра меняется гораздо сильнее по сравнению с изменением полного потока. Спутниковые измерения интенсивности внеатмосферной солнечной радиации в разных участках солнечного спектра, проводившиеся в течение последних лет, показали, что в ультрафиолетовой области спектра изменения солнечной активности от минимума к максимуму в течение 11-летнего цикла могут привести к увеличению потоков солнечной радиации до 20 % при длинах волн менее 200 нм и до 10 % – в диапазоне 200–300 нм [Lean, 2000; Lean et al., 1997; Rottman, 2000]. Учитывая тот факт, что ультрафиолетовая часть спектра является определяющей для фотохимии озона и важной в формировании нагрева атмосферы, подобные изменения солнечной радиации могут привести к существенным возмущениям фотохимических и радиационных процессов в озоносфере, а следовательно, и к изменению динамических процессов в атмосфере.

На пространственно-временное распределение озона, так же как и других малых газовых составляющих атмосферы, оказывает влияние такой важный фактор, как изменение температуры, от которой зависят скорости многих химических процессов, влияющих на образование и разрушение озона. Вместе с тем

изменение концентрации озона в результате тех или иных возмущений само влияет на колебания температуры, поскольку озон поглощает УФ излучение Солнца, являющееся источником тепла в стратосфере.

Способность инициированных солнечной активностью изменений солнечного излучения одновременно воздействовать на оба фактора, определяющих пространственно-временное распределение озона, т.е. на атмосферную химию и динамику, создает благоприятную возможность для исследования роли обратных связей между химическими, динамическими и радиационными процессами в формировании наблюдаемой изменчивости содержания озона. Моделируя сначала раздельное, а затем совместное влияние изменений солнечной радиации на фотохимию и динамику атмосферы с соответствующими изменениями температуры и содержания озона с учетом и без учета обратных связей между физическими и химическими процессами, можно оценить насколько сильно учет обратных связей может изменить расчетные значения температуры и концентрации озона. В настоящей работе для оценки изменений температуры и газового состава атмосферы при изменении потоков УФ радиации, обусловленных солнечной активностью, была использована глобальная трехмерная интерактивная модель химии и климата, состоящая из интерактивно связанных трехмерных моделей газового состава (МГС) РГГМУ [Smyshlyaev et al., 1998] и общей циркуляции атмосферы (МОЦА) Института вычислительной математики РАН [Алексеев, 1998; Галин, 2003, Володин, 2006].

Особенность используемой модели состоит в интерактивном обмене расчетных данных МОЦА и МГС на каждом шаге по времени, что позволяет учитывать взаимодействие радиационных, химических и динамических процессов в атмосфере и исследовать обратные связи между содержанием радиационно-активных малых газов и атмосферным переносом. Рассчитанные в МГС распределения содержания озона учитываются в МОЦА при расчете нагрева и выхолаживания атмосферы, которые оказывают определяющее воздействие на вычисляемые в МОЦА температуру и скорости ветра. В свою очередь расчетные значения температуры и ветра передаются в МГС, где они определяют скорости химических реакций и атмосферный перенос малых газов атмосферы соответственно. Детали взаимодействия МГС и МОЦА в рамках совместной химико-климатической модели, а также сравнение результатов расчетов данной ХКМ с наблюдениями приведены в [Галин, 2007].

Для исследования влияния изменчивости потоков солнечной радиации на газовый состав и температуру атмосферы были проведены численные эксперименты по воспроизведению эволюции структуры и газового состава атмосферы в течение периода эксперимента AMIP-2 (1979–1995 гг.). Описание сценариев модельных экспериментов, цели и методики приведены в табл. 1. Нижние граничные условия в модели задаются на основании данных ВМО (потоки газовых примесей с земной поверхности). Температура поверхности океана и площадь покрытия льдом – по данным эксперимента AMIP-2. Для каждого сценария бы-

ли проведены два расчета на весь период эксперимента AMIP-2: один со спектральными потоками солнечной радиации, соответствующими минимальной солнечной активности, а второй – максимальному уровню солнечной активности, с разницей между потоками, определяемой данными измерений.

Таблица 1

Описание численных экспериментов

№	Цель – исследования	Интерактивный обмен между МОЦА и МГС	Методика численных экспериментов	Примечания	
1	Влияние солнечной активности на фотохимию газов без учета обратных связей	–	В фотохимической модели потоки солнечной радиации в спектральном диапазоне 175–450 нм изменяются в соответствии с данными рис. 1 для минимума (максимума) солнечной активности	Высотно-широтная изменчивость концентрации озона (%) от минимума к максимуму солнечной активности	Рис. 1
				Изменение температуры не происходит	
2	Совместное влияние на фотохимию атмосферных газов и на изменение нагрева атмосферы	+	Изменения в фотохимической модели и в радиационном блоке модели общей циркуляции	Высотно-широтная изменчивость концентрации озона (%)	Рис. 2
				Высотно-широтная изменчивость температуры (K)	Рис. 3
				Изменение общего содержания озона (е.Д., %) от минимума к максимуму солнечной активности	Рис. 4

На первом этапе численных экспериментов исследуется отдельное влияние солнечной активности только на фотохимию атмосферных газов без учета обратных связей с атмосферной динамикой. Влияние солнечной активности на изменение скоростей фотодиссоциации атмосферных газов учитывается в фотохимической модели. Для этого интенсивность потоков солнечной радиации в спектральном диапазоне 175-450 нм уменьшалась (увеличивалась) для минимума (максимума) солнечной активности на половину амплитуды. Эти данные получены путем комбинирования результатов спутниковых наблюдений в течение двух последних 11-летних циклов (1979–2000 гг.) [Lean, 2000; Lean et al, 1997; Rottman, 2000]. Влияние солнечной активности на газовый состав оценивается путем сравнения полученных квазистационарных составов атмосферы для высокого и низкого уровней солнечной активности.

Изменение потоков солнечной радиации на разных фазах солнечной активности непосредственно оказывает влияние на скорости нагрева атмосферы, рассчитываемые в модели общей циркуляции. Поэтому на втором этапе модельных

экспериментов рассматривается совместное влияние изменения солнечной активности от минимума к максимуму на атмосферный озон и температуру как посредством влияния изменения интенсивности солнечной радиации на изменение скоростей фотохимических реакций, так и на изменение нагрева атмосферы. Для учета влияния солнечной активности на нагрев атмосферы в радиационном блоке МОЦА спектральные характеристики внеатмосферной солнечной радиации уточняются для минимального и максимального уровней 11-летнего солнечного цикла в соответствии с экспериментальными данными. В этих экспериментах также исследуется явное и неявное воздействие солнечной активности на температуру и газовый состав атмосферы в результате раздельного и совместного влияния на изменения скоростей фотохимических реакций и скорости нагрева.

Результаты модельных расчетов

Результаты сравнения модельных расчетов динамики изменения температуры, озона и других малых газов с измерениями и другими моделями показали, что модель достаточно точно воспроизводит как внутригодовые пространственно-временные распределения исследуемых характеристик, так и их межгодовую изменчивость. Результаты этих экспериментов по тестированию разработанного авторами модельного комплекса ССМ детально приведены в [Галин, 2007; Смышляев, 2010а, Смышляев, 2010б]. Проведенная валидация модели позволила сделать заключение о том, что блоки химии и динамики, а также их взаимодействие описаны в ССМ корректно, что позволяет использовать модель для дальнейшего исследования основных факторов наблюдаемой изменчивости атмосферного озона и температуры, а также прогноза их вариаций в будущем.

После завершения проверки способности модели воспроизводить наблюдаемые особенности распределения содержания атмосферных газов и температуры были проведены модельные эксперименты по исследованию влияния изменчивости спектральных потоков солнечной радиации, обусловленных солнечной активностью, на содержание озона и температуру атмосферы. В первом цикле экспериментов исследовалось изменение содержания озона как результат влияния солнечной активности на изменение скоростей фотодиссоциации газов. При этом обратные связи между изменением озона, радиационным нагревом и динамикой не учитывались.

На рис. 1 приведена высотно-широтная изменчивость концентрации озона при изменении потоков солнечной радиации от минимума к максимуму солнечной активности по результатам первого цикла экспериментов. Увеличение потоков солнечной радиации ведет к ускорению фотолиза всех подверженных фотодиссоциации атмосферных газов. В результате этого, с одной стороны, увеличивается продукция озона в результате фоторазрушения молекулярного кислорода, а с другой – ускоряются процессы каталитического разрушения озона в

азотных и водородных циклах. Однако, как было показано авторами ранее [Смышляев, 2005], суммарный эффект заключается все же в преобладании ускорения продукции озона над увеличением его разрушения.

Наибольший отклик озона на изменение солнечной активности, резко возрастающий с высотой, отмечается в мезосфере на высотах выше 70 км, что является понятным с учетом направления переноса солнечной радиации в земной атмосфере. Следует отметить, однако, что концентрации озона на этих высотах незначительны и не вносят существенного вклада в его общее содержание. Более интересным является эффект образования локального максимума изменения содержания озона на высотах 30–50 км, т.е. в верхней стратосфере, где находится большая часть атмосферного содержания озона. По абсолютной величине этот локальный максимум достигает 4 % чуть ниже 40 км в средних широтах летнего полушария. Образование этого максимума является результатом комбинации высотной изменчивости скоростей разрушения озона в азотных и водородных циклах.

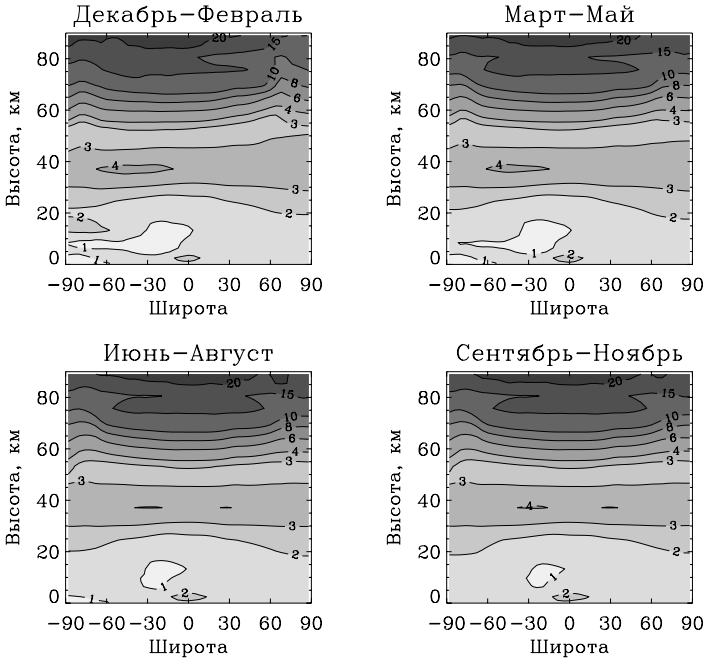


Рис. 1. Высотно-широтная изменчивость концентрации озона в разные сезоны (%) как результат влияния солнечной активности на химию без обратной связи

На высотах 20–40 км разрушение озона происходит преимущественно в каталитических циклах с участием радикалов азота, где определяющей является реакция атомарного кислорода с двуокисью азота [Брасье, 1987;]. Увеличение интенсивности потоков солнечной радиации способствует перераспределению азотосодержащих газов внутри семейства «нечетного азота», в результате чего в

атмосфере содержание двуокиси азота уменьшается, так как она интенсивно разрушается в результате фотодиссоциации.

На высотах ниже 20 км и выше 45 км определяющую роль играет разрушение озона в водородных каталитических циклах [Брасье, 1987;]. При увеличении внеатмосферных потоков солнечной радиации в верхней стратосфере интенсифицируются процессы образования радикалов водорода, в результате чего возрастает и скорость разрушения озона. Также увеличение интенсивности солнечной радиации способствует увеличению скорости разрушения озона в верхней стратосфере в реакциях с участием хлорных и бромных газовых составляющих. В нижней стратосфере и тропосфере с ослаблением радиационных потоков изменение концентрации озона уменьшается, но остается положительным вследствие атмосферного переноса. В тропической зоне у земной поверхности наблюдается локальный максимум увеличения концентрации озона.

В целом положительная реакция содержания озона на изменение скоростей фотодиссоциации при увеличении радиационных потоков от минимума к максимуму солнечной активности сохраняется в течение всех сезонов, на всех широтах и высотах, при этом изменение концентрации озона плавно меняется по высоте и широте. Следует заметить, что из-за отсутствия обратного влияния изменения содержания озона на радиационный режим атмосферы изменений температуры в данной серии модельных экспериментов не происходит, поэтому и не анализируется. Подробное исследование высотных особенностей влияния изменчивости потоков солнечного излучения на изменение концентрации озона, скоростей его образования и разрушения в разных широтных зонах без учета обратных связей между химией и динамикой атмосферы приведено в работе [Смышляев, 2005].

Во второй серии модельных экспериментов исследовалось совместное влияние изменения солнечной активности от минимума к максимуму на атмосферный озон и температуру как посредством влияния изменения интенсивности солнечной радиации на изменение скоростей фотохимических реакций, так и на изменение нагрева атмосферы с учетом обратных связей. На рис. 2 приводится высотно-широтное распределение изменения концентрации озона как результат влияния солнечной активности на химию и динамику с обратной связью. В мезосфере (выше 60 км) характер изменения концентрации озона остался прежним (сравнить с рис. 1). Однако в средней и нижней стратосфере полный учет обратных связей между химией, радиацией и динамикой привел даже к смене знака эффекта в некоторых регионах. В частности, в отличие от предыдущей серии модельных экспериментов, в данном варианте отмечается значительное уменьшение содержания озона и температуры (рис. 2) в нижней стратосфере полярных районов и увеличение содержания озона в нижней стратосфере тропических широт.

Главным фактором, определяющим такое резкое изменение содержания озона, можно предположить изменение температуры как в стратосфере, так и

в мезосфере, что не наблюдалось в предыдущей серии экспериментов, когда не учитывалось влияние изменения потоков солнечной радиации непосредственно на нагрев атмосферы. При таких вариациях нагрева на всех высотах, в отличие от предыдущего эксперимента, где нагрев менялся только там, где менялось содержание озона, меняются условия образования и распространения планетарных и гравитационных волн [Алексеев, 1998], в результате чего циркумполярный вихрь становится более устойчивым и продолжительным во времени в обоих полушариях.

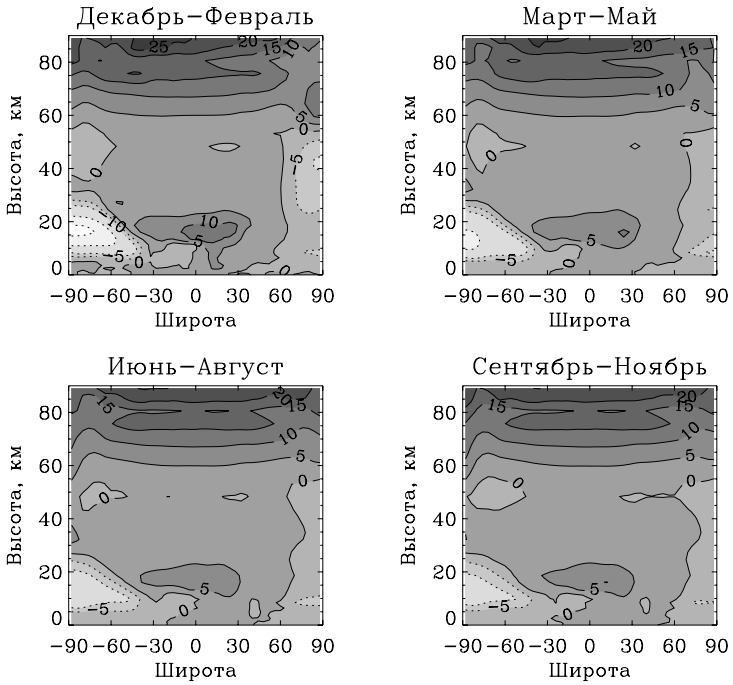


Рис. 2. Высотно-широтная изменчивость концентрации озона в разные сезоны (%) как результат влияния солнечной активности на химию и динамику с обратной связью

Таким образом, большая изолированность полярных регионов от средних широт приводит к более продолжительному периоду выхолаживания нижней стратосферы, что отмечается на рис. 3. В условиях более холодной стратосферы для случая с максимальной солнечной активностью более продолжительное время существуют полярные стратосферные облака. В результате этого процессы хлорной и бромной активации на облаках такого типа приводят к более интенсивному разрушению озона после возвращения солнца по окончании полярной ночи. Следует отметить, что процессы развития циркумполярного вихря оказываются более эффективными для формирования поля озона и температуры в полярных районах, чем потенциальное повышение температуры в результате увеличения концентрации озона в ответ на изменение солнечной активно-

сти от минимума к максимуму 11-летнего цикла, рассмотренное во второй серии модельных экспериментов, когда эффект в полярных районах был положительным весь год.

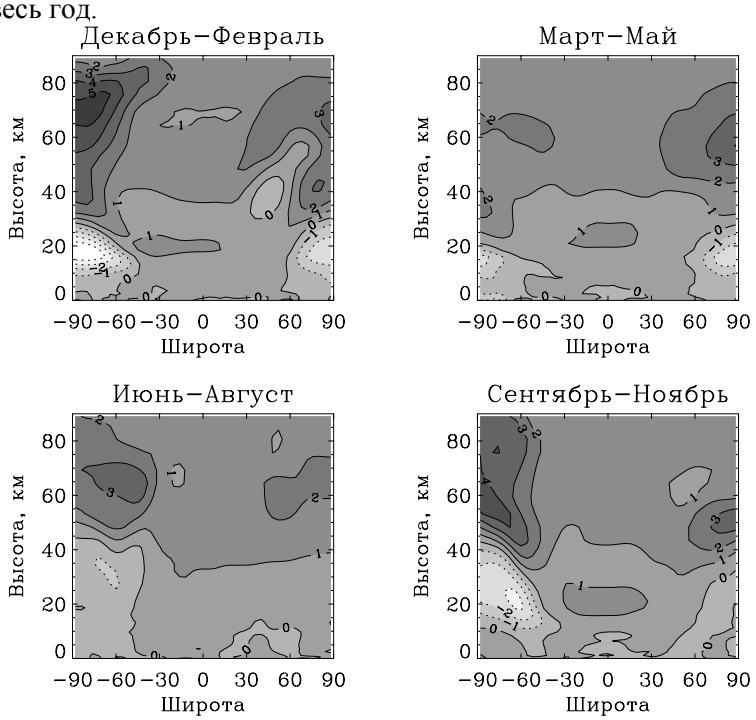


Рис. 3. Высотно-широтная изменчивость температуры (K)
как результат влияния солнечной активности на химию и динамику с обратной связью

На рис. 4 приведено изменение общего содержания озона как результат влияния изменения солнечной активности от минимума к максимуму на динамику и химию с обратной связью. В экваториальной части отмечается малоградиентное поле изменения общего содержания озона от минимума к максимуму солнечной активности. В течение года вариации общего содержания озона в тропической зоне меняются мало и составляют около 2,5 %. Наибольшие изменения общего содержания озона отмечаются полярных районах. При этом разные условия формирования циркумполярного вихря в Северном и Южном полушариях приводят к качественно разному изменению содержания озона. В Южном полушарии наблюдается эффект увеличения продолжительности циркумполярного вихря, в результате чего максимальное уменьшение содержания озона отмечается в ноябре–январе, когда озоновая дыра уже должна затягиваться [Смышляев, 2010а]. В Северном же полушарии максимальный эффект наблюдается в марте–апреле, т.е. когда только формируются озоновые минидыры. Таким образом, если в Южном полушарии изменение солнечной активности с учетом обратных связей может привести к увеличению продолжитель-

ности озоновых дыр, то в Северном полушарии – к увеличению глубины озоновых мини-дыр.

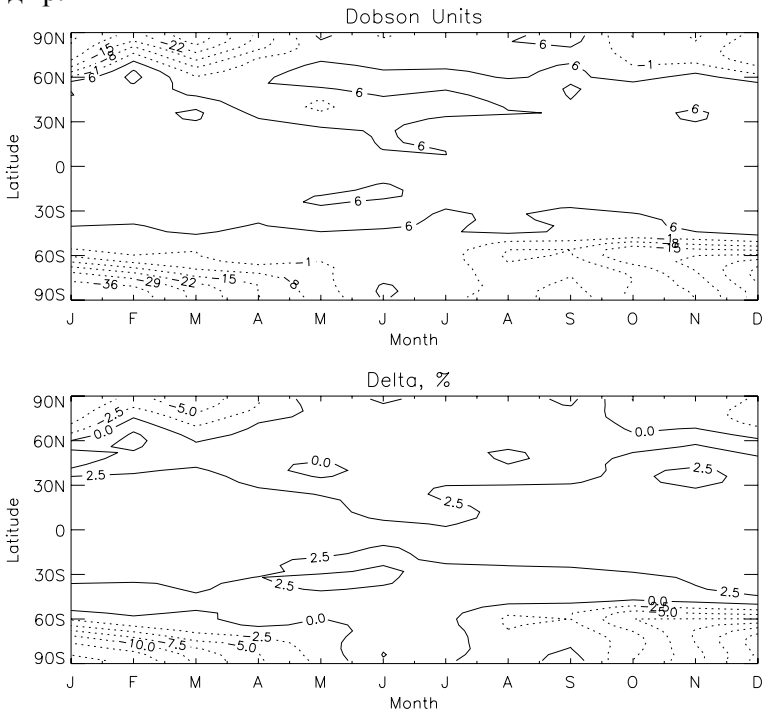


Рис. 4. Изменение общего содержания озона как результат влияния солнечной активности на динамику и химию с обратной связью

Заключение

Представлены результаты модельных экспериментов с трехмерной интерактивной химико-климатической моделью нижней и средней атмосферы, выполненных с целью исследования влияния обратных связей между химическими, радиационными и динамическими процессами на примере влияния вариаций потоков солнечной радиации, вызванных изменением солнечной активности от минимума к максимуму 11-летнего цикла, на содержание озона и температуру атмосферы. Проведены численные эксперименты с ССМ, в которых учитывалось раздельное и совместное влияние вариаций потоков солнечной радиации на изменение скоростей фотохимических реакций и нагрев в атмосфере. Изменение солнечной активности задавалось на основании результатов спутниковых измерений с учетом спектральной зависимости изменчивости потоков солнечного излучения в течение 11-летнего цикла солнечной активности.

Сопоставление результатов численных экспериментов с раздельным и совместным моделированием влияния изменения солнечной активности на фотохимию, радиацию и циркуляцию атмосферы показало, что обратные связи мо-

гут приводить как к количественным, так и качественным изменениям содержания озона и температуры. Исследование высотных особенностей влияния изменчивости потоков солнечного излучения на содержание озона и температуру атмосферы выявило, что изменение потока солнечной радиации от минимума к максимуму солнечного цикла содержание атмосферного озона и температуры может не только увеличивать, но и уменьшать. При этом неявное воздействие солнечной активности на изменения климата за счет обратных связей усиливает пространственную неоднородность этих изменений.

Полученные результаты показали важность учета обратных связей между изменением содержания атмосферных газов, температуры и циркуляции атмосферы на примере влияния солнечной активности. При этом следует заметить, что полученные в настоящей работе выводы требуют дальнейшего углубленного исследования и экспериментальной проверки путем сравнения результатов измерений содержания озона и температуры в годы с различным уровнем солнечной активности, а также расчеты с использованием реальной изменчивости уровня солнечной активности от года к году. Подобная работа планируется авторами для выполнения в ближайшем будущем.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-00916а).

Литература

1. *Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х.* Озонный щит Земли и его изменения. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 288 с.
2. *Алексеев В.А., Володин Е.М., Галин В.Я., Дымников В.П., Лыкосов В.Н.* Моделирование современного климата с помощью атмосферной модели ИВМ РАН. – М.: Препринт ИВМ РАН № 2086-В98, 1998. – 180 с.
3. *Брасье Г., Соломон С.* Аэрономия средней атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 291 с.
4. *Володин Е.М., Дианский Н.А.* Воспроизведение изменений климата в 19-22 столетиях с помощью модели общей циркуляции атмосферы и океана // Изв. РАН, сер. ФАО, 2006, т.42, № 3, с. 291–306.
5. *Галин В.Я., Володин Е.М., Смышляев С.П.* Модель общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН с динамикой озона // Метеорология и гидрология, 2003, № 5, с. 13–23.
6. *Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М.,* Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Изв. РАН, сер. ФАО, 2007, т. 43. № 4, с. 347–452.
7. *Криволуцкий А.А., Кидиярова В.Г., Иванова И.Н., Глазков В.Н., Фомина Н.Н.* Проявление процессов солнечной активности в озоносфере Земли // Изв. РАН, сер. ФАО, 1995, 31, 1, 53–56.
8. *Логинов В.Ф., Ракипова Л.Р., Сухомазова Г.И.* Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 80 с.
9. *Ракипова Л.Р.* Влияние солнечной активности на циркуляцию и температуру стратосферы. – В кн.: Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 3–9.
10. *Смышляев С.П., Галин В.Я., Володин Е.М.* Модельное исследование межгодовой изменчивости содержания атмосферного озона в средних широтах // Изв.РАН, сер. ФАО, 2004, т. 40, № 2, с. 211–222.

11. *Смышляев С.П., Галин В.Я., Зименко П.А., Кудрявцев А.П.* Моделирование влияния изменений спектральных потоков солнечной радиации, вызванных солнечной активностью, на содержание атмосферного озона // Метеорология и гидрология, 2005, № 8, с. 25–37.
12. *Смышляев С.П., Галин В.Я., Шаарийбуу Г., Моцаков М.А.* Моделирование изменчивости газовых и аэрозольных составляющих в стратосфере полярных районов // Изв. РАН, сер ФАО, 2010, т. 46. № 3, с. 3–15.
13. *Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я.* Моделирование влияния грозовой активности на газовый состав атмосферы // Изв. РАН, сер ФАО, 2010, т. 46, № 4, с. 5–17.
14. *Eyring V., N.R.P. Harris, M. Rex, T.G. Shepherd, D.W. Fahey, G.T. Amanatidis, J. Austin, M.P. Chipperfleld, M. Dameris, P.M. De F. Forster, A. Gettelman, H.F. Graf, T. Nagashima, P.A. Newman, S. Pawson, M.J. Prather, J.A. Pyle, R.J. Salawitch, B.D. Santer, and D.W. Waugh.* A strategy for process-oriented validation of coupled chemistry-climate models. – Bull. Am. Meteorol. Soc, 2005, 86, 1117–1133.
15. *Geller M.A., Smyshlyaev S.P.* A Model Study of Total Ozone Evolution 1979-2000 – The Role of Individual Natural and Anthropogenic Effects, – *Geophys. Res. Letters*, 29(22), 2048, doi: 10.1029/2002GL015689, 2002.
16. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2001: The Scientific Basis: Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson, 881 p., Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2001.
17. *Jackman C.H., Fleming E.L., Chandra S., Considine D.B., Rosenfield J.E.* Past, present, and future modeled ozone trends with comparisons to observed trends // J. Geophys. Res., 1996, vol. 101, p. 28753-28767.
18. *Lean J.* Evolution of the Sun's spectral irradiance since the Maunder Minimum, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2,425-2,428, 2000.
19. *Lean J.L, Rottman G.J., Lee Kyle H., Woods H.N., Hickey J.R., Puga L.C.* Detection and parameterization of variations in solar mid- and near-ultraviolet (200–400 nm) // *J. Geophys. Res*., 102, 29,939-29,956, 1997.
20. *McCormack J.P., Hood L.L., Nagatani R., Miller A.J., Planet W.G., McPeters R.D.* Approximate separation of volcanic and 11-year signals in the SBUV-SBUV/2 total ozone record over the 1979–1995 period. – Geophys.Res.Lett., 1997, vol. 24, p. 2729–2732.
21. *Rozanov E.V., Schlesinger M.E., Egorova T.A., Li B., Andronova N. and Zubov V.A.* (2004) Atmospheric response to the observed increase of solar UV radiation from solar minimum to solar maximum simulated by the UIUC Climate-Chemistry Model // J. Geophys. Res. 109, D01110, doi:10.1029/2003JD003796.
22. *Rottman G.J.* Variations of solar ultraviolet irradiance observed by the UARS SOLSTICE – 1991 to 1999. – *Space Sci.Rev*., 2000, 94, 83-91.
23. *Shindel D., Rind D., Balachandran N., Lean J., Lonergan P.* Solar cycle variability, ozone and climate. – Science, 1999, vol. 284, p. 305–308.
24. *Smyshlyaev S.P., Dvortsov V.L., Geller M.A., Yudin V.A.* A two dimensional model with input parameters from a GCM: Ozone sensitivity to different formulation for the longitudinal temperature variation // J. Geophys. Res., 1998, vol. 103, p. 28373–28387.
25. *Tourpali K., C.J.E. Schuurmans, R. van Dorland, B. Steil and C. Brühl* (2003): Stratospheric and tropospheric response to enhanced solar UV radiation: A model study, Geophys. Res. Lett., 30(5), 1231, doi: 10.1029/2002GL016650.
26. WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 47 – Geneva, Switzerland, 2003.

А.В. Снегуров, В.С. Снегуров, Г.Г. Щукин

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРОЗАМИ, СИСТЕМАМИ ПЕЛЕНГАЦИИ ГРОЗ И МРЛ

A.V. Snegurov, V.S. Snegurov, G.G. Shchukin

METHODS AND RESULTS OF LIGHTNING OBSERVATIONS WITH LIGHTNING DETECTION NETWORKS AND WEATHER RADARS

Приведена методика обработки данных совместных измерений МРЛ с различными системами пеленгации гроз. Применение однопунктового грозопеленгатора и дальномера увеличивает на 10–15 % вероятность распознавания гроз МРЛ. Использование многопунктовой системы пеленгации гроз повышает точность измерения координат грозовых разрядов до 1 км, исключает появление ложных тревог, характерных однопунктовым системам, и увеличивает вероятность распознавания гроз МРЛ на 25–30 %.

Ключевые слова: метеорологические радиолокаторы, грозопеленгаторы, пеленгация гроз.

The paper presents results of data processing of simultaneous lightning registration with the help of weather radars and lightning detection networks. Analysis shows that application of a one-station direction range finder increases efficiency of lightning detection with weather radars by 10%–15%. Simultaneous operation of a lightning detection network and weather radars allows us to achieve 1 km accuracy of radar thunderstorm detection, excludes instances of false alarms and increases thunderstorm detection efficiency with weather radars by 25–30 %.

Key words: weather radars, thunderstorm detection stations, thunderstorm detection.

В развитие радиолокационно-пеленгационного метода наблюдений за грозами, подробно изложенного в работах [Бару, 1975; Болондинская, 1978; Гальперин, 1964; 1969, 2001; Корниенко, Павлова, 1975; Методические указания, 1974; Руководство, 1974, 1993; Снегуров, 2001, 1997; Степаненко, 1983], в грозовые сезоны 2004–2005 гг. в п. Воейково Ленинградской области на базе НИЦ ДЗА были проведены совместные наблюдения за конвективными облаками радиолокационной станцией МРЛ-5 (далее по тексту МРЛ) и однопунктовым грозопеленгатором-дальномером (ОГПД) версии «Алвес 2» [Снегуров, 2001, 1997]. В 2004 г. дополнительно привлекались данные визуальных наблюдений наземных метеорологических станций и пеленгационной системы местоопределения гроз (ПСМГ).

Опыт обработки данных совместных наблюдений за грозами наземными метеостанциями и МРЛ в зоне до 200 км за 20 августа 2004 г. показал, что они совместно распознают правильно грозы в 14 % случаев, метеостанции фиксируют грозы, а МРЛ их не «видит» в 2 % случаев и в 84 % случаев МРЛ «видит» грозы, а метеостанции нет. Аналогичные цифры получены при обработке ре-

зультатов наблюдений за другие грозовые дни августа и сентября 2004 г. Низкая эффективность наземных наблюдений – а этим только можно объяснить приведенные выше цифры – не позволила объективно дать оценку вероятности правильного распознавания грозовых очагов МРЛ и системами пеленгации гроз. По этой причине в дальнейших исследованиях использовались только данные измерений МРЛ, ОГПД и ПСМГ.

МРЛ оснащен аппаратно-программным обеспечением «Мерком», которое позволяет проводить аналогово-цифровую обработку видеосигнала, вычисление основных радиолокационных критериев грозовой опасности конвективных облаков, формировать файлы с данными измерений основных радиолокационных параметров и специальные файлы, содержащие информацию по ячейкам 4×4 км о радиолокационной отражаемости конвективных облаков на уровнях $Lg(z) > -2{,}4$ за сеанс наблюдений. МРЛ, ОГПД с аппаратно-программным обеспечением «Алвес 2» и ПСМГ работали независимо. ОГПД ежеминутно формировал текстовые файлы, которые по локальной сети транслировались на сервер, куда также переписывались файлы с данными МРЛ. На сервере специальная программа версии «Алвес 2,3» объединяла данные измерений МРЛ и ОГПД. Интервал измерений радиолокационной станцией составлял 3–4 мин. Объединенный файл данных МРЛ и ОГПД обобщал данные за такой же период измерений.

Для определения вероятностных параметров распознавания гроз МРЛ использовались четыре варианта обработки информации.

Первый вариант. Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и пеленгатора, работающего в составе ОГПД. Другими словами, направление на грозовые разряды (грозовой очаг) определялось пеленгатором, а дальность – МРЛ. В определенной степени этот вариант повторял методики обработки данных совместных наблюдений МРЛ с МАРП СДВ [Гальперин,1964] и ПАГ-1 [Бару, 1975; Гальперин, 1969]. Различие состоит в том, что в данном эксперименте исключены результаты визуальных наблюдений, обработка и представление информации полностью автоматизированы.

Программа-обработчик пеленгатора ОГПД автоматически проводит в объединенных файлах поиск ячеек 4×4 км с отражаемостью $Lg(z) > 0{,}6$, находящихся по азимутам на грозовые разряды и вписывающихся в указанные размеры ячеек. При совпадении данных измерений ячейки на карте выделялись контуром красного цвета. Сравнение данных пеленгатора ОГПД и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин, соответствующей времени одного сеанса МРЛ. Количество сеансов МРЛ определялось дежурным оператором в зависимости от метеорологической обстановки. ОГПД работал круглосуточно. Время обновления информации было постоянным и составляло одну минуту. Сопоставление данных МРЛ и пеленгатора проводилось следующим образом. В тех случаях, когда на карте МРЛ в ячейках 30×30 км наблюдались зоны радиоэхо, которые идентифицировались как грозы с различной вероятностью (на

карте отмечались значками R, R] и [R]), и в эти ячейки вписывались ячейки 4×4 км с отметкой грозы (с контуром красного цвета), по данным пеленгатора считалось, что данные о местоположении грозовых очагов совпадают и они распознаны. Если ячейки 4×4 км с отметкой грозы по данным пеленгатора, вписывающиеся в ячейки 30×30 км на карте МРЛ, не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то считалось, что МРЛ пропустил грозу. Третий случай, когда очаги в ячейках 30×30 км по данным МРЛ идентифицировались с различной вероятностью как грозовые, а пеленгатор не регистрировал гроз по этим направлениям, то считалось, что МРЛ дает ложные тревоги. Последние два случая можно интерпретировать с другой точки зрения. Если ячейки 4×4 км с отметкой грозы по данным пеленгатора, находящиеся в ячейках 30×30 км МРЛ, не подтверждаются его отметкой о грозе, то следует считать, что пеленгатор ОГПД дает ложную тревогу. Если в ячейках 30×30 км по данным МРЛ наблюдалась гроза, а пеленгатор ОГПД ее не отмечал, то следует считать, что пеленгатор ОГПД дает пропуски.

Второй вариант. Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные пеленгатора-дальномера (в нашем случае использовался вариант широкополосного амплитудного Е-дальномера), работающего в составе ОГПД. Направление на грозовые разряды и дальность определялись независимо от МРЛ. Этот вариант повторял методику обработки данных совместных наблюдений МРЛ и ОГПД «Очаг-2П» [Болондинская, 1978]. Отличался полной автоматизацией измерений МРЛ и аппаратно-программным обеспечением ОГПД «Алвес 2» [Снегуров, 1997]. В последнем, в зоне до 210 км, использовались ячейки 30×30 км, в которых накапливалась информация о молниевых разрядах за интервалы наблюдений от одной минуты и более. Считалось, что в ячейке наблюдается грозовой очаг, если за интервал наблюдений ОГПД зарегистрировано 2 и более грозовых разрядов. В этом случае ячейка выделялась контуром красного цвета и в ней указывалось число грозовых разрядов. Наличие гроз в ячейках отмечалось контуром красного цвета независимо от того, совпадает ли она с ячейками 4×4 км или 30×30 км на карте МРЛ, показывающих степень радиолокационной отражаемости, или нет. Сравнение данных пеленгатора-дальномера и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин. Сопоставление данных МРЛ и пеленгатора-дальномера проводилось следующим образом. Грозовые очаги по данным МРЛ, идентифицированные с различной вероятностью опасности, считались распознанными правильно, если ячейки по данным МРЛ и пеленгатора-дальномера совпадали. В тех случаях, когда на карте МРЛ в ячейках 30×30 км наблюдались зоны радиоэхо, которые идентифицировались как грозы с различной вероятностью, но они не подтверждались данными пеленгатора-дальномера, считалось, что МРЛ дает ложные тревоги. Если ячейки 30×30 км с отметкой грозы по данным пеленгатора-дальномера не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то считалось, что МРЛ пропустил грозу.

Третий вариант. Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные пеленгатора-дальномера ОГПД. Третий вариант отличался от второго тем, что в нем обязательным условием является совпадение данных по ячейкам 30×30 км с данными МРЛ по ячейкам 4×4 км на карте пеленгатора-дальномера. При этом в ячейку 30×30 км карты пеленгатора-дальномера должна попадать хотя бы одна ячейка 4×4 км с отражаемостью $Lg(z) > 0{,}6$. Если в предыдущем варианте обработки данных условием выделения ячейки являлось наличие в ней двух и более грозовых разрядов, то в этом случае достаточно зарегистрировать только один разряд. Грозовой очаг считался определенным правильно, если ячейка 30×30 км, выделенная по данным пеленгатора-дальномера зеленым цветом, совпадала с ячейкой 30×30 км, которая по данным МРЛ идентифицировалась как грозовая с любой степенью вероятности. В том случае, когда ячейка 30×30 км выделена пеленгатором-дальномером зеленым цветом и в нее попадает одна и более ячеек 4×4 км с некоторой радиолокационной отражаемостью на карте пеленгатора-дальномера, но МРЛ их не идентифицирует как грозовые, считалось, что МРЛ пропустил грозу. Случаи, когда МРЛ идентифицировал очаг как грозовой с различной степенью опасности, а пеленгатор-дальномер не отмечал грозу в этот период измерений считалось, что МРЛ дает ложные тревоги.

Четвертый вариант. Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные ПСМГ. Координаты грозовых разрядов определялись независимо от МРЛ. Этот случай повторяет вариант 2 совместной, но независимой регистрации гроз пеленгатором-дальномером и МРЛ. При обработке данных совместных измерений считалось достаточным наличие только одного разряда для подтверждения данных МРЛ по ячейкам 30×30 км. Сравнение данных ПСМГ и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин.

Рассмотрим результаты обработки данных наблюдений пеленгатором ОГПД с МРЛ и ПСМГ с МРЛ за май–июнь 2004 г. Они представлены в табл. 1 и 2. В примечании таблиц отмечается, что когда данные МРЛ не подтверждены данными пеленгатора (ПСМГ), можно говорить о ложных тревогах МРЛ или эти грозовые очаги не «видит» пеленгатор ОГПД или ПСМГ и он является источником ложных тревог МРЛ. В этой ситуации говорят о пропусках гроз пеленгатором ОГПД или ПСМГ. Сравнение показаний МРЛ относительно различных систем пеленгации гроз интересно тем, что данные этих систем по разным вариантам увязываются с данными МРЛ. В первом случае данные МРЛ сравниваются с пеленгатором (первый вариант), во втором – с ПСМГ (четвертый вариант). Результаты обработки, представленные в табл. 1, показывают, что данные МРЛ о местоположении грозовых очагов с различной вероятностью (30–70, 70–90 % и более 90 %) подтверждены данными измерения пеленгов ОГПД в 38 % случаев. В 53 % случаев МРЛ давал с различной достоверностью отметку о грозе, в то время как пеленгатор ОГПД их не подтверждал и в 9 % случаев ОГПД отмечал грозу в конвективных облаках, которые по данным МРЛ не были грозовыми.

Если сравнивать данные в таблиц 1 и 2 в относительных единицах, то пеленгатор с МРЛ совместно обнаруживают на 18 % грозовых очагов больше, чем ПСМГ с МРЛ. Число случаев обнаружения грозовых очагов только МРЛ в первом варианте (возможно, это ложные тревоги МРЛ или пропуски пеленгатора) на 25 % меньше, чем при обработке данных по четвертому варианту (ПСМГ с МРЛ). Число обнаруженных грозовых очагов только пеленгатором и только ПСМГ составляет 9 и 2 % соответственно. Так как ПСМГ обладает высокими точностными характеристиками обнаружения грозовых разрядов, количество ложных тревог ПСМГ (пропусков МРЛ), случаев, когда ПСМГ регистрирует разряды за пределами контролируемой территории, не должно быть.

Таблица 1

Результаты обработки данных наблюдений МРЛ и пеленгатором ОГПД в п. Воейково за май–июнь 2004 г.

Вариант	Вероятность					Примечание
	[R]	R]	R	Сумма	%	
Число случаев регистрации гроз МРЛ и пеленгатором, %	41	36	23	100 %	38	Правильно обнаружены
Число случаев регистрации гроз только МРЛ, %	81	18	1	100 %	53	Ложные МРЛ или пропуски пеленгатора
Число случаев регистрации гроз только пеленгатором, %					9	Пропуски МРЛ или ложные пеленгатора
Сумма					100	

Таблица 2

Результаты обработки данных наблюдений МРЛ и ПСМГ за май–июнь 2004 г.

Вариант	Вероятность					Примечание
	[R]	R]	R	Сумма	%	
Число случаев регистрации гроз МРЛ и ПСМГ, %	37	40	23	100 %	20	Правильно обнаружены
Число случаев регистрации гроз только МРЛ,%	71	23	6	100 %	78	Ложные МРЛ или пропуски ПСМГ
Число случаев регистрации гроз только ПСМГ,%					2	Пропуски МРЛ или ложные ПСМГ
Сумма					100	

Следовательно, 2 % пропуска грозовых очагов МРЛ соответствует действительности. Эта цифра для пеленгатора составляет 9 %. Видимо, она несколько завышена из-за реальной регистрации пеленгатором удаленных гроз. Аналогично можно объяснить значительное различие числа случаев совместного обнаружения гроз МРЛ с пеленгатором (38 %), МРЛ с ПСМГ (20 %) и соответствующее число регистраций только МРЛ (число ложных тревог МРЛ или пропусков пеленгатором и ПСМГ) 53 и 78 % соответственно.

Отчасти это различие можно отнести за счет пропусков гроз ПСМГ на краях зоны контроля, но большая часть приходится на случаи, когда грозовые очаги находятся за пределами зоны контроля. Пеленгатор регистрирует и увязывает их (в соответствии с методикой обработки данных по первому варианту)

с ближайшими зонами радиоэхо негрозовых конвективных облаков. В результате количество совместно МРЛ с пеленгатором ОГПД обнаруженных очагов должно быть больше, чем МРЛ и ПСМГ. Этот вывод подтверждается данными таблиц 1 и 2. Рассмотрим возможные причины низкого числа совместных обнаружений грозовых очагов МРЛ с пеленгатором и МРЛ с ПСМГ. На рис. 1 приведены распределения вероятности распознавания гроз и ливней по критерию грозоопасности *Y*. Графики на рис. 1, обозначенные сплошными линиями, характеризуют вероятность правильного распознавания ливней (вероятность убывает от 70 % при $Y = 10$ до 10 % при $Y = 14$) и гроз (вероятность возрастает от 30 % при $Y = 10$ до 90 % при $Y = 14$). Эти данные взяты из Руководства по производству наблюдений с неавтоматизированных радиолокаторов [Руководство..., 1993]. Для сравнения пунктирными линиями обозначены данные по числу случаев (в %) совместного обнаружения грозовых очагов МРЛ с ПСМГ для трех значений *Y*, соответствующих вероятности правильного распознавания гроз R, R] и [R], и аналогичные данные только по МРЛ, взятые из табл. 2. Первая пара кривых [Руководство…, 1993] пересекается при $Y = 11$ на уровне 50 %-ной вероятности обнаружения гроз и ливней. Вторая пара кривых следует изменениям первой пары.

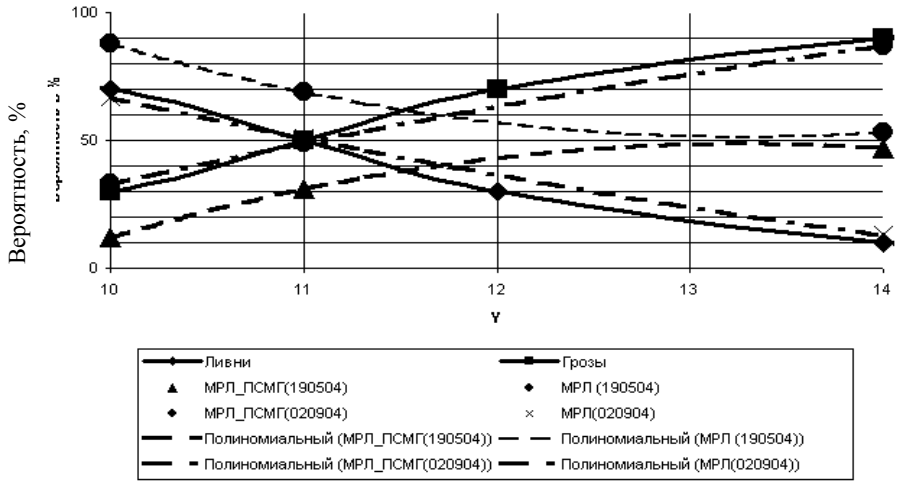


Рис. 1. Вероятность распознавания гроз и ливней в зависимости от критерия грозоопасности

Линии этой пары приближаются к уровню 50 %-ной вероятности при $Y = 13$ и смещены вверх и вниз относительно линий первой пары от 18–20 % при $Y = 10$–11 и до 40 % при $Y = 14$. Графики на рис. 1 показывают степень рассогласования рабочих и принятых в руководстве [Руководство, 1993] критериев грозоопасности.

Столь значительные вариации вероятности распознавания гроз МРЛ можно отнести в большей степени к нестабильности работы МРЛ, условиями развития грозовой активности в мае–июне 2004 г. и правильности выбора критерия грозоопасности. В меньшей мере это связано с нестабильностью работы пеленгатора ОГПД, в котором вероятностные характеристики обнаружения зависят только от изменения порогового уровня запуска регистрирующих устройств. В рабочей зоне пеленгатора до 200–300 км, на частотах от 0,3 до 60 кГц условия распространения радиоволн почти не влияют на характеристики приема сигналов.

В начале июля 2004 г. была проведена корректировка критерия грозоопасности «*Y*» в программном обеспечении МРЛ. На рис. 1 приведены графики (третья пара отмечена штрих-пунктирными линиями), характеризующие вероятностные параметры обнаружения грозовых облаков совместно МРЛ с ПСМГ и МРЛ после корректировки *Y*. Линии этой пары близки к линиям первой пары. Это говорит об увеличении вероятности правильного распознавания гроз МРЛ. Аналогичные изменения наблюдаются при сравнении данных МРЛ с пеленгатором ОГПД.

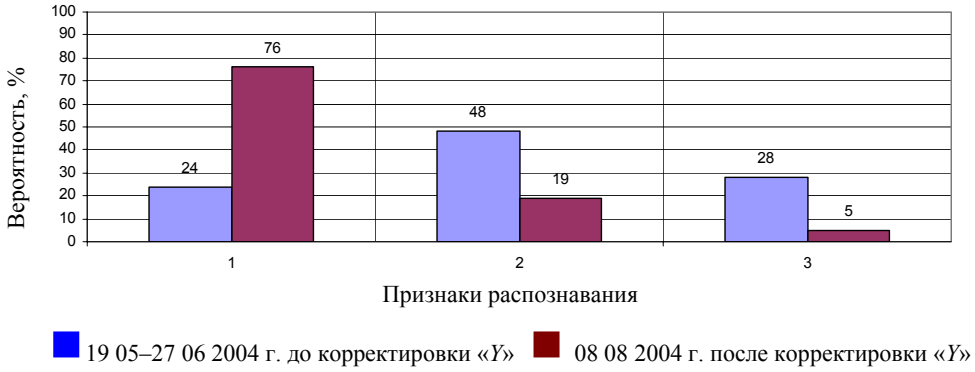


Рис. 2. Изменение вероятности правильного распознавания гроз (1), вероятности ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ относительно данных пеленгатора ОГПД, совмещенного с МРЛ, до и после корректировки параметра грозоопасности «*Y*»

На рис. 2 приведен пример гистограмм распределения вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ по сравнению с данными пеленгатора ОГПД, программно совмещенного с МРЛ до и после корректировки параметра грозоопасности *Y*. Анализ данных рис. 2 показывает, что в результате корректировки параметра грозоопасности *Y* количество правильно распознанных гроз МРЛ 8 августа 2004 г. возросло до 76 %. Количество ложных тревог снизилось до 19 %, а количество пропусков составило 5 %. Следовательно, основным источником погрешности правильного распознавания гроз МРЛ, на первом этапе совместного эксперимента, был неточно выбранный

критерий грозоопасности *Y*. Поскольку пеленгатор ОГПД программно совмещен с МРЛ и использовался только для определения направления на грозовые разряды, не исключались случаи, когда очаги гроз находились по одному направлению, но на различных расстояниях. При такой ситуации пеленгатор не выделял как грозовые очаги ячейки 4×4 км, удаленные на большие расстояния, а МРЛ их мог определять как грозовые. В результате число ложных тревог МРЛ могло вырасти на несколько процентов. С другой стороны, пеленгатор ОГПД может часть грозовых разрядов пропускать, что должно приводить к росту количества ложных тревог МРЛ. Экспериментально выделить источник подобной ошибки достаточно сложно. Рассматриваемые параметры достаточно изменчивы не только в разные дни, но и в течение суток.

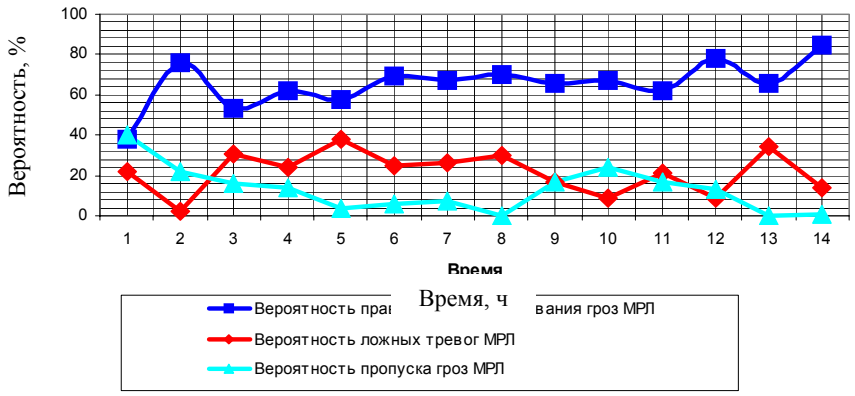


Рис. 3. Изменение во времени вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ относительно данных пеленгатора ОГПД, программно совмещенного с МРЛ, в зоне до 200 км 2 сентября 2004 г.

На рис. 3 приведены графики изменения вероятностных характеристик обнаружения гроз МРЛ, программно совмещенного с пеленгатором в течение 14 ч совместных наблюдений 2 сентября 2004 г. Они показывают значительную изменчивость практически всех вероятностных параметров обнаружения гроз. Вероятность правильного распознавания грозовых очагов МРЛ изменяется от 38 до 85 %. Вероятности ложных тревог и пропусков меняются от 0 до 40 %, но в средних значениях вероятностные параметры составляют соответственно 68,9 % (вероятность правильного распознавания гроз МРЛ), 21,5 % (вероятность ложных тревог) и 9,6 % (вероятность пропусков). Так как вероятность пропуска грозовых разрядов пеленгатором может подниматься до 15 %, то количество ложных тревог МРЛ тоже может достигать этих значений. Следовательно, реальное число ложных тревог МРЛ в нашем случае составляет 5–6 %. Вероят-

ность пропуска грозовых очагов МРЛ 9–10 %, видимо, объясняется тем, что грозовые очаги на одном азимуте, но на различных расстояниях, не регистрируются. С другой стороны, значительное число ложных тревог пеленгатора (до 28 %) может полностью перекрыть потери данных за счет пропуска очагов, расположенных на одном азимуте.

Имеющиеся данные и соответствующее программное обеспечение позволили реализовать рассмотренные выше второй и третий варианты сравнения данных измерений координат молниевых разрядов с помощью грозопеленгатора-дальномера, программное обеспечение которого в одном варианте не учитывало зон радиоэхо по данным МРЛ (вариант второй) и при сравнении учитывало наличие зон радиоэхо МРЛ (третий вариант).

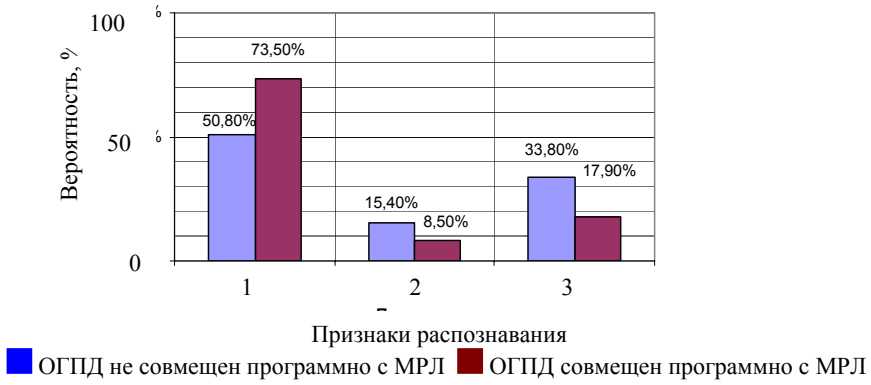


Рис. 4. Вероятности правильного распознавания (1), ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ по отношению к данным ОГПД, программно не совмещенного с МРЛ

В результате обработки данных измерений были получены вероятностные параметры обнаружения гроз МРЛ, которые приведены на рис. 4. Вероятность правильного распознавания гроз МРЛ в первом случае на 22,7 % ниже, чем во втором. Вероятности ложных тревог и пропусков отличаются почти в два раза – 15,4; 8,5; 33,8 и 17,9 % соответственно. Значительные пропуски грозовых очагов по данным МРЛ относительно независимо зарегистрированных очагов ОГПД могут объясняться тем, что ОГПД регистрирует почти до 28 % разрядов из зоны за пределами радиуса действия МРЛ. Более высокая вероятность распознавания гроз МРЛ по отношению к данным измерений ОГПД, программное обеспечение которого учитывает присутствие зон радиоэхо, объясняется тем, что привязка к этим зонам способствует снижению количества ложных тревог ОГПД и соответственно пропусков гроз МРЛ. Таким образом, происходит перераспределение вероятностных параметров обнаружения гроз МРЛ (вероятно-

сти правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропуска грозовых очагов) для вариантов обработки данных совмещенных и не совмещенных с данными ОГПД. Сравнение двух методик обработки данных говорит в пользу той, которая дает более высокие вероятностные параметры распознавания гроз МРЛ. Как первая методика, где используются данные пеленгатора, увязанные с зонами радиоэхо, так и третья методика, где данные амплитудного грозопеленгатора-дальномера ОГПД также увязаны с зонами радиоэхо, имеют существенный недостаток. Он сводится к простому случаю, когда не поступают данные МРЛ, практически отсутствует возможность определения местоположения зон грозовой активности. Этот эффект хорошо наблюдается при прохождении конвективных облаков с сильными ливневыми осадками над пунктом измерений. Осадки в значительной мере экранируют МРЛ. Это на некоторое время приводит к потере информации МРЛ, а вместе с ней при автоматизированной обработке данных измерений – и информации пеленгатора или пеленгатора-дальномера, данные которых увязываются с расположением зон радиоэхо. Видимо, наличие подобных явлений и, главное, достаточно низкие точностные параметры определения местоположения грозовых разрядов и облаков амплитудным методом в зоне до 300 км в итоге привели разработчиков новой версии методического руководства по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов [Руководство…, 1993] к мнению о нецелесообразности применения ОГПД в составе МРЛ. Это мнение является ошибочным уже по той причине, что применение однопунктовых пеленгаторов и пеленгаторов-дальномеров позволяет контролировать правильность работы МРЛ и его программного обеспечения. Примером этому служат данные, приведенные на рис. 2, где сравниваются показания МРЛ и пеленгатора ОГПД до и после корректировки параметра грозоопасности *Y*.

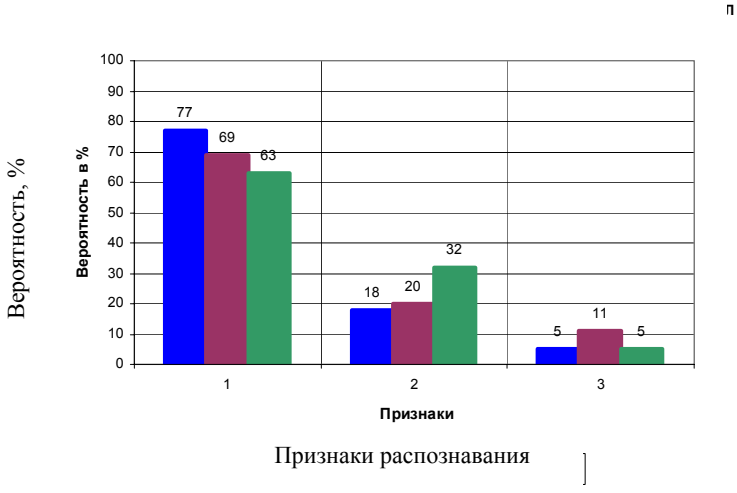


Рис. 5. Вероятность правильного распознавания гроз (1), ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ по отношению к данным ПСМГ

Для определения координат молниевых разрядов ПСМГ использовалась избыточная информация. Это позволило провести отбраковку данных о координатах грозовых разрядов, пришедших от удаленных источников и с низкой точностью определения дальности. Методика обработки данных рассмотрена выше (четвертый вариант). Графики на рисунках 5 и 6 показывают, как меняются вероятности правильного обнаружения гроз, ложной тревоги и пропусков МРЛ в разные дни и часы. Вероятность правильного распознавания гроз МРЛ в разные дни меняется от 63 до 77 %, а в течение грозового дня может изменяться от 52 до 80 %. Причиной высокого числа ложных тревог МРЛ могут служить действительно его ложные тревоги и в 5–10 % случаев пропуски грозовых разрядов ПСМГ на краях зоны контроля. Существенным преимуществом ПСМГ является высокая точность измерения координат молний внутри системы и достаточно высокие вероятностные характеристики обнаружения гроз при правильном выборе схемы размещения базовых пунктов и расстояний между ними.

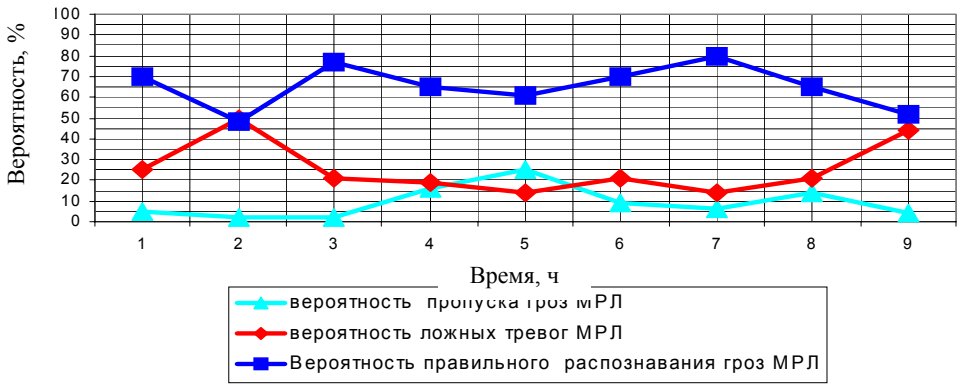


Рис. 6. Изменение во времени вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ относительно данных ПСМГ за 2 сентября 2004 г.

Наиболее важным условием является выбор расстояния между базовыми пунктами. Оно не должно превышать 200–300 км. В этом случае возможно построение многопунктовых систем, в том числе и ПСМГ, реализующих погрешность измерения дальности внутри системы в единицы километров. Высокую вероятность обнаружения грозовых разрядов (до 90–95 %) можно обеспечить за счет правильного выбора чувствительности пороговых устройств пеленгаторов и геометрии расположения базовых пунктов. Так как координаты грозовых разрядов определяются по пеленгам, измеренным минимум в двух пунктах, вероятность совместного обнаружения разряда будет более 90 %. Высокая точность измерения координат молний практически исключает появление ложных тревог

ПСМГ. От 2 до 10 % пропусков грозовых очагов МРЛ будут переведены в вероятность правильного распознавания гроз. Таким образом, закрывается вопрос о правильности оценки вероятности пропуска грозовых очагов МРЛ в зоне контроля ПСМГ. Высокая вероятность обнаружения грозовых разрядов и точность измерения их координат позволяет проводить сравнение с данными МРЛ в тех случаях, когда ПСМГ за заданный временной интервал зарегистрировала один грозовой разряд. В результате вероятность правильного распознавания грозовых очагов при совместной работе МРЛ и ПСМГ дополнительно увеличивается на 8–20 %. В итоге применение ПСМГ совместно с МРЛ позволит увеличить на 25–30 % вероятность распознавания гроз.

Литература

1. *Гальперин С.М.* Распознавание грозовых разрядов в ливневых очагах при радиолокационных наблюдениях атмосферных образований с помощью пеленгатора гроз // Информ. сб. НИО ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1964, № 68, с. 26–29.
2. *Гальперин С.М.* К вопросу о совместном использовании грозопеленгаторов-дальномеров и РЛС метеорологического назначения // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО), 2001, вып. 3(549), с. 147–153.
3. Грозопеленгатор-дальномер для систем метеообеспечения / *Снегуров А.В., Огуряева Л.В., Снегуров В.С., Щукин Г.Г.* // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО), 2001, вып. 3(549), с. 190–199.
4. Использование грозопеленгатора-дальномера совместно с метеорологическим радиолокатором в горных условиях / *Болондинская Л.С., Брылев Г.Б., Корниенко Г.Г., Плотников В.Д.* // Труды ГГО, 1978, вып. 411, с. 48–54.
5. *Корниенко Г.Г., Павлова Г.П.* Использование грозопеленгатора-дальномера совместно с метеорологическим радиолокатором МРЛ для повышения эффективности обнаружения гроз // Труды ГГО, 1975, вып. 358, с. 104–107.
6. Методические указания по применению грозопеленгатора ПАГ-1 совместно с МРЛ. – Л.: ГГО, 1974. – 26 с.
7. Результаты использования грозопеленгатора ПАГ-1 в составе метеорологического радиолокатора МРЛ-2 для обнаружения гроз / *Бару Н.В., Брылев Г.Б., Колоколов В.П., Корниенко Г.Г., Соломоник М.Е.* // Труды ГГО, 1975, вып. 358, с. 96–103.
8. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 344 с.
9. 9. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 358 с.
10. *Снегуров В.С.* Концепция сети пеленгации гроз // Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 1997, вып. 1(546), с. 92–104.
12. *Степаненко В.Д., Гальперин С.М.* Радиотехнические методы исследования гроз. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 204 с.

В.В. Чукин, Е.С. Алдошкина, А.В. Вахнин,
А.Ю. Канухина, О.А. Мельникова

МОНИТОРИНГ ИНТЕГРАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ ГНСС-СИГНАЛАМИ

V.V. Chukin, E.S. Aldoshkina, A.V. Vakhnin,
A.Yu. Kanukhina, O.A. Mel'nikova

MONITORING OF PRECIPITABLE WATER VAPOUR IN ATMOSPHERE BY GNSS-SIGNALS

В работе рассматриваются вопросы дистанционного зондирования атмосферы путем наземной регистрации и обработки радиосигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) с целью определения содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы. Приводится полный математический аппарат расчета интегрального содержания водяного пара в атмосфере. Осуществлена оценка точности определения содержания водяного пара в атмосфере.

Ключевые слова: дистанционное зондирование атмосферы, водяной пар, глобальная навигационная спутниковая система.

The paper deals with remote sensing of the atmosphere by ground-based recording and processing signals of global navigation satellite system (GNSS) to determine the water vapor in a vertical column of atmosphere. A complete mathematical apparatus for calculating the precipitable water vapor content in the atmosphere is shown. The accuracy of measurement of the precipitable water vapor content in the atmosphere is estimated.

Key words: remote sensing of the atmosphere, water vapor, global navigation satellite system.

Введение

В данной работе рассматриваются вопросы ГНСС-метеорологии, в частности, дистанционное зондирование атмосферы методом радиопросвечивания сигналами навигационных спутников с целью определения интегрального содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

Метод радиопросвечивания атмосферы предполагает определение параметров состояния атмосферы по результатам измерения пространственных задержек радиосигналов, распространяющихся через слой атмосферы от спутника к наземному приемнику, вследствие уменьшения фазовой скорости радиоволн за счет эффектов поляризации молекул азота, кислорода, углекислого газа и водяного пара. В качестве источников радиосигналов используются навигационные сигналы космических аппаратов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), которая в настоящее время состоит из двух радионавигационных систем: ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). В стадии разработки находятся еще несколько систем: Galileo (Евросоюз), Compas (Китай), QZSS (Япония).

Использование информации с сети наземных приемных ГНСС-станций позволяет определять задержки радиосигналов с более высокой точностью за счет использования групповой обработки результатов фазовых измерений псевдодальности до спутников.

Показатель преломления радиоволн в тропосфере

Показатель преломления радиоволн в нейтральной атмосфере может быть представлен в виде:

$$n = 1 + \frac{k_1(P-e)}{T} + \frac{k_2 e}{T} + \frac{k_3 e}{T^2}, \quad (1)$$

где $k_1 = 7{,}76 \cdot 10^{-7}$ К/Па; $k_2 = 7{,}04 \cdot 10^{-7}$ К/Па; $k_3 = 3{,}739 \cdot 10^{-3}$ К^2/Па [Boudouris, 1963; Smith, 1953; Thayer, 1974]; P – атмосферное давление, Па; T – температура воздуха, К; e – парциальное давление водяного пара, Па.

Уравнение для расчета показателя преломления (1) можно представить как зависимость от плотности воздуха $(\rho = \rho_d + \rho_v)$ и плотности водяного пара ρ_v:

$$n = 1 + k_1 R_d \rho + \left(k_2' R_v + \frac{k_3 R_v}{T} \right) \rho_v, \quad (2)$$

где $R_d = 287{,}054$ Дж/(кг·К); $R_v = 461{,}526$ Дж/(кг·К); $k_2' = k_2 - k_1 \frac{R_d}{R_v}$.

Задержка радиосигнала в тропосфере

Дополнительная задержка радиосигнала, связанная с прохождением через тропосферный слой, может быть определена по формуле:

$$\Delta L_{TR} = \int_0^L (n-1) dl, \quad (3)$$

где ΔL_{TR} – пространственная задержка радиосигнала в тропосфере, м; L – расстояние, проходимое радиосигналом, м; n – показатель преломления радиоволн; l – путь вдоль траектории радиолуча, м.

Схема прохождения через тропосферу радиосигнала от навигационного приемника до приемного устройства представлена на рис. 1.

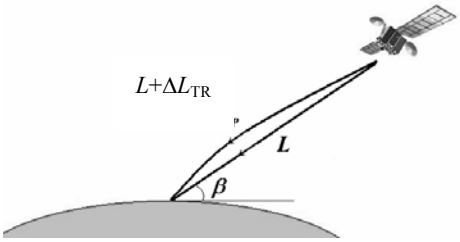


Рис. 1. Задержка радиосигнала в тропосфере

На рис. 2 представлена типичная зависимость тропосферной задержки ГНСС-сигнала от высоты спутника над горизонтом. Из рис. 2 видно, что при расположении спутника в зените задержка радиосигнала составляет около 2,3 м и увеличивается по мере приближения к горизонту.

Из формулы (3) с учетом формулы (2) получается:

$$\Delta L_{TR} = k_1 R_d \int_0^L \rho dl + \int_0^L \left(k_2' R_v + \frac{k_3 R_v}{T} \right) \rho_v dl \,. \tag{4}$$

Таким образом, из формулы (4) видно, что задержку сигнала в тропосфере можно представить в виде суммы гидростатической задержки, связанной с прохождением радиосигнала сквозь тропосферу, где давление с высотой убывает в соответствии с гидростатическим законом, и задержки за счет распространения в водяном паре:

$$\Delta L_{TR} = \Delta L_d + \Delta L_v \,, \tag{5}$$

где ΔL_d – гидростатическая часть пространственной задержки сигнала, м; ΔL_v – пространственная задержка сигнала, обусловленная распространением радиоволн в водяном паре, м.

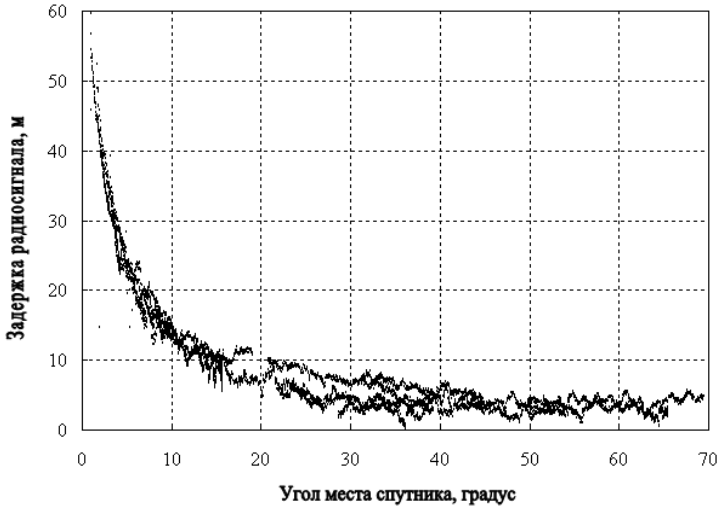


Рис. 2. Зависимость задержки радиосигнала в тропосфере от высоты навигационного спутника над горизонтом

Гидростатическая задержка радиосигнала в тропосфере

Гидростатическая задержка сигнала может быть представлена следующим образом:

$$\Delta L_d = \Delta L_d^{90^\circ} m_d \,. \tag{6}$$

Здесь $\Delta L_d^{90^\circ}$ – гидростатическая задержка радиосигнала в тропосфере при вертикальном распространении, м; m_d – отображающая функция, зависящая от угла места навигационного спутника β.

В случае вертикального распространения сигнала от спутника до приемника гидростатическая часть задержки равна:

$$\Delta L_d^{90^\circ} = k_1 R_d \int_0^\infty \rho dz . \tag{7}$$

Поскольку приземное атмосферное давление определяется как [Davis, 1985]:

$$P_0 = \int_0^\infty \rho g dz = g_m \int_0^\infty \rho dz , \tag{8}$$

где $g_m = 9{,}784\left[1 - 2{,}66 \cdot 10^{-3} \cos(2\varphi) - 2{,}8 \cdot 10^{-7} h\right]$.

Тогда, с учетом $\int_0^\infty \rho dz = \frac{P_0}{g_m}$, получается расчетная формула для определения гидростатической части задержки радиосигнала при вертикальном распространении [Davis, 1985]:

$$\Delta L_d^{90^\circ} = \frac{k_1 R_d P_0}{g_m} = \frac{2{,}2768 \cdot 10^{-5} P_0}{1 - 2{,}66 \cdot 10^{-3} \cos(2\varphi) - 2{,}8 \cdot 10^{-7} h}, \tag{9}$$

где φ – широта места; h – высота над уровнем моря, м; P_0 – атмосферное давление у поверхности Земли, Па.

Точность определения гидростатической задержки радиосигнала определяется точностью информации об атмосферном давлении и составляет 2,3 мм/гПа.

Отображающая функция по определению равна:

$$m_d = \frac{\Delta L_d}{\Delta L_d^{90^\circ}} = \frac{\int_0^L \rho dl}{\int_0^\infty \rho dz} . \tag{10}$$

Ифадисом [Ifadis, 1986] получена эмпирическая зависимость, применимая в диапазоне углов места от 90 до 5º (при $\beta = 5^\circ$ среднеквадратическая ошибка определения задержки составляет 2,2 см):

$$m_d = \frac{1}{\sin\beta + \dfrac{a_d}{\sin\beta + \dfrac{b_d}{\sin\beta + c_d}}}, \tag{11}$$

где $a_d = 1{,}237 \cdot 10^{-3} + 1{,}316 \cdot 10^{-9}\left(P_0 - 10^5\right) + 1{,}378 \cdot 10^{-6}\left(T_0 - 288{,}15\right) + 8{,}057 \cdot 10^{-7}\sqrt{e_0}$;
$b_d = 3{,}333 \cdot 10^{-3} + 1{,}946 \cdot 10^{-9}\left(P_0 - 10^5\right) + 1{,}040 \cdot 10^{-7}\left(T_0 - 288{,}15\right) + 1{,}747 \cdot 10^{-8}\sqrt{e_0}$;
$c_d = 0{,}078$; T_0 – приземная температура воздуха, К; e_0 – приземное значение парциального давления водяного пара, Па.

Таким образом, гидростатическая часть задержки радиосигнала может быть рассчитана по формулам (6), (9), (11) с использованием приземных значений атмосферного давления P_0, температуры T_0 и влажности e_0 воздуха.

Задержка радиосигнала во влажном воздухе

При прохождении сигнала через атмосферу, содержащую водяной пар, возникает задержка радиосигнала, равная:

$$\Delta L_v = \Delta L_v^{90^\circ} m_v \ . \tag{12}$$

Здесь $\Delta L_v^{90^\circ}$ – задержка радиосигнала в водяном паре при вертикальном распространении; m_v – отображающая функция, зависящая от угла места навигационного спутника β.

Для расчета задержки сигнала при вертикальном распространении, обусловленной наличием водяного пара в атмосфере, необходимо интеграл представить в виде:

$$\Delta L_v^{90^\circ} = \int_0^\infty \left(k_2' R_v + \frac{k_3 R_v}{T} \right) \rho_v dz = \left(k_2' R_v + \frac{k_3 R_v}{T_m} \right) \int_0^\infty \rho_v dz \ , \tag{13}$$

где T_m – "взвешенное" значение температуры воздуха, К.

Поскольку интегральное содержание водяного пара в столбе воздуха определяется выражением $PWV = \int_0^\infty \rho_v dz$, то из (13) получается:

$$\Delta L_v^{90^\circ} = \left(k_2' R_v + \frac{k_3 R_v}{T_m} \right) PWV \ . \tag{14}$$

Так как по определению параметр T_m равен [Davis, 1985]:

$$T_m = \frac{\int_0^\infty \frac{e}{T} dz}{\int_0^\infty \frac{e}{T^2} dz} \ , \tag{15}$$

то значения данного параметра определяются вертикальным распределением влажности и сильно зависят от приземной температуры воздуха. На основе ста-

тистической обработки данных радиозондирования может быть получена статистическая зависимость:

$$T_m = a + bT_0 \,, \tag{16}$$

где $a\,, b$ – коэффициенты линейной аппроксимации; T_0 – приземная температура воздуха (на высоте 2 м), К.

В настоящее время широко используются значения коэффициентов a = 70,2 К и b = 0,72, которые получены по данным аэрологического зондирования над территорией США в диапазоне широт от 27 до 65º с.ш. [Bevis, 1992]. Однако для других регионов земного шара коэффициенты аппроксимации имеют отличные значения. Для примера на рис. 3 представлена зависимость параметра T_m от приземной температуры воздуха T_0 для Санкт-Петербурга. Нами был осуществлен расчет коэффициентов a и b для некоторых пунктов на территории России. Результаты этих расчетов представлены в табл. 1. Анализ данных показал, что использование аппроксимации (16) дает относительную ошибку определения интегрального содержания водяного пара не более чем на 1 %, и использование адаптированных к региону коэффициентов a и b повышает точность незначительно.

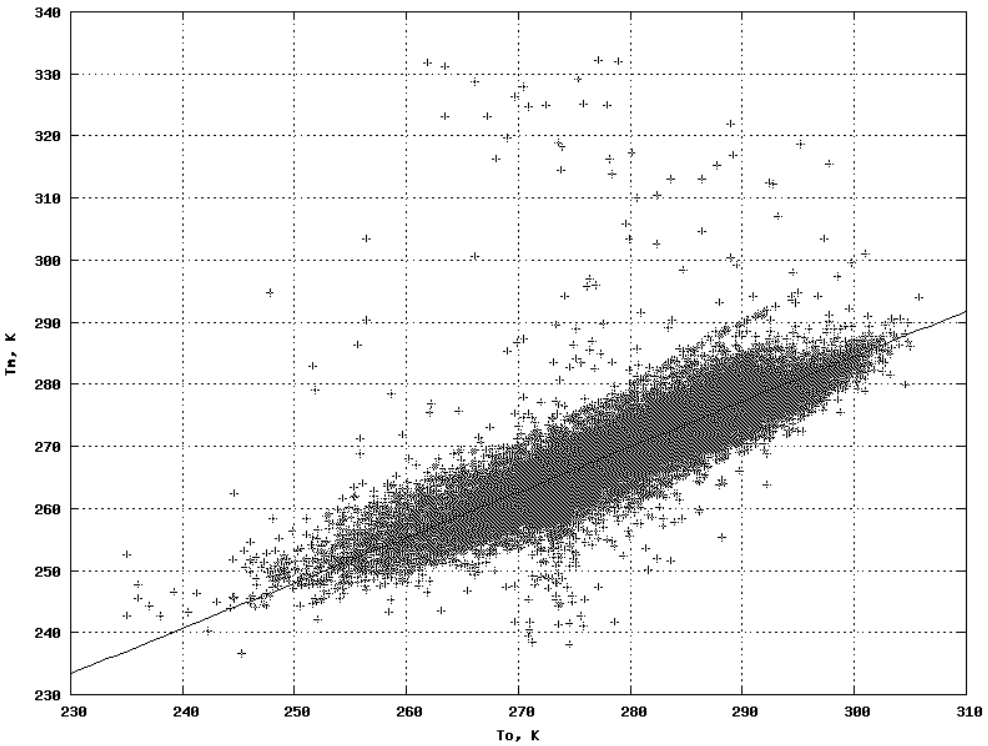


Рис. 3. Зависимость параметра T_m от приземной температуры воздуха T_0 для Санкт-Петербурга

Таблица 1

Коэффициенты аппроксимации для различных пунктов России

Пункт	a, K	b
Санкт-Петербург	$65{,}48 \pm 0{,}83$	$0{,}73 \pm 0{,}01$
Бологое	$63{,}28 \pm 1{,}01$	$0{,}74 \pm 0{,}01$
Великие Луки	$76{,}23 \pm 0{,}91$	$0{,}70 \pm 0{,}01$
Казань	$67{,}35 \pm 0{,}80$	$0{,}72 \pm 0{,}01$
Смоленск	$67{,}39 \pm 0{,}89$	$0{,}73 \pm 0{,}01$
Тура	$107{,}23 \pm 0{,}95$	$0{,}58 \pm 0{,}01$
Ванавара	$100{,}74 \pm 1{,}07$	$0{,}60 \pm 0{,}01$
Вилюйск	$95{,}65 \pm 0{,}80$	$0{,}62 \pm 0{,}01$
Оленек	$109{,}16 \pm 0{,}90$	$0{,}57 \pm 0{,}01$

Задержка радиосигнала во влажном воздухе зависит в первую очередь от значений интегрального содержания водяного пара (0,6 мм/кг/м^2) и в меньшей мере от приземного значения температуры воздуха (0,5 мм/К).

Отображающая функция, показывающая зависимость задержки сигнала во влажном воздухе от угла места спутника, может быть определена по формуле Ифадиса [Ifadis, 1986]:

$$m_v = \frac{1}{\sin\beta + \dfrac{a_v}{\sin\beta + \dfrac{b_v}{\sin\beta + c_v}}}, \tag{17}$$

где $a_v = 5{,}236 \cdot 10^{-4} + 2{,}471 \cdot 10^{-9}\left(P_0 - 10^5\right) + 1{,}724 \cdot 10^{-7}\left(T_0 - 288{,}15\right) + 1{,}328 \cdot 10^{-6}\sqrt{e_0}$;
$b_v = 1{,}705 \cdot 10^{-3} + 7{,}384 \cdot 10^{-9}\left(P_0 - 10^5\right) + 3{,}767 \cdot 10^{-7}\left(T_0 - 288{,}15\right) + 2{,}147 \cdot 10^{-6}\sqrt{e_0}$;
$c_v = 0{,}05917$.

Определение интегрального содержания водяного пара в атмосфере

Интегральное содержание водяного пара может быть определено из результатов измерений "влажной" задержки радиосигнала в тропосфере и отображающей функции m_v:

$$PWV = \frac{\Delta L_v}{\left(k_2' R_v + \dfrac{k_3 R_v}{T_m}\right) m_v}, \tag{18}$$

где PWV – содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, кг/м^2 или мм. Использование данного соотношения возможно при достаточно боль-

ших углах места спутников, когда отображающая функция дает достаточную точность.

Задержка радиосигнала во влажном воздухе определяется выражением:

$$\Delta L_v = L_1 - L - \Delta L_{ion} - \Delta L_d \,, \tag{19}$$

где L_1 – результат измерения радиоприемным устройством дальности до навигационного спутника в диапазоне частот L_1, м; L – геометрическое расстояние между навигационным спутником и приемным устройством, м; ΔL_{ion} – задержка радиосигнала в ионосфере, м; ΔL_d – гидростатическая часть задержки радиосигнала в тропосфере, м.

Геометрическое расстояние от передающей антенны спутника до антенны приемного устройства может быть определено из формулы:

$$L = \sqrt{\left(X_s - X_r\right)^2 + \left(Y_s - Y_r\right)^2 + \left(Z_s - Z_r\right)^2} \,, \tag{20}$$

где X_s, Y_s, Z_s – декартовы координаты навигационного спутника, м; X_r, Y_r, Z_r – декартовы координаты приемного устройства, м.

В случае измерения дальности до навигационного спутника в двух диапазонах частот ионосферная задержка радиосигнала может быть определена по формуле:

$$\Delta L_{ion} = \frac{f_2^2\left(L_2 - L_1\right)}{f_1^2 - f_2^2}, \tag{21}$$

где L_2 – результат измерения радиоприемным устройством дальности до навигационного спутника в диапазоне частот L_2, м; f_1, f_2 – несущие частоты навигационного радиосигнала в диапазонах L_1 и L_2 соответственно, Гц.

Для определения ионосферной задержки радиосигнала в случае одночастотных измерений в диапазоне L_1 может быть использована формула:

$$\Delta L_{ion} = \frac{-40{,}4TEC}{f_1^2\left[1 - \left(\frac{R\cos\beta}{R + z_{\max}}\right)^2\right]^{0,5}}, \tag{22}$$

где TEC – интегральное содержание электронов в вертикальном столбе ионосферы, м^2; R – радиус кривизны Земли, в среднем равный 6 371 221 м; $z_{\max}$ – высота расположения максимума концентрации электронов в ионосфере, принимаемая при расчетах равной 432 500 м.

Гидростатическая часть тропосферной задержки определяется по формуле:

$$\Delta L_d = \frac{2{,}2768 \cdot 10^{-5} P_0 m_d}{1 - 2{,}66 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi - 2{,}8 \cdot 10^{-7} h}. \qquad (23)$$

Таким образом, при зондировании атмосферы ГНСС-сигналами для определения интегрального содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы *PWV* необходимы результаты измерения ГНСС-приемником значений дальности до навигационного спутника, результаты расчета геометрической дальности до спутника, ионосферной задержки и гидростатической части тропосферной задержки радиосигнала, для расчета которой необходима информация о приземных значениях температуры воздуха T_0, атмосферного давления P_0 и парциального давления водяного пара e_0 в точке размещения ГНСС-приемника.

На рис. 4 представлен временной ход ошибок определения интегрального содержания водяного пара, определенный по результатам сопоставления данных моделирования распространения радиосигнала в тропосфере с данными аэрологического зондирования в п. Воейково за период с января по май 2009 г. Сопоставление проводилось при двух значениях средней квадратической ошибки определения "влажной" части тропосферной задержки радиосигнала: 0,1 и 0,4 м.

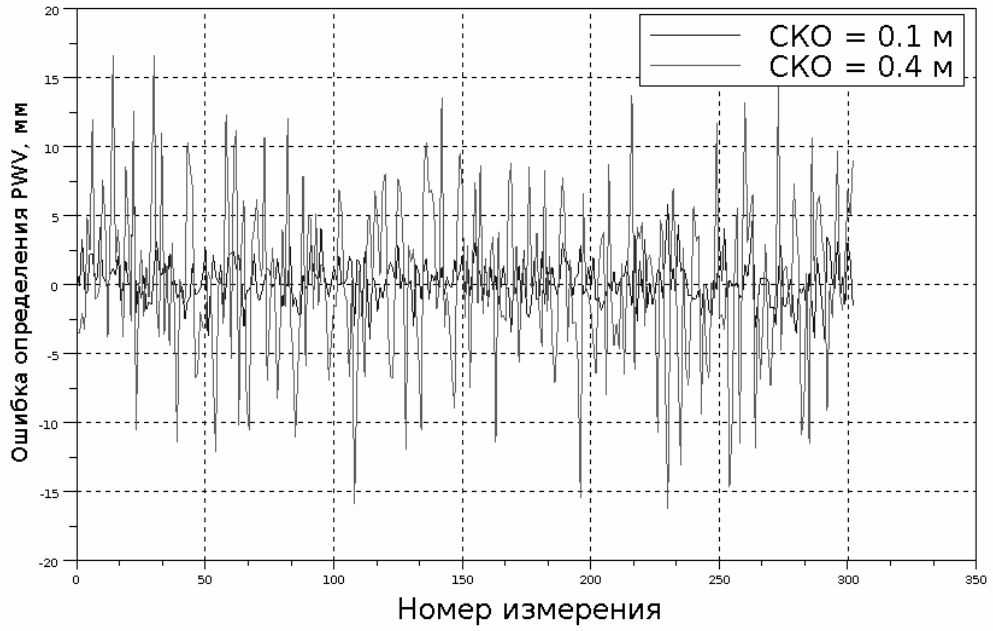


Рис. 4. Точность определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере (Санкт-Петербург, январь–май 2009 г.)

Из рис. 4 видно, что при ошибке определения задержки радиосигнала во влажном воздухе, равной 0,4 м, в летние месяцы года относительная ошибка определения содержания водяного пара в атмосфере не превышает 20 %.

Заключение

Как показано, рассмотренный метод позволяет с достаточной для практики точностью определять весьма важную информацию о содержании водяного пара в атмосфере. Оперативность данного метода, полная автоматизация и отсутствие расходных материалов при осуществлении дистанционного зондирования открывают возможности к широкому внедрению данного метода в практику оперативного контроля за состоянием атмосферы. К достоинствам метода можно также отнести "всепогодность" (независимость от наличия облаков), которая выгодно отличает его от методов, основанных на регистрации собственного электромагнитного излучения атмосферы.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Кадры" (ГК № П1549).

Литература

1. *Bevis M., Businger S., Herring T.A., Rocken C., Anthes R.A., Ware R.H.* GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning system // J. Geophys. Res., 1992, 97, 15787–15801.
2. *Boudouris G.* On the index of refraction of air, the absorption and dispersion of centimeter waves by gases // J. Res. of the National Bureau of Standards, 1963, 67D(6), p. 631–684.
3. *Davis J.L., Herring T.A., Sharipo I.I., Rogers A.E.E., Elgered G.* Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length // Radio Science, 1985, 20(6), 1593–1607.
4. *Ifadis I.* The Atmospheric Delay of Radio Waves: Modeling the Elevation Dependence on a Global Scale, Technical Report no. 38L, School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 1986.
5. *Smith E.K., Weintraub S.* The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies. in Proceedings of Proc. IRE 41, 1953, p. 1035–1037.
6. *Thayer G.D.* An improved equation for the radio refractive index of air // Radio Science, 1974, 9(10), p. 803–807.

А.М. Геворгян

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В АРМЕНИИ

A.M. Gevorgyan

THE SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY PRECIPITATION IN ARMENIA

Приведен анализ распределения обильных осадков на территории Армении. Исходными данными для анализа послужили суточные количества осадков на 28 метеорологических станциях за период 1955–2006 гг. Результаты анализа показывают, что распределение обильных осадков в основном подчиняется закономерностям распределения годовых осадков. Несмотря на это на отдельных станциях наблюдается значительное несоответствие этих двух величин, что обусловлено местными орографическими особенностями и повторяемостью синоптических процессов, обусловливающих обильные осадки.

Ключевые слова: обильные осадки, атмосферная циркуляция, орографические осадки, фронтальная деятельность, циклоническая деятельность.

The spatial distribution of heavy precipitation in Armenia is considered making use of statistical methods. The analysis of precipitation data for 28 meteorological stations over a period of 1955–2006 shows that there is close relationship between the frequency of heavy precipitation and annual precipitation (with correlation coefficient of 0,93). However, in some regions the distribution of heavy precipitations and annual precipitations is not the same. This is connected with orographic conditions and synoptic processes giving rise to heavy precipitation in these regions.

Keywords: heavy precipitation, atmospheric circulation, orographic precipitation, frontal activity, cyclonic activity.

В данной статье анализируется распределение обильных осадков на территории Армении по данным суточных количеств осадков на 28 метеорологических станциях за период 1955–2006 гг. Обильными считались те осадки, количество которых превышало 20 мм за день [Харчилава, 1966].

В табл. 1 приведены нормы осадков и повторяемость обильных осадков для 28 станций за выбранный период.

В графе 5 табл. 1 приведены данные о пропусках наблюдений на отдельных станциях. Пропуски данных существуют на 7 станциях из 28 и составляют 5–10 лет. Пропуски пополнялись с помощью корреляции месячных осадков (обильных осадков) с месячными осадками (обильными осадками) соседних станций, для которых существуют данные наблюдения за выбранный период. Средние значения коэффициентов корреляции, приведенные в графах 6–7, в основном составляют 0,7–0,8, и, как правило, коэффициент корреляции для осадков выше коэффициента корреляции для обильных осадков.

На основании данных граф 3 и 4 табл. 1 построен график связи между нормами осадков и средними повторяемостями обильных осадков на всех станциях

за выбранный период (рис. 1). Как и следовало ожидать, существует тесная связь между количеством осадков и повторяемостью обильных осадков (с коэффициентом корреляции 0,93, а значимость коэффициента корреляции в 42 раза больше теоретического значения статистики Фишера, при уровне значимости, равным 5 %). Наиболее отклоненные точки от кривой связи соответствуют станциям Кафан и Джермук, которые будут рассмотрены ниже.

Таблица 1

Норма годовых осадков и повторяемость обильных осадков за период 1955–2006 гг.

Станция	Высота, м	Норма осадков, мм	Повторяемость обильных осадков в году	Число отсутствующих лет наблюдений	Средний коэффициент корреляции, осадки	Средний коэффициент корреляции, обильные осадки
1	2	3	4	5	6	7
Мегри	627	270	1,13	-	-	-
Кафан	705	558	4,92	8	0,8	0,7
Горис	1403	737	6,79	6	0,7	0,7
Сисиан	1580	386	1,54	-	-	-
Джермук	2064	771	4,98	-	-	-
Арарат	818	227	0,88	-	-	-
Арташат	829	234	0,96	-	-	-
Ереван-Арабкир	1113	346	1,23	-	-	-
Армавир	870	242	0,54	-	-	-
Мартуни	1943	500	2,87	-	-	-
Варденис	1940	449	2,17	-	-	-
Фантан	1800	636	4,42	-	-	-
Гавар	1961	494	2,67	-	-	-
Раздан	1765	670	4,42	-	-	-
Апаран	1889	721	5,98	5	0,7	0,7
Севан (озерная)	1917	500	2,25	-	-	-
Дилижан	1256	627	3,87	-	-	-
Ванадзор	1376	550	2,94	5	0,8	0,6
Гюмри	1528	497	2,23	-	-	-
Иджеван	732	576	3,46	-	-	-
Степанаван	1397	655	4,56	-	-	-
Амасия	1849	640	3,46	-	-	-
Ашоцк	2012	718	4,98	6	0,6	0,8
Ташир	1507	690	5,10	-	-	-
Шоржа	1917	396	2,04	-	-	-
Амберд	2071	690	5,33	-	-	-
Воротанский прв-л	2387	661	3,62	10	0,8	0,6
Урцадзор	1064	350	1,79	7	0,8	0,7

Исходя из того, что выбранные станции охватывают все физико-географические районы Армении (за исключением высокогорных районов) и отображают условия, влияющие на распределение осадков и обильных осадков на всей территории Армении, а норма осадков считается достаточно устойчивой статистической характеристикой (при наличии ряда данных 30 лет и более), с помощью полученной связи рассчитаны повторяемости обильных осадков еще на 36 станциях, для которых рассчитаны нормы осадков за период 1961–1990 гг. (нормы ВМО). Норма осадков и повторяемость обильных осадков для этих станции приведены в табл. 2.

Таблица 2

Норма годовых осадков и повторяемость обильных осадков в Армении

Станция	Высота, м	Норма осадков, мм	Повторяемость обильных осадков в году
Каджаран	1843	705	4,94
Арени	1009	341	1,47
Безымянный прв-л	2122	553	3,49
Чамбарак	1853	621	4,14
Семеновка	2104	769	5,54
Ереван-агро	942	307	1,15
Талин	1637	441	2,42
Аштарак	1090	365	1,70
Анкаван	1992	799	5,83
Цахкаовит	2101	544	3,40
Ехегнадзор	1252	436	2,38
Баграташен	451	501	3,00
Арагац в/г	3229	1000	7,74
Пушкинский прв-л	2066	812	5,95
Одзун	1105	582	3,77
Гарни	1422	488	2,87
Спитак	1516	459	2,60
Айгедзор	742	510	3,08
Берд	941	469	2,69
Ератмубер	3101	831	6,13
Яных	2334	478	2,78
Егвард	1317	432	2,34
Артик	1752	559	3,55
Гарновит	2167	620	4,13
Джаджур ж. д.	1795	574	3,69
Ахурик	1470	462	2,62
Цовагюх	1960	594	3,88
Шнох	661	490	2,89
Сисианский прв-л	2380	732	5,19
Пахакн	2006	607	4,00
Неркин Шоржа	2365	583	3,78
Артагюх	1653	757	5,43
Даранак	1915	449	2,50
Айкадзор	1466	348	1,54
Севан ГМС	1936	571	3,66
Ереван-Эребуни	910	277	0,87

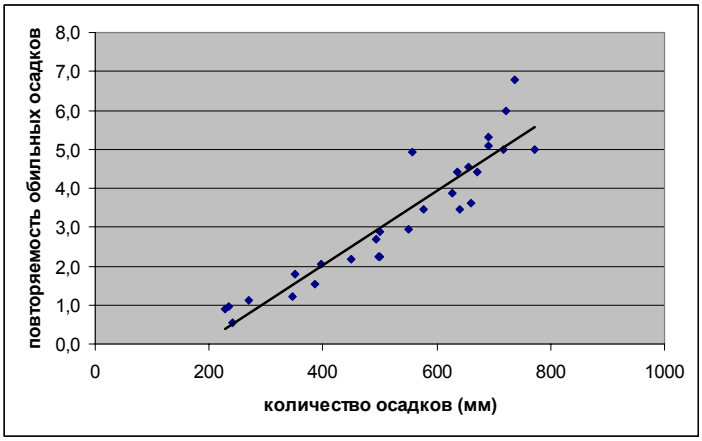


Рис. 1. Связь между годовыми осадками и повторяемостью обильных осадков в году

На основании таблиц 1 и 2 построена карта территориального распределения повторяемости обильных осадков на территории Армении по данным 64 метеорологических станций (рис. 2). Для сравнения распределения обильных осадков с распределением осадков, а также для подчеркивания важности орографических условий на распределение осадков, здесь же приведены карты годовых осадков и рельефа (рис. 3 и 4).

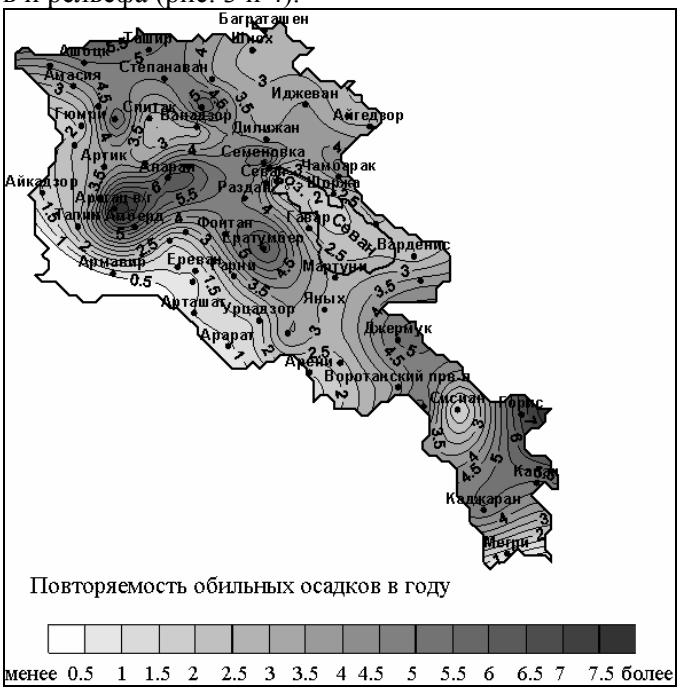


Рис. 2. Распределение повторяемостей обильных осадков на территории Армении

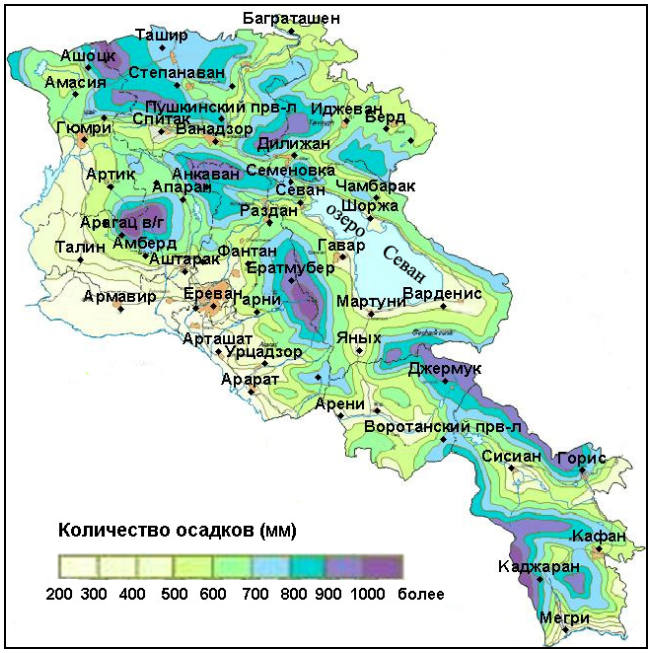


Рис. 3. Распределение годовых осадков на территории Армении [Атлас сельского хозяйства Армянской ССР, 1984]

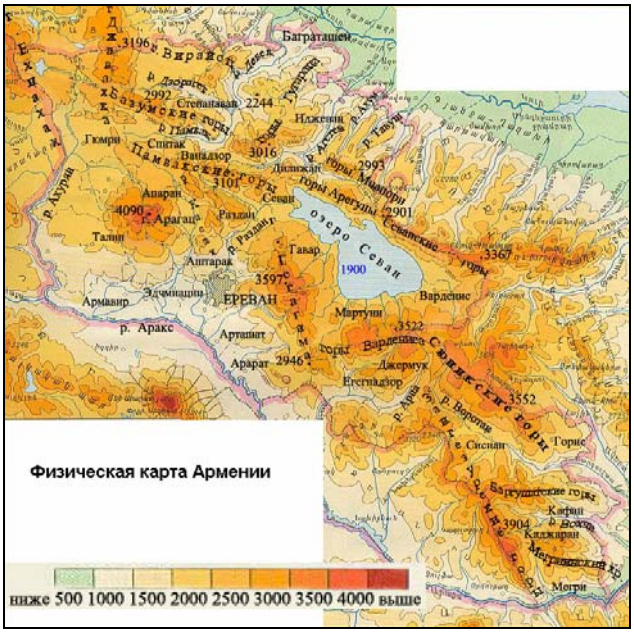


Рис. 4. Физическая карта Армении [Атлас Армянской ССР, 1961]

Рассмотрев рисунки 2–4, можно заметить, что изогипсы, изогиеты и изолинии повторяемостей обильных осадков в основном имеют схожую конфигурацию. Рассмотрим территориальное распределение повторяемостей обильных осадков по климатическим районам с помощью рис. 5 (на рис. 5 название 3-го района изменено).

Рис. 5. Карта климатических районов Армении [Багдасарян, 1958]

В предгорных частях первого климатического района (станции Гюмри, Айкадзор и Ахурик, на высоте 1450–1550 м) количество годовых осадков и повторяемость обильных осадков колеблется в пределах 348–497 мм и 1,54–2,62 раза в году соответственно. В горных районах количество осадков и повторяемость обильных осадков увеличивается и составляет 544–757 мм и 3,40–5,98 раза в году соответственно (станции Ашоцк, Артагюх, Артик, Амасия, Пахакн, Джаджур ж. д., Цахкаовит, Апаран, на высоте 1700–2100 м). В этом районе на рис. 2 соответствуют участки с повышенными градиентами изолиний повторяемостей обильных осадков, особенно у станций Ашоцк, Артагюх и Апаран. Большие значения повторяемостей обильных осадков (а также годовых осадков) на первых двух станциях обусловлены благоприятной экспозицией этих станций относительно влажных воздушных масс, связанных с прохождениями холодных фронтов с северо-запада или запада, которые играют большую роль в образовании обильных осадков в этом климатическом районе и на всей территории Армении (в большинстве случаев холодные фронты, перемещающиеся с северо-запада или запада, входят на территорию с Ширакского района). Боль-

шое количество годовых осадков и высокое значение повторяемости обильных осадков на ст. Апаран обусловлено благоприятными орографическими условиями для образования осадков и внутримассовой активностью на Апаранском плато. Станция Апаран находится на верхних течениях р. Касах, долина которой в основном направлена с юго-юго-запада на северо-северо-восток (против течения реки), которое в большинстве случаев совпадает с направлением движения влажных воздушных масс в нижней и средней тропосфере (связанных с выходами циклонов и прохождениями холодных фронтов). Это обстоятельство способствует конвергенции (одновременно с поднятием) влажных воздушных масс в долине р. Касах. Минимальная повторяемость обильных осадков из выше перечисленных станций наблюдается на ст. Цахкаовит, которая находится на северных склонах массива Арагац, которые являются подветренными относительно влажных воздушных масс, перемещающихся с юго-запада или с юга (привыходах циклонов с юго-запада или с юга).

Второй климатический район (Лори-Памбакский) находится на севере Армении и отличается своими особенностями распределения обильных осадков, что обусловлено физико-географическими условиями этого района. В этом районе большое влияние на образование обильных осадков оказывает прохождение холодных фронтов с северо-запада или запада, внутримассовые процессы, а также прохождение холодных фронтов с северо-востока или востока. Выходы циклонов с юго-запада оказывают слабое влияние на выпадение обильных осадков из-за широтно-расположенных Памбакского и Базумского высоких горных хребтов. В предгорных частях этого районах (станции Одзун, Степанаван, Ванадзор, Спитак, Ташир) повторяемость обильных осадков составляет 2,60–5,10 раза в году, а количество осадков – 459–690 мм. На карте распределения обильных осадков наблюдается замкнутая область с пониженными значениями повторяемостей обильных осадков (менее 3 раз в год), которая охватывает межгорную Памбакскую котловину (участок Спитак–Ванадзор). Максимальное значение повторяемости обильных осадков наблюдается на ст. Ташир (5,1 раза в году), которая находится на северо-западе Лорийского плато (на высоте 1507 м), где большое влияние на образование обильных осадков оказывают прохождение холодных фронтов и внутримассовые процессы. На горной станции Пушкинский перевал повторяемость обильных осадков и количество осадков составляет 5,95 раза в году и 812 мм соответственно.

Минимальная повторяемость обильных осадков в республике наблюдается в низинных частях третьего климатического района, которые охватывают Араратскую равнину (станции Арарат, Арташат, Армавир и Ереван-Эребуни, на высоте 800-900 м). Повторяемость обильных осадков здесь составляет 0,5–1,0 раза в году. Количество годовых осадков составляет 227–277 мм и преобладает сухой континентальный климат. Обращает на себя внимание тот факт, что при почти одинаковых годовых количествах осадков на станциях Арарат, Арташат, Армавир (для которых существует данные для обильных осадков за период

1955–2006 гг.) средняя повторяемость обильных осадков в году на первых двух станциях приблизительно 1,5–2,0 раза превышает повторяемость обильных осадков на ст. Армавир. Для того чтобы определить статистическую значимость различия средних значений между вышеуказанными станциями, воспользуемся критерием Стьюдента для проверки значимости различия средних значений двух выборок. Перед использованием критерия Стьюдента следует проверить ряды на однородность по дисперсии по критерию Фишера. Результаты проверки данных по критериям Стьюдента и Фишера приведены в табл. 3, где F – эмпирическое значение статистики Фишера, $F_{кр}$ – теоретическое значение статистики Фишера при двухстороннем уровне значимости, равным 0,05 ($2\alpha = 0,05$), t – эмпирическое значение статистики Стьюдента, $t_{кр}$ – теоретическое значение статистики Стьюдента при двухстороннем уровне значимости, равным 0,05. Данные табл. 3 показывают, что ряды данных на станции Арташат и Армавир, Арарат и Армавир можно считать однородными, а различия средних значении между указанными станциями – значимыми.

Таблица 3

Значимость различия средних значений повторяемости обильных осадков между станциями Арташат и Армавир, Арарат и Армавир, Ереван и Урцадзор

Станция	F	$F_{кр}$, $2\alpha = 0,05$	t	$t_{кр}$, $2\alpha = 0,05$
Арташат	1,6	1,6	2,3	2,0
Арарат	1,4		2,0	
Урцадзор	1,1		-2,4	

С целью выявления того, какими процессами обусловлены различия повторяемости обильных осадков между выше отмеченными станциями, на рис. 6 приведен годовой ход разницы между суммарными значениями числа случаев с обильными осадками на станциях Арарат и Армавир и Арташат и Армавир за период 1955–2006 гг. Анализ диаграммы показывает, что максимальные разницы наблюдаются в апреле и ноябре, значительные положительные разницы наблюдаются в июне и марте. Это объясняется тем, что в период март-апрель и в ноябре в этом районе большое влияние на образование обильных осадков оказывают выходы циклонов с юго-запада, с юга или волновые возмущения (серия молодых циклонов), при которых влажные воздушные массы, в основном, входят в Араратскую долину с юго-запада или с юга. Также на образование обильных осадков влияет тот факт, что крутые склоны Гегамских гор приближаются к Араратской равнине на юго-востоке Араратской равнины (это хорошо видно на карте рельефа, рис. 4), что должно способствовать более интенсивным восходящим движениям влажных воздушных масс на этих участках, чем на севере или на северо-востоке. Превышение числа случаев с обильными осадками на станциях Арарат и Арташат относительно станции Армавир в июне (на 3–5) обусловлено в основном внутримассовыми процессами. В большинстве случаев очаги внутримассовых кучево-дождевых облаков образуются юго-западнее территории Армении (северо-восточнее озера Ван, на территории Турции). При юго-западных потоках образованные кучево-дождевые облака

перемещаются на территорию Армении и в большинстве случаев входят в Араратскую равнину с юго-запада.

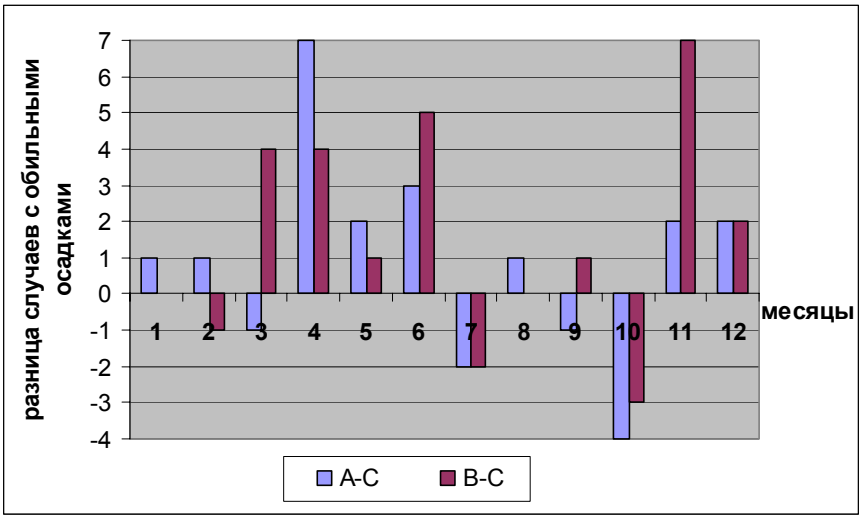


Рис. 6. Годовой ход разницы между суммарными значениями числа случаев с обильными осадками на станциях Арарат и Армавир и Арташат и Армавир за период 1955–2006 гг.
А – Арарат, В – Арташат, С – Армавир

В предгорных частях климатического района Араратской долины и Ехегнадзора (станции Ереван-агро, Ереван-Арабкир, Аштарак, Егвард, Талин, Гарни, Урцадзор, Арени и Ехегнадзор на высоте 1000–1600 м) повторяемость обильных осадков и годовое количество осадков увеличивается и составляет 1,2–2,9 раза в году и 307–488 мм соответственно. В распределении повторяемостей обильных осадков на станциях Ереван-Арабкир и Урцадзор наблюдается схожая картина, как и на станциях Арташат, Арарат и Армавир. На станции Урцадзор, которая находится на юго-востоке предгорной части Араратской долины, выпадает 346 мм осадков в году, а средняя повторяемость обильных осадков в году составляет 1,80 раза в году. На ст. Ереван-Арабкир, которая находится на северо-востоке предгорной части Араратской долины, выпадает 350 мм осадков в году, а повторяемость обильных осадков составляет приблизительно 1,23 раза в году, что в 1,5 раза меньше, чем на ст. Урцадзор (как видно из табл. 3 это разница является статистически значимой). Данное различие в повторяемостях обильных осадков может быть объяснено выше изложенными причинами. Здесь приведена диаграмма для станций Урцадзор и Ереван-Арабкир (рис. 7), аналогичная рис. 6. Максимальная разница наблюдается в апреле, когда наблюдается усиление циклонической активности в данном районе, значительные положительные значения разниц отмечены в период май–август, что обусловлено активностью внутримассовых процессов, и в октябре. Горные участки данного климатического района расположены на склонах Гегамских, Памбакских, Сю-

никских гор, гор Варденис и горного массива Арагац (станции Гарновит, Амберд, Раздан, Фантан, Анкаван, Безымянный перевал, Джермук, на высоте 1800–2200 м). На карте повторяемости обильных осадков в этих участках в основном наблюдается резкое увеличение градиентов изолинии повторяемостей обильных осадков. На станциях Гарновит и Амберд, которые расположены на склонах горного массива Арагац, годовое количество осадков и повторяемость обильных осадков колеблются в пределах 620–690 мм и 4,13–5,3 раза в году соответственно. На ст. Раздан, которая находится чуть ниже ст. Фантан (на 35 м), количество годовых осадков больше, чем на станции Фантан (на 35 мм), а повторяемость обильных осадков одинаковая. На ст. Раздан наблюдаются те же благоприятные орографические условия для образования осадков, как и на ст. Апаран, поскольку станция находится на верхних течениях р. Раздан, долина которой направлена с юго-запада на северо-восток (против течения реки), что в основном совпадает с преобладающим направлением влажных воздушных масс и способствует их конвергенции.

Станция Джермук находится на юго-востоке данного климатического района (на верхних течениях р. Арпа). На графике связи между нормами осадков и повторяемостью обильных осадков (рис. 1) станция Джермук является одной из наиболее отклоненных точек от кривой зависимости. Несмотря на большое количество годовых осадков (771 мм), повторяемость обильных осадков сравнительно небольшая (5,0 раза в году). Рассмотрим годовой ход обильных осадков на станциях Апаран, Горис и Джермук, где выпадает приблизительно одинаковое количество осадков (721–771 мм). Для этого построим диаграмму, подобную рис. 6–7, которая представлена на рис. 8. Анализ диаграммы показывает, что в холодный период года в основном наблюдается превышение количества случаев с обильными осадками на станции Джермук по сравнению со станциями Апаран и Горис. В теплый период года, когда в выпадении обильных осадков большую роль играют прохождения холодных фронтов и внутримассовые процессы, число обильных осадков на станциях Апаран и Горис значительно выше по сравнению со станцией Джермук (в мае на станции Горис разница составляет 43 случая). На рис. 9 показаны среднемесячные температуры на выше указанных станциях для периода май-сентябрь. На рис. 9 видно, что среднемесячные температуры в основном выше на станциях Апаран и Горис (кроме сентября на ст. Апаран), причем это превышение более хорошо выражено на ст. Горис, где и наблюдаются больше всего случаев с обильными осадками в эти месяцы (кроме июля).

Высокогорные части климатического района Араратской долины и Ехегнадзора охватывают вершинные участки выше перечисленных горных хребтов данного района с высотой более 3000 м, где преобладают суровые климатические условия. Здесь количество осадков и повторяемость обильных осадков увеличивается (принято, что увеличение количества осадков на территории Армении происходит до высоты приблизительно 3000 м над уровнем моря [Багда-

сарян, 1958]). Высокогорные районы охватывают небольшую территорию. Из этого района приведены 2 станции: Ератумбер и Арагац высокогорная (Арагац в/г). Годовое количество осадков и повторяемость обильных осадков на этих станциях составляют 831 и 1000 мм и 6,10 и 7,70 раза в году соответственно.

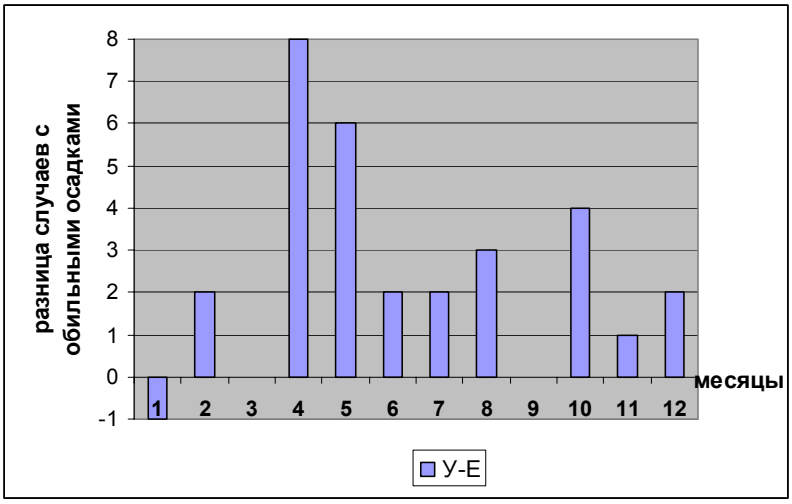


Рис. 7. Годовой ход разницы между суммарными значениями числа случаев обильных осадков на станциях Урцадзор и Ереван-Арабкир за период 1955–2006 гг.
У – Урцадзор, Е – Ереван-Арабкир

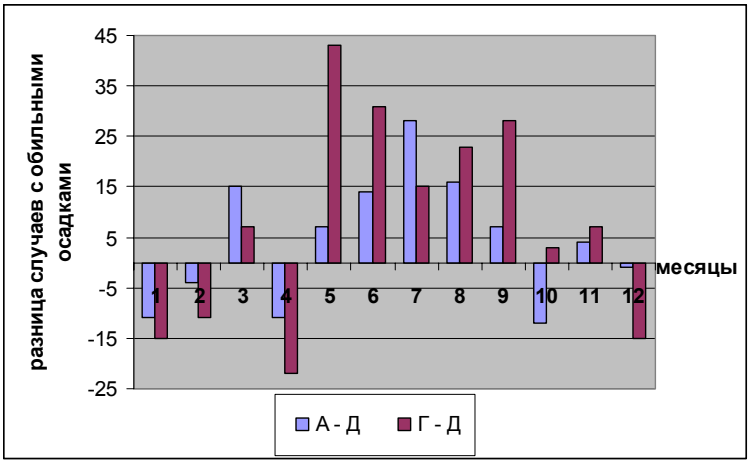


Рис. 8. Годовой ход разницы между суммарными значениями числа случаев обильных осадков на станциях Апаран и Джермук и Горис и Джермук за период 1955–2006 гг.
А – Апаран, Д – Джермук, Г – Горис

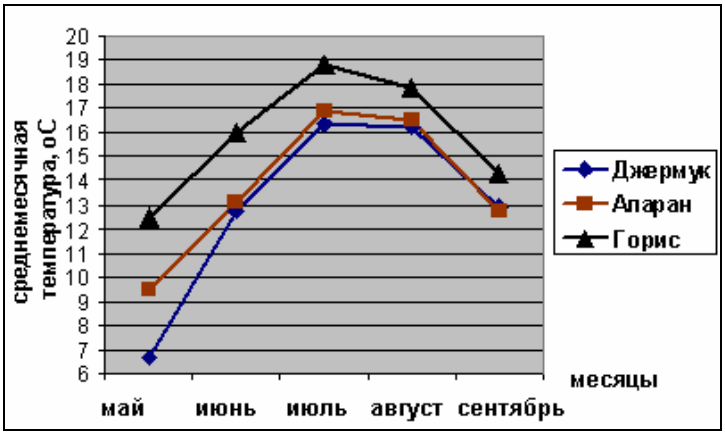


Рис. 9. Среднемесячные температуры на станциях Джермук, Апаран и Горис для периода май–сентябрь

Четвертый климатический район охватывает бассейн оз. Севан. Бассейн оз. Севан является замкнутой котловиной треугольной формы. Высота поверхности озера примерно 1900 м. Горные цепи, окружающие озеро, имеют в среднем высоту 3000 м. Как видно из рис. 2, бассейн оз. Севан выделяется как замкнутая область с пониженным значением повторяемости обильных осадков. Данное обстоятельство обусловлено, во-первых, тем, что влагонесущие воздушные массы поступают сюда с малыми запасами влаги, потеряв основной запас влаги на наветренных склонах окаймляющих гор, а во-вторых, негативным влиянием озера на развитие конвективных процессов в теплый период года. Наиболее низкие значения повторяемостей обильных осадков и количества годовых осадков наблюдаются на прибрежных станциях (станции Гавар, Севан (озерная), Мартуни, Варденис, Шоржа, Даранак) и составляют 2,0–2,9 раза в году и 396–500 мм соответственно, причем, как видно на рис. 2, наблюдается уменьшение повторяемости обильных осадков в восточном и юго-восточном направлениях. На более возвышенных станциях Яных и Неркин Шоржа (на юге района) повторяемость обильных осадков и количество годовых осадков составляет 2,8–3,8 раза в году и 478–583 мм соответственно. На крайнем северо-западе района наблюдается значительное увеличение осадков и повторяемостей обильных осадков, что обусловлено более благоприятным положением этих станции относительно влажных воздушных масс (благодаря Севанскому перевалу и долине р. Раздан). Здесь на станциях Севан ГМС и Цовагюх повторяемость обильных осадков и количество годовых осадков составляет 3,7–3,9 раза в году и 571–594 мм соответственно, а на ст. Семеновка, которая расположена выше, повторяемость обильных осадков и количество годовых осадков достигает 5,5 раза в году и 769 мм соответственно.

Пятый климатический район (Агстевский район) охватывает северо-восточную часть территории Армении, где климатические условия более мяг-

кие по сравнению с климатическими условиями выше изложенных районов. В этом районе влияние влажных воздушных масс с юго-запада и запада ограничено из-за поперечно и перпендикулярно расположенных (относительно движения влажных воздушных масс) горных хребтов (Памбакские, Базумские горы, горы Гугараца, Арегуни, Миапори). Значительное влияние на образование осадков и обильных осадков оказывают влажные воздушные массы, связанные с прохождениями холодных фронтов с востока или с северо-востока, выходы циклонов с юга, а также внутримассовые процессы. Наветренными являются восточные (северо-восточные) склоны гор Гугараца, Миапори и Арегуни. В долинных районах (станции Шнох, Айгедзор, Баграташен, Иджеван, Берд на высоте 450–950 м) количество годовых осадков и повторяемость обильных осадков колеблются в пределах 469–576 мм и 2,7–3,5 раза в году соответственно. В предгорных и горных районах (станции Дилижан и Чамбарак на высоте 1250–1800 м) количество годовых осадков и повторяемость обильных осадков составляет 621–627 мм и 3,9–4,14 раза в году.

Шестой климатический район (Зангезурский) отличается большой расчлененностью рельефа и, следовательно, сложным территориальным распределением повторяемостей обильных осадков (рис. 4 и 2). Основные процессы, которые приводят к образованию обильных осадков – это выходы циклонов с юга или юго-запада, прохождение холодных фронтов с северо-востока или востока и внутримассовые процессы. Влияние холодных фронтов, перемещающихся с северо-запада или запада, в этом районе ослабевает из-за поперечно и перпендикулярно расположенных (относительно движения холодных фронтов) горных хребтов. Из долинных станций здесь приведены станции Мегри и Кафан. На ст. Мегри количество годовых осадков составляет 270 мм, а на ст. Кафан – 558 мм, а повторяемость обильных осадков 1,1 и 4,9 раза в году соответственно. Такая большая разница между этими двумя станциями обусловлена тем, что ст. Мегри, которая находится в долине р. Мегри, с запада и востока окружена высокими горами Зангезурского и Мегринского хребтов, а ст. Кафан находится на наветренных юго-восточных склонах Баргушатского хребта. На рис. 1 видно, что ст. Кафан является наиболее отклоненной точкой от кривой связи. На ст. Кафан повторяемость обильных осадков (4,92) примерно в полтора раза превышает повторяемости обильных осадков на станциях Иджеван (3,46) и Ванадзор (2,92), где выпадает приблизительно одинаковое количество осадков. Из этого следует, что осадки на ст. Кафан характеризуются большей интенсивностью, что обусловлено благоприятной экспозицией станции относительно движения влажных воздушных масс с юго-востока, юго-запада, конвергенцией влажных воздушных масс по долине р. Вохчи, направление которой совпадает с преобладающим направлением влажных воздушных масс в этом районе (как в случае станций Апаран и Раздан) и наличием благоприятных условий для возникновения внутримассовых ливневых осадков в теплую половину года. Количество осадков и повторяемость обильных осадков в предгорных станциях Сисиана и Гориса со-

ставляет 386 и 737 мм и 1,5 и 6,8 раза в году соответственно. На рис. 2 наблюдается замкнутая область пониженных значений повторяемостей обильных осадков, охватывающая Сисианскую межгорную котловину, в центре которой находится ст. Сисиан (как в случае ст. Спитак). Станция Горис, в отличие от ст. Сисиан, находится на наветренных юго-восточных склонах Сюникских. На горных станциях Каджаран, Сисианский перевал и Воротанский перевал количество осадков и повторяемость обильных осадков колеблется в пределах 661–732 мм и 3,6–5,2 раза в году соответственно.

Подводя итоги о территориальном распределении обильных осадков в Армении, можно сказать следующее.

1. Территориальное распределение обильных осадков в основном подчиняется закономерностям распределения годовых осадков, о чем свидетельствует достаточно тесная связь между этими двумя характеристиками осадков (с коэффициентом корреляции 0,93).

2. Существенное влияние на распределение обильных осадков оказывают такие формы рельефа, как наветренные склоны горных хребтов, долины рек, направление которых совпадает с преобладающим направлением влажных воздушных масс, и замкнутые межгорные котловины.

3. Несмотря на довольно тесную взаимосвязь между нормами осадков и обильными осадками на отдельных станциях наблюдается значительное несоответствие этих двух величин (станции Джермук, Капан, некоторые станции Араратской долины), что обусловлено местными орографическими особенностями и влиянием синоптических процессов, обусловливающих обильные осадки.

4. Приведенная карта распределения обильных осадков хорошо отражает распределение обильных осадков до высот 2500 м, где расположена основная часть территории республики. Отсутствие данных (приведены всего 2 станции с высотой более 3000 м) не дает возможность более детально просматривать увеличение повторяемостей обильных осадков в отдельных высокогорных участках (например, на рис. 2 слабо выражено увеличение повторяемостей обильных осадков в высокогорных частях гор Арегуни, Гугараца и Варденис).

Литература

1. Атлас Армянской ССР. – Ереван–Москва, 1961.
2. Атлас сельского хозяйства Армянской ССР. – Москва– Ереван, 1984.
3. *Александрян Г.А.* Атмосферные осадки в Армянской ССР. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1971.
4. *Багдасарян Г.А.* Климат Армянской ССР. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1958.
5. *Богаткин О.Г.* Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: изд. РГГМУ, 2003.
6. Практикум по синоптической метеорологии / Под ред. В.И. Воробьева. – СПб.: РГГМУ, 2006.
7. *Русин И.Н.* Влияние гор на формирование ливневых осадков. – СПб.: РГГМИ, 1997.
8. Справочник по климату СССР. Вып. 16, ч.. 4. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
9. *Харчилава Ф.Т.* Аэросиноптические условия образования и выпадения обильных осадков в Армении и разработка методики их прогнозирования // Труды ЗакНИГМИ, 1966, вып. 22.

В.В. Осечкин, Е.В. Гниловской, В.Е. Потемкин

ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОЗОНООБРАЗОВАНИЯ В ЗИМНЕЙ НИЖНЕЙ ПОЛЯРНОЙ СТРАТОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕКОТОРЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕОРИИ ВОЛЬТЕРРА

V.V. Osetchkin, E.V. Gnilovskoy, V.E. Potiomkin

AN ESTIMATION OF ADDITIONAL OZONEFORMING IN THE WINTER LOWER POLAR STRATOSPHERE MAKING USE OF SOME ASPECTS OF THE VOLTERRA'S THEORY

Показано дальнейшее применение «математической теории борьбы за существование», разработанной итальянским математиком Вито Вольтерра для оценки дополнительного образования озона в зимней нижней полярной стратосфере. Полученные результаты оказались в соответствии с данными вычислений, выполненных настоящими авторами ранее.

Ключевые слова: зимняя нижняя полярная стратосфера, галактические космические лучи, дополнительное озонообразование, теория Вольтерра.

Further application of the Volterra's theory to estimating an additional ozoneforming in the winter lower polar stratosphere is shown. The results obtained turned out to be in an agreement with the ones calculated by the present authors much earlier.

Key words: winter lower polar stratosphere, galactic space rays, additional ozoneforming, the Volterra's theory.

Современная фотохимическая теория стратосферного озона, несмотря на значительные коррективы, внесённые в неё в последние десятилетия (особенно в 60–70-е годы прошлого столетия), по-прежнему находится в противоречии с основными особенностями его пространственно-временного распределения. В частности, упомянутая теория до настоящего времени не в состоянии объяснить природу формирования весеннего максимума общего содержания озона в полярных и субполярных районах.

Трудности объяснения происхождения весеннего максимума общего содержания озона могут быть успешно преодолены, если к фотохимической теории образования озона привлечь механизм воздействия на озоносферу частиц космического происхождения (преимущественно протонов).

Кратко напомним сущность предложенного авторами ещё в 1989 г. механизма [Осечкин, 1989] [*]. Известно, что во время полярной ночи солнечная ультрафиолетовая радиация (УФР) отсутствует. Также известно, что в нижней стратосфере в полярных районах консервативность озона в зависимости от высоты составляет от 100 до 500 суток [Solomon, 1985]. При такой высокой консервативности содержание озона в полярной стратосфере должно было бы сохра-

[*] Несколько позднее (1990) нечто подобное опубликовала Р.С.Стеблова (см. список литературы).

няться до весны на осеннем уровне. В действительности во время полярной ночи (начиная уже с сентября) в полярной и субполярной областях стратосферы наблюдается рост общего содержания озона. Это указывает на существование в стратосфере источника озона отличного от фотохимического. Авторы работы [Осечкин, 1989] предположили, что единственным источником озонообразования во время полярной ночи является радиолиз молекулярного кислорода атмосферы протонами галактических космических лучей (ГКЛ). С учётом упомянутой выше консервативности озона происходит его накопление в зимней нижней полярной стратосфере, что и является причиной образования весеннего максимума общего содержания озона в полярных и субполярных районах. Более того, с помощью описанного механизма можно объяснить формирование высотного слоя с наибольшей плотностью озона. Поскольку процесс радиолиза молекулярного кислорода в полярной стратосфере в основном ограничивается высотами 8–18 км и с максимальным поглощением ГКЛ в слое 13–16 км, то, очевидно, что как раз в этом слое и происходит формирование максимальной плотности озона, или вторичного максимума в вертикальном распределении плотности озона, расположенного ниже основного озонового максимума. Разрушение вторичного максимума происходит в конце весны путём воздействия солнечной озоноразрушающей радиации. Этот механизм подробно рассмотрен в работе [Осечкин, 1993].

Обращаем внимание исследователей, что именно вторичный максимум плотности озона и является ответственным за весенний максимум общего содержания озона в полярной стратосфере и именно он вносит дисбаланс в фотохимическую теорию. Несмотря на то что в летнее время вторичный максимум плотности озона исчезает [Осечкин, 1993] благодаря доминирующему проявлению солнечной озоноразрушающей радиации (в слое 8–18 км), тем не менее в среднем в полярной области за счёт продолжительности полярной ночи общее содержание озона в северных широтах больше, чем в средних и южных. Этот «меридиональный эффект» общего содержания озона был обнаружен ещё в 1927 г. в результате организации Добсоном мировой озонометрической сети. Проанализировав данные первых наблюдений, выдающийся английский геофизик Сидней Чепмэн в 1930 г. предположил, что севернее 45° с.ш. его фотохимическая теория не сможет объяснить рост озона в направлении к полярным широтам и в этой области, по-видимому, имеет место проявление какого-либо другого физического механизма, отличного от фотохимического.

В последующих исследованиях [Осечкин, 1989] роль ГКЛ в физике озоносферы указанные авторы предложили ещё один подход, дающий дополнительную информацию о природе нефотохимического источника озона в зимней полярной стратосфере. В упомянутой выше работе авторы представили озоносферу как симметрически-однородный слой (наподобие однородно-намагниченному шару), в котором концентрация озона на данной высоте по всем направлениям постоянная и изменяется только по высоте в соответствии с фотохимиче-

ской теорией. Асферическая составляющая при таком подходе представляет собой ту дополнительную концентрацию, которая адекватна проявлениям независимого (нефотохимического) источника.

В нашей первой статье по проблеме роли ГКЛ в формировании весеннего максимума общего содержания озона в нижней полярной стратосфере [Осечкин, 1989] мы оценили степень накопления озона от осени к весне. Оценка проводилась с учётом структуры магнитного поля Земли по лабораторным данным о продуктивности озонообразования в системе $N_2 + O_2$ [Пикаев, 1985]. Результаты вычислений показали, что величина вторичного максимума плотности озона составляет около 100 Д.ед.

В течение длительного времени (с 1989 г.) не представлялось возможным сравнить упомянутую величину с результатами вычислений, полученных другими авторами. Причина этого положения довольно банальна – многие исследователи до настоящего времени не принимали всерьёз роль ГКЛ в формировании вторичного максимума плотности озона и, следовательно, подобных оценок не проводилось.

В последние годы авторы настоящей работы находились в творческом поиске, пытаясь найти такой независимый метод расчёта дополнительного озонобразования, который позволил бы сравнить полученную нами ранее оценку [Осечкин, 1989] с результатами вычислений, произведёнными в настоящей работе. Разработать такой независимый метод нам помогло тщательное изучение «математической теории борьбы за существование», созданной итальянским математиком Вито Вольтерра [Вольтерра, 1976]. На основе этой теории в предыдущей работе [Осечкин, 2009] нам удалось получить решение системы уравнений применительно к процессам озонообразования и озоноразрушения в указанных выше условиях на высотах 8–16 км. После ряда преобразований, выполненных в работе [Осечкин, 2009], итоговое уравнение приняло следующий вид:

$$\beta_1 k_1 \log N_1 + \beta_3 k_3 \log N_3 = \left[-\alpha_3\beta_3 k_3 + \alpha_1\beta_1 k_1 + (N_1 - N_3)a_{13}\right]t , \qquad (1)$$

где N_1, N_3 – концентрации указанных газов; k_1, k_3 – коэффициенты прироста исследуемых газов; α_1, α_3, β_1, β_3 – массовые числа рассматриваемых элементов; $a_{1,3}$ – коэффициент поглощения атомарного кислорода озоном. Напомним, что индексы 1 и 3 относятся к «элементам» взаимодействия: атомарному кислороду, молекулярному кислороду и озону соответственно.

Численные оценки показывают, что последним слагаемым в квадратных скобках можно пренебречь. Это можно проверить, подставив численные значения величин, которые приведены далее. Тогда после интегрирования (1) получим:

$$N(N_1)^{k_1\beta_1}(N_3)^{k_3\beta_3} = Ce^{(\alpha_1\beta_1 k_1 - \alpha_3\beta_3 k_3)t} . \qquad (2)$$

Постоянная C – это характеристика процесса в начальный момент времени ($t = 0$); она может быть найдена из очевидной формулы:

$$N_3(0) = C = N_1(0)^{k_1\beta_1} N_3(0)^{k_3\beta_3}. \quad (3)$$

Иными словами, это есть значение левой части (2) в начальный момент времени $t = 0$. Решив уравнение (2) относительно искомой величины $N_3(t)$, получим:

$$N_3(t) = \left(\frac{N_1(0)}{N_1(t)} \right)^{\frac{k_1\beta_1}{k_3\beta_3}} N_3(0) e^{\left(\frac{\alpha_1\beta_1 k_1}{\beta_3 k_3} - \alpha_3 \right) t}. \quad (4)$$

Соотношение (4) представляет собой наиболее удобное и сравнительно простое выражение для вычисления зависимости концентрации атмосферного озона в упомянутых выше условиях от времени.

Поскольку ГКЛ производят в единицу времени постоянное количество атомарного кислорода и последний быстро вступает в реакцию, то можно приблизительно записать $N_1(0) \approx N_1(t)$, что приводит к упрощению выражения (4):

$$N_3(t) = N_3(0) e^{\left(\frac{\alpha_1\beta_1 k_1}{\beta_3 k_3} - \alpha_3 \right) t}. \quad (5)$$

Рассмотрим значения констант, входящих в уравнение (5).

Коэффициенты α_1, α_2, α_3 основных элементов O, O_2, O_3 фактически являются производными величин N_1, N_2, N_3 по времени, т.е. $\frac{\partial N_1}{\partial t}$, $\frac{\partial N_2}{\partial t}$ и $\frac{\partial N_3}{\partial t}$, определяемые в условиях полярной ночи действием ГКЛ.

Коэффициент прироста атомарного кислорода α_1 имеет максимальное значение на высоте 15 км и равное $\alpha_1 = 6\times10^4$ с$^{-1}$ [Осечкин, 1989], α_2 – относительно малая величина, ей можно пренебречь, т.е. $\alpha_2 \approx 0$. Коэффициент прироста озона является искомой величиной.

Массы элементов O, O_2 и O_3 (в граммах) легко определяются по формулам:

$$\beta_1 = \mu_1 m_p; \ \beta_2 = \mu_2 m_p; \ \beta_3 = \mu_3 m_p \quad (6)$$

где μ_1, μ_2, μ_3 – молекулярные атомные веса O, O_2 и O_3, равные соответственно 16, 32 и 48 а.е.м.; m_p – атомная единица массы изотопа O^{16} ($1{,}67\times10^{-24}$ г.). Далее вспомним, что в нашей работе [Осечкин, 2009] были введены следующие обозначения:

$$k_1 = a_{2,3}; \ k_3 = a_{1,2}, \quad (7)$$

где $a_{1,2}$ и $a_{2,3}$ – коэффициенты взаимодействия двух элементов (по аналогии с коэффициентами Вольтерра, учитывающими взаимодействие двух биологических объектов, «пожирающих» друг друга [Вольтерра, 1976]).

Согласно теории Вольтерра, коэффициенты $a_{1,2}$ и $a_{2,3}$ можно записать следующим образом:

$$a_{r,s} = m_{r,s}\rho_{r,s}\beta_r; \ a_{r,s} = -a_{s,r}, \quad (8)$$

где $m_{r,s}$ – коэффициенты встреч элементов r и s в единицу времени (известное положение из молекулярно-кинетической теории); индексы r и s пробегают значения 1, 2, 3.

Число столкновений Z элементов r и s описывается соотношением:

$$Z = m_{r,s} N_r N_s \,, \tag{9}$$

где N_r и N_s – концентрации элементов r и s. Поскольку в описываемом случае речь идёт о столкновении газовых молекул "r" и "s", то в соответствии с молекулярно-кинетической теорией коэффициент $m_{r,s}$ может быть найден по формуле:

$$m_{r,s} = 4\pi\sqrt{2} r_s \overline{V_s}, \tag{10}$$

где $\overline{V_s}$ – средняя тепловая скорость молекул элемента "s" при температуре окружающей среды $T \approx 218$ K. Средние тепловые скорости можно найти по формуле [Ландау, 1962]:

$$\overline{V_s} = 1{,}6\sqrt{\frac{RT}{\mu_s}}. \tag{11}$$

Вычисленные нами средние тепловые скорости соответственно равны:

$$\overline{V_1} = 5{,}38\times10^2 \text{ см·с}^{-1},\ \overline{V_2} = 381\times10^2 \text{ см·с}^{-1},\ \overline{V_3} = 311\times10^2 \text{ см·с}^{-1}\,. \tag{12}$$

При столкновении элемент "s" захватывает (или, как сказано выше, «пожирает») элемент "r" с продуктивностью или коэффициентом захвата $\rho_{r,s}$. Этот коэффициент захвата может принимать значения в интервале $0 \le \rho_{r,s} \le 1$ (при $\rho_{r,s} = ½$ события захвата и незахвата равновероятны). Наконец, численные значения коэффициентов Вольтерра в формуле (5) следующие: $k_1 = a_{2,3} = 2{,}26\times10^{-32}$ г·см$^{-6}$·с$^{-1}$, $k_3 = a_{1,2} = 7{,}61\times10^{-33}$ г·см$^{-6}$·с$^{-1}$.

После вычисления основных констант обратимся к уравнению (5), из анализа которого видно, что концентрация озона в рассматриваемых условиях изменяется в зависимости от времени по экспоненциальному закону. Поскольку по данным многочисленных наблюдений в нижней стратосфере во время полярной ночи формируется весенний максимум озона, следовательно, знак показателя экспоненты в (5) должен быть положительным.

Выполним необходимые оценки. В соответствии с данными наблюдений общее содержание озона от сентября к апрелю в полярных и субполярных районах увеличивается в среднем от 315 до 400 Д.ед. [London, 1976]. Длительность полярной ночи принимаем равной 2×10^7 с. Считая, что входящие в формулу (5) константы в течение полярной ночи остаются неизменными и, также принимая во внимание консервативность озона в нижней стратосфере, после логарифмирования формулы (5) и несложных преобразований получаем:

$$\alpha_1 \frac{a_{23}}{a_{21}} \approx 3\alpha_3\,. \tag{13}$$

Подставляя значения $a_{2,3}$ и $a_{2,1}$ в соотношение (13), окончательно поучаем:

$$\alpha_3 = 0\ 976\ \alpha_1\ , \qquad (14)$$

т.е. коэффициент прироста атомарного кислорода незначительно превосходит коэффициент прироста озона. Это означает, что для непрерывного увеличения озона в рассматриваемых условиях необходимо постоянное присутствие атомарного кислорода, единственным источником которого являются ГКЛ.

Расчёт по формуле (5) показывает, что концентрация озона к концу полярной ночи вырастает приблизительно в 1,3 раза по сравнению с её осенним (сентябрьским) значением. Поскольку средняя концентрация озона в сентябре на высоте 13 км составляет 0,75 молекул·см$^{-3}$, то к концу полярной ночи (апрель) она увеличивается до 0,975 молекул·см$^{-3}$. Проинтегрировав это значение для атмосферного слоя 8–18 км (10^6 см), получим суммарное значение концентрации озона в указанной толще $\approx 10^{18}$ молекул·см$^{-2}$, т.е. около 100 Д.ед., что находится в соответствии с результатами наблюдений.

Подводя итоги, отметим, что разработанный авторами метод оценки вторичного максимума плотности озона в зимней нижней полярной стратосфере является независимым от метода, предложенного авторами ранее, и согласуется с результатами наблюдений. Особо подчеркнём, что незаслуженно не замечаемая некоторыми исследователями гипотеза о космическом происхождении весеннего максимума общего содержания озона в полярных и субполярных районах, выдвинутая авторами ещё в 1989 г., наконец-то находит подтверждение в данных наблюдений.

Литература

1. *Вольтерра В.* Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976. – 350 с.
2. *Ландау Д.Л., Лившиц Е.М.* Теоретическая физика. т. 3, гл. VII. Теория упругих столкновений. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962, с. 541–613.
3. *Осечкин В.В., Гниловской Е.В., Кондратович К.В.* О воздействии галактических космических лучей на формирование весеннего максимума общего содержания озона в полярных и субполярных районах // ДАН, 1989, т. 305, № 4, с. 825–828.
4. *Осечкин В.В., Смышляев С.П.* Механизм образования и разрушения вторичного максимума в вертикальном распределении плотности озона в нижней полярной стратосфере // ДАН, 1993, т. 38, с. 671–673.
5. *Осечкин В.В., Гниловской Е.В.* О природе нефотохимического источника озона в стратосфере и возможности его географической идентификации // ДАН, 1997, т. 355, № 4, с. 535–539.
6. *Осечкин В.В., Гниловской Е.В., Потемкин В.Е.* Опыт математической формализации некоторых уравнений атмосферной химии (озонового цикла) на основе теории Вольтерра // Уч. записки РГГМУ, 2009, № 9, с. 66–69.
7. *Пикаев А.К.* Современная радиационная химия. – М.: Наука, 1985. – 374 с.
8. *Стеблова Р.С.* О воздействии галактических космических лучей на озоносферу // ДАН, 1990, т. 315, № 5, с. 1097–1102.
9. *London J.* Atlas of the global distribution of total ozone. – NCAR, Boulder, Colorado, USA? (part 1). 1976. – 146 p.
10. *Solomon S., Garcia R.R., Stordial S.* Transfer of ozone and its perturbations. // J. Geophys.Res., 1985, D90, #7, p. 12981–12989.

ЭКОЛОГИЯ

В.В. Дроздов, А.В. Коробков

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИЙ ВЫБОРГСКОГО ЗАЛИВА

V.V. Drozdov, A.V. Korobkov

INFLUENCE OF DREDGING WORKS ON AN ECOLOGICAL CONDITION WATER AREAS OF THE VYBORG GULF

Проанализированы гидрологические, геологические и гидробиологические особенности акваторий Выборгского залива. Произведена типизация акваторий по степени их видового разнообразия и биопродуктивности. Рассмотрена специфика воздействия дноуглубительных работ на донные и пелагические биологические сообщества. Выполнено районирование акваторий Выборгского залива в зависимости от их устойчивости к последствиям проведения дноуглубительных работ и добычи минерального сырья.

Ключевые слова: Выборгский залив, дноуглубительные работы, экологическое состояние, устойчивость экосистем.

Hydrological, geological and hydrobiological features of water areas of the Vyborg gulf are analysed. Typification of water areas on degree of their specific variety and bioproductivity is made. Specificity of influence дноуглубительных works on bottom and pelagic biological communities is considered. Division into districts of water areas of the Vyborg gulf depending on their stability to carrying out consequences dredging works and extraction of mineral raw materials is executed.

Keywords: Vyborg gulf, dredging, ecological condition, stability of ecosystems.

Введение

Выборгский залив – самый крупный из заливов второго порядка Финского залива Балтийского моря. Его площадь составляет 450 км^2, а протяжённость в северо-восточном направлении – около 60 км. Береговая линия залива сильно изрезана, характерно обилие бухт и островов. Акватории Выборгского залива обладают высокой биологической продуктивностью и видовым разнообразием. Именно здесь расположены нерестилища ценных промысловых рыб и стоянки перелётных птиц, подлежащих охране. Кроме того, акватории залива обладают значительными объемами минеральных полезных ископаемых, среди которых железо-марганцевые конкреции, строительные пески и щебень. Подводный

рельеф обладает выраженной неоднородностью, что затрудняет процесс водообмена с Финским заливом. Данное обстоятельство делает Выборгский залив уязвимым, с точки зрения воздействия на его экологическое состояние, поскольку в силу природных особенностей естественные процессы самоочищения в нём замедлены, узость и мелководность проливов создаёт условия для концентрации загрязнителей [Балушкина, 1996, Дроздов, 2006; 2009, Лаврентьева, 1988]].

С конца 1990 г. в российской части акватории Финского залива наблюдается активное строительство новых портовых сооружений и инфраструктуры. Масштабы, темпы строительства и объемы капиталовложений инвестиционной деятельности по созданию нефтеналивных терминалов и портов оказались весьма значительными. Только за последние 6 лет в Выборгском заливе построены и пущены в эксплуатацию два крупнейших в Европе нефтеналивных терминала. В результате этого строительства объем перевозимой нефти по акватории восточной части Финского залива с использованием построенных терминалов существенно возрос. В 2010 г. по оценкам экспертов он составит до 75 % от общего количества перевозимой через Финский залив нефти. Заканчивается подготовка к строительству подводного участка газопровода «Северный поток» (Nord Stream) по дну Балтийского моря от северо-западной части Выборгского залива до Германии. Резкое увеличение хозяйственной деятельности на морских акваториях и в прибрежной зоне неизбежно вызывает экологические проблемы. Поэтому проведение регулярных работ по комплексной оценке экологического состояния данного региона с учетом специфики его природных условий является необходимым.

1. Эколого-географическое районирование Выборгского залива

В регионе Выборгского залива климат умеренно-холодный, переходящий от морского к континентальному. Характерны относительно небольшие колебания температуры воздуха, значительная влажность, облачность и частые атмосферные осадки. Преобладающими ветрами в течение всего года являются ветры западного (15,3 %) и юго-западного (15 %) направлений. Выборгский залив располагается на территории в пределах крупной геологической структуры – Балтийского кристаллического щита, являющегося частью Восточно-Европейской платформы. Практически вся акватория и береговая линия Выборгского залива сложены изверженными очень плотными магматическими породами – в основном гранитами. Но в особенности это характерно для северной и центральной частей залива, включающих портовые комплексы Выборга и Высоцка. Выходы гранитных пород на поверхность встречаются очень во многих районах – ими сложены многочисленные мелкие острова – шхеры, с очень маломощным почвенным покровом, крупные острова, такие как Твердыш (Выборг – ландшафтный парк Монрепо), Крепыш (район Высоцка), полуострова Лоханиеми и большая часть полуострова Киперорт. Однако на поверхности очень плотных магматических пород имеются и более рыхлые осадочные породы – щебень,

галька в прибрежной зоне, песчаные и иловые отложения. Довольно часто встречаются также валуны диаметром от 0,5 до 2 м. Развитый слой ила до 0,5 м располагается на дне многочисленных защищённых от сильного волнения мелководных бухт и заливов с повышенной продуктивностью растительности и донной фауны. Более открытые акватории имеют осадки смешанного типа – под относительно небольшим слоем ила располагаются крупнозернистые пески и щебень. Неоднородность абиотической среды оказывает значительное влияние на обилие и видовое разнообразие биотических компонентов экосистемы Выборгского залива.

Акватории Выборгского залива на основе различий в гидрологических, геологических и биопродукционных условиях правомерно подразделить на четыре эколого-географических района: Северный, Центральный, Южный и Северо-Восточный (рис. 1).

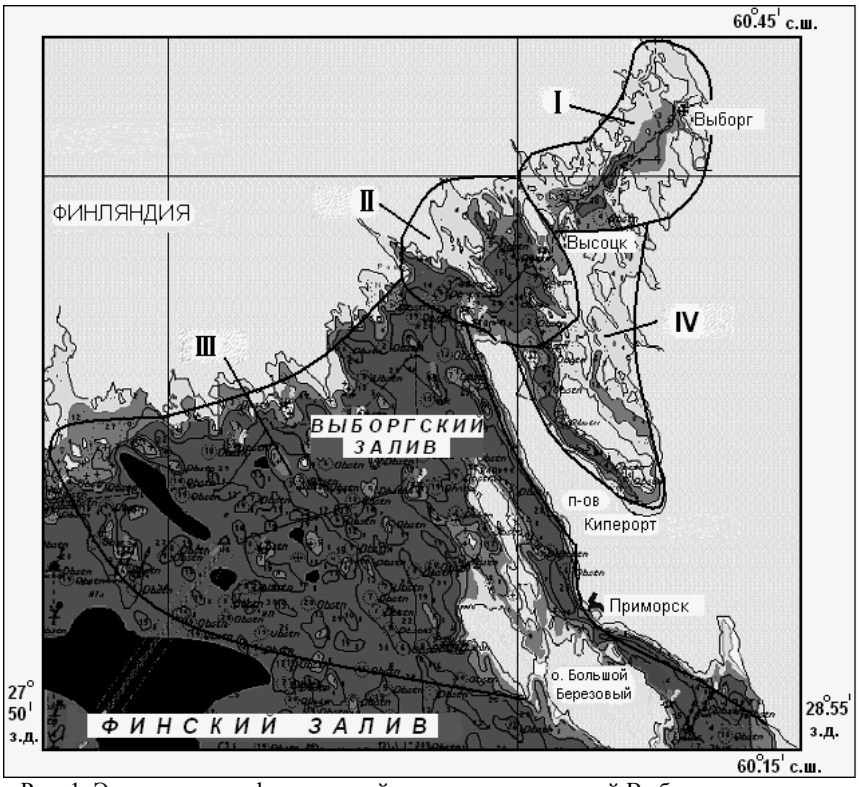


Рис. 1. Эколого-географическое районирование акваторий Выборгского залива.
I – Северный район; *II* – Центральный район; *III* – Южный район; *IV* – Северо-Восточный район

Северный район залива включает крупный районный центр Ленинградской области город-порт Выборг и нефтеналивной порт Высоцк. Для данной акватории свойственна значительная мелководность. Глубины в среднем составляют около 3,5 м, но на фарватерах, ведущих к Выборгу, достигают 10 м. Литораль-

ная зона хорошо выражена. Острова занимают 21 % от общей площади. Крупнейшим водотоком является Сайменский канал. Среди рек, впадающих с восточной стороны, следует отметить такие, как Черкасовка, Матросовка, Дрёма, Медянка, с западной – крупнейшими являются Селезнёвка, Полёвая, Бусловка, Гусиная. Протяжённость этих рек составляет от 45 до 85 км, уклон русла обычно не превышает 1,2 м/км. Ширина впадающих рек в устьевой составляет 10–15 м. Кроме того, в Северный район залива впадает множество ручьёв. Повышенная сложность очертаний береговой линии и полузамкнутость его акватории обусловили весьма замедленный водообмен северного района Выборгского залива с центральным и южным частями. Это обусловливает также очень низкую солёность воды данной акватории, которая в среднем не превышает 1,5 ‰. Прозрачность вод также весьма низкая – в городских акваториях Выборга (залив Салака-Лахти и бухта Радужная) она составляет только 0,8–1 м. В более открытых районах, удалённых от города и портовых сооружений, она возрастает до 1,3–1,5 м по диску Секки. Уровень воды в бухтах может заметно колебаться, по причине динамики речного стока и ветрового нагона, однако процессы самоочищения весьма замедлены, по причине узости и мелководности многих акваторий. В особенности это характерно для городских акваторий Выборга, где на дне повсеместно встречаются массы чёрных илов, свидетельствующие об отсутствии или резком недостатке растворённого кислорода.

Центральный район Выборгского залива располагается к юго-западу от о. Крепыш и Высоцкий примерно до о. Маячный и северо-западной оконечности полуострова Киперорт – м. Летний (рис. 1 *II*). Длинный клинообразный полуостров Киперорт, тянущийся узкой полосой от города Приморска в северном направлении, перегораживает залив, ограничивая проникновение солоноватых вод из южной части в центральную. За ним к югу Выборгский залив сильно расширяется, а затем, по мере приближения к Выборгу, постепенно сужается вновь. Относительная площадь островов в центральной части Выборгского залива несколько меньше, чем в северной – они занимают 15 % акватории. Глубины в среднем несколько больше – о 5 до 8 м, литоральная зона выражена слабо, у берегов наблюдается быстрое возрастание глубин. У северо-восточной оконечности полуострова Киперорт глубины могут достигать уже 18 м [Лаврентьева, 1988; Экосистема эстуария…, 2008]. В Центральный район Выборгского залива впадают несколько рек, однако их количество меньше, чем в северной части. Река Пукалусйоки, впадающая в залив Балтиец с западного берега, вытекает из озера Пукалусъярви, расположенного на границе с Финляндией, на уровне 27 м. Длина реки 21 км (а с истоком на 47 км больше). Река Чулковка, впадающая в бухту Никколахи, то же с западного берега, вытекает из озера Лаппъярви, расположенного на границе с Финляндией. Длина реки 26 км (с истоком на 12 км больше), среднее падение 1,15 м/км. По причине несколько меньшего пресного речного стока и большей близости к открытой, наиболее широкой южной части Выборгского залива, солёность вод центральной части

несколько выше, чем в северной, и достигает 1,5–2 ‰ на поверхности и до 3 ‰ вблизи глубоководных участков. Прозрачность вод также возрастает до 2 м по диску Секки [Лаврентьева, 1988].

Южный район Выборгского залива (рис. 1 *III*) располагается к юго-западу от полуострова Киперорт и имеет площадь акватории 120 км^2. Глубины здесь значительно больше, чем в северной и центральной частях залива и достигают 25–30 м. Относительная площадь, занятая островами минимальна, – она снижается до 2 %. Мелководная зона занимает весьма малые площади, литоральная зона выражена только вдоль западного побережья. Вода обладает значительно более высокой по сравнению с верхней и средней частями залива прозрачностью – до 3,5 м по диску Секки. Солёность воды также заметно возрастает. На поверхности она колеблется от 2,3 до 4 ‰, вблизи дна достигает 4,2–4,3 ‰. Эта часть Выборгского залива непосредственно граничит с Финским заливом, что определяет более частую штормовую активность и лучшее перемешивание и водообмен вод, что положительно сказывается на процессах самоочищения данной акватории. Стоит отметить, что именно в данной части Выборгского залива, около устья реки Серьга, по проекту берет свое начало подводный газопровод «Северный поток». Река Серьга (выше Торфяновки – Урпаланйоки), впадающая в Чистопольскую бухту Выборгского залива с западного его берега, вытекает из озера Сури-Урпала на территории Финляндии на уровне 60 м. В южной части расположен комплексный региональный заказник «Берёзовые острова». Кроме того, существует Выборгский комплексный заказник, включающий: Выборгский залив, Ключевую бухту, полуостров Киперорт, группу Березовых островов. Общая его площадь 11,2 тыс. га. Создан в целях охраны ландшафта и растительности островов Выборгского залива, а также животного мира прибрежной зоны Финского и Выборгского заливов. Ряд островов в южной части Выборгского залива будет также включён в состав государственного природного заповедника «Восток Финского залива», создание которого планируется.

Северо-Восточный район (рис. 1 *IV*) располагается между северо-восточным побережьем п-ова Киперорт и Высоцком. Площадь акватории составляет около 30 км^2. Для данного района характерна весьма значительная изрезанность береговой линии, обилие отмелей и небольших островов. Прибрежная зона мелководна и в большинстве участков береговой линии заболочена. Отмечаются плотные массивы водной растительности – как типично водной, так и полупогруженной. По своим гидрологическим особенностям Северо-Восточный район можно подразделить на две зоны: северо-западную и восточную. Северо-западная зона характеризуется большими глубинами (до 10–15 м), близостью с открытому Южному району залива, имеет более интенсивный водообмен, относительно высокую соленость воды (2,5–3,5 ‰) и прозрачность (1,5–2 м). Восточная же зона значительно более мелководна. Сложность подводного рельефа препятствует распространению здесь вод из южной части Выборгского залива,

водообмен затруднен, чем обусловливается пониженные прозрачность воды (0,5–1 м) и соленость (1–1,5 ‰), на фоне значительного речного стока.

Таким образом, мы видим, что северная, северо-восточная, центральная и южная части Выборгского залива весьма неоднородны по своим максимальным глубинам, площадям, занятым островами и прибрежными мелководьями, а также по солёности вод и их прозрачности. В соответствии с этим наблюдаются закономерные изменения в видовом составе и продуктивности водных биоценозов. Рассмотрим их характерные особенности.

Для большинства районов прибрежной зоны Выборгского залива характерно значительное количество видов микроводорослей – фитопланктона. Преобладающей группой в период большей части вегетационного летнего периода являются нитчатые сине-зелёные водоросли. Значительное развитие получили также зелёные хлорококковые водоросли *Scenedessmus acuminatus* и *Scenedessmus quadricauda,* характерные для мелководий. Содержание хлорофилла «а» в планктоне было относительно невысокое и в среднем за вегетационный период составляло 3,0 мкг/л, что объясняется в фитопланктоне сине-зелёных водорослей.

Зоопланктон открытых акваторий Выборгского залива, в соответствии с физико-химическим и термическими условиями, представлен как пресноводными, так и солоновато-водными видами, а также небольшим количеством морских форм, среди которых по биомассе преобладают ракообразные. В августе 2001 г. количественные пробы зоопланктона на станциях в Южном и Центральном районах залива показали, что его численность не превышала 25 тыс. экз./м^3, что, например, в 3 раза меньше максимальных значений для численности зоопланктона в Лужской губе в тот же период [Дроздов, 2006]. В 2004–2005 гг. численность зоопланктона колебалась в зависимости от района от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч экз./м^3, а биомасса – от 0.2 до 3 г/м^3 [12].

В районе порта Высоцк в бухте Большая Пихтовая преобладают пресноводные виды зоопланктона, составляющие 70 % от их общего количества. Доля солоновато-водных – 25 %, а морских – не более 4 %. К числу массовых видов пресноводного тепловодного комплекса принадлежат из группы коловраток (*Rotatoria): Asplanchna priodonta, Conochilus unicornis, Keratella quadrata;* из группы кладоцер (*Cladocera): Daphnia cuculata, Daphnia cristata, Bosmina coregoni longirostris;* из группы копепод *(Copepoda)*: *Heterocope appendiculata, Eurytemora affins* и др.

Морской комплекс зоопланктона представлен эвригалинными видами, т.е. видами, способными жить как при высокой, так и при относительно низкой солёности воды. К этой группе принадлежат из кладоцер *Podon leuckarti* и немногочисленные виды морских каланоид. Они распространены преимущественно в Южном районе Выборгского залива.

Высшая водная растительность в Выборгском заливе, учитывая наличие значительных площадей хорошо прогреваемых мелководий, особенно в северной и центральной его частях, развита достаточно обильно. В основном она

представлена типично озёрными видами. Наибольшую площадь в береговой зоне и вокруг островов занимают заросли камыша озёрного, тростника, кувшинки белой, кубышки жёлтой, рдеста блестящего, рдеста пронзеннолистного. На глубинах около 2,0 м появляются кувшинки, ближе к берегу, на глубинах 1,6–1,5 м – тростники [Лаврентьева, 1988; Экосистема эстуария…, 2008]. Однако в целом распространение высшей водной растительности (макрофитов), нуждающейся в донном субстрате, по вертикали ограничено низкой прозрачностью воды залива, что приводит к быстрому ослаблению светового потока, необходимого растениям, по мере увеличения глубины. Весь перечисленный растительный покров дна является субстратом для икры фитофильных рыб, некоторые из которых обладают промысловой ценностью.

Фауна донных беспозвоночных животных (зообентоса) в Выборгском заливе достаточна разнообразна. Известно около 20 таксономических групп организмов. Для прибрежной части, занятой слабозаиленными песками, характерно присутствие крупных моллюсков. В период 1989–1990 гг. среди моллюсков наблюдалось преобладание брюхоногих (сем. *Gastropodae*), среди которых встречалось 7 видов. В 1997 г. в большем количестве начали встречаться двустворчатые моллюски, принадлежащие к семейству *Unionidae* – перловицы. Кроме моллюсков, в составе зообентоса прибрежной зоны представлены личинки насекомых – хирономиды (5 видов), мелкие черви-олигохеты, а также в большом количестве нематоды, остракоды и водяные клещи. В более глубоководных участках наблюдается обеднение видового состава зообентоса, как правило, за счёт снижения концентрации растворенного кислорода ниже 4 мг/л. В 1997 г. численность и биомасса зообентоса в прибрежной зоне были соответственно в среднем 1610 экз./м^2 и 313,4 г/м^2, в то время как на удалении от берега в зоне глубин от 8 до 10 м в центральной части залива – только 830 экз./ м^2 и 1,06 г/м^2 [Кудерский, 1996; Экосистема эстуария…, 2008].

Донная фауна беспозвоночных бухты Большая Пихтовая, которая расположена в непосредственной близости от порта Высоцк, по данным 1996 г., до начала интенсивных дноуглубительных работ, характеризовалась довольно большим видовым разнообразием. Здесь было обнаружено не менее 16 таксонов, в том числе 7 видов брюхоногих моллюсков, которые составляли до 80 % численности и до 90 % общей биомассы донной фауны. Из других групп донных животных высокую численность имели черви-олигохеты, но биомасса их была мала. Средняя биомасса бентоса на грунтах в районах, не включающих зону зарослей макрофитов, составляла 30 г/м^2. В скоплениях водной растительности, биомасса и видовое разнообразие донной фауны значительно возрастают.

Ихтиофауна Выборгского залива, так же как и другие гидробионты, разнородна по своему происхождению и включает представителей континентального пресноводного комплекса видов и морского солоновато-водного. В Финском заливе и его бассейне обитает около 70 видов рыб. Из них в Выборгском заливе отмечено 28 видов, в том числе в верхней, северной наиболее опреснённой части

залива описано 19 видов рыб, что свидетельствует о значительном снижении видового разнообразия, прежде всего за счёт уменьшения численности представителей морского солоновато-водного комплекса [Дроздов, 2009; Кудерский, 1996].

Результаты траловых уловов рыб в северной части Выборгского залива, выполненные в течение 1976–1993 гг. [Кудерский, 1996; Экосистема эстуария…, 2008], представлены в табл. 1. Основу ихтиофауны составляют виды с постоянством не менее 50 %, т.е. они попадаются не менее чем в 50 % уловов исследовательскими тралами. Это 10 видов рыб, среди которых судак, лещ, корюшка, плотва, окунь, густера, ёрш, щука, чехонь, уклея. Данный состав пород рыб соответствует ядру преобладающего состава рыбного населения пресноводного озера на высоких стадиях эвтрофикации, т.е. при обилии поступающих из вне органических веществ и высокой собственной биологической продуктивности.

Таблица 1

Видовой состав уловов рыб на прибрежном промысле, т

Вид	Выборгский залив				Финский залив	%	% верхней части Выборгского залива в общем улове Финского залива
	Южная часть	%	Северная часть	%			
Салака	452	65,1	4	1,0	869	19,0	0,7
Корюшка	33	4,8	149	37,3	1356	29,7	14,0
Судак	39	5,6	15	3,8	111	2,4	13,5
Лещ	68	9,8	127	31,8	233	5,1	54,5
Щука	1	0,1	3	0,8	12	0,3	25,0
Окунь	55	7,9	15	3,8	219	4,8	6,8
Плотва	32	4,6	62	15,5	229	5,0	27,1
Ёрш	6	0,9	24	6,0	189	4,1	12,7
Колюшка	0	0	0	0	1329	29,0	0
Минога	0	0	0	0	20	0,4	0
Прочие	8	1,2	0	0	9	0,2	0
Всего	694	100	399	100	4576	100	100

В Южном районе Выборгского залива преобладающими по встречаемости видами ихтиофауны являются салака (*Clupea harengus membras L.*) и корюшка (*Osmerus eperlanus L.*). При этом салака ограничена в своём распространении именно южной частью залива, тогда как корюшка, в небольшом количестве, но всё же присутствует и в северной, наиболее опреснённой части залива. В роли доминирующих видов, как по своей численности, так и по биомассе, являются салака, корюшка, лещ, а также густера и судак. В открытой южной части Выборгского залива доминирующим видом признаётся салака, а в центральной и северной частях – лещ (по биомассе) и корюшка (по количеству) [Кудерский, 1982].

Основными благоприятными природными условиями, которые обеспечивают благоприятное естественное воспроизводство и высокую численность таких ценных промысловых видов рыб, как лещ, судак, корюшка, окунь, щука, плотва и др., является наличие большого количества мелководных бухт, с развитой водной растительностью (которая является удобным субстратом для ик-

рометания и кормовой базой), достаточный приток пресной воды, её хорошая прогреваемость и оптимальный гидрохимический режим, позволяющий обитать видам рыб, принадлежащих к различным по происхождению фаунистическим комплексам.

В целом промысловая продуктивность верхней части Выборгского залива, где расположены порты Высоцк и Выборг и где производились и производятся дноуглубительные работы в интересах морехозяйственного комплекса, весьма велика и оценивается в размере от 40 до 50 кг/га, в то время как уловы рыбы с одного гектара в восточной части Финского залива не превышают 40 кг, а в Балтийском море в среднем составляют только 18 кг.

Итак, мы видим, что биоценозы Выборгского залива представляют значительную ценность. Их значение велико как с точки зрения общего видового разнообразия организмов, обитающих в условиях взаимодействия пресных и солоноватых вод, так и с учётом экономической ценности промысловых ресурсов акваторий.

Обобщение материалов указывает на то, что наибольшей биологической ценностью обладают акватории Северного и Северо-Восточного районов залива, но именно они, в то же время являются наиболее уязвимыми к воздействию загрязнений, как химической, так и механической природы. Об этом можно говорить, учитывая их мелководность, наибольшее обилие островов, замедленный в силу этого водообмен с более открытыми южными акваториями. Кроме того, именно на берегу северной части залива расположен крупнейший районный промышленный центр Ленинградской области – г. Выборг с населением более 80 тыс. человек, морские порты Выборг и Высоцк, а также около десятка поселковых поселений (Селезнёво, Харитоново, Соколинское, Подберезье, Большое поле и др.). Таким образом, необходимо признать, что наибольшая антропогенная нагрузка, связанная с морехозяйственным комплексом и бытовыми отходами, приходится именно на Северные районы Выборгского залива, и риск нарушения экологического благополучия в силу природных особенностей акватории наиболее высок.

2. Специфика проведения дноуглубительных работ и их экологические следствия

Геологическое строение и рельеф Выборгского залива накладывает свой отпечаток на характер и последствия проведения здесь дноуглубительных работ при производстве фарватеров и портовых бассейнов.

Во-первых, в северной, самой мелководной части залива, прокладка фарватеров для нужд Выборгского порта предполагает изъятие значительных по объёму и площади плотных гранитных массивов, что возможно только с предварительным их разрыхлением с применением взрывных работ большой мощности. Кроме того, большие массы чёрных илов, которые находятся в этом же районе, при своём попадании в толщу воды в процессе проведения взрывных работ и

дноуглубительных черпаний, в том числе последующих ремонтных черпаний, приведут к резкому возрастанию мутности воды, которая и так здесь весьма велика, по причине значительной изолированности бассейна от остальных акваторий и замедленному водообмену. Это отрицательно сказывается на прозрачности воды и продуцировании первичного органического вещества (т.е. фитопланктона, который вырабатывает кислород и является объектом питания для зоопланктона, важного корма для молоди рыб), с одной стороны, а с другой – массы биогенных веществ низкой степени разложения, поднятые со дна, будут интенсивно разлагаться в приповерхностных водах, что также может привести к снижению концентрации растворённого кислорода ниже ПДК для рыбохозяйственных целей (4 мг/л), что уже негативно скажется на воспроизводстве промысловых рыб, многие нерестилища которых расположены именно на мелководьях северной части залива.

Во-вторых, в районах, прилегающих к акватории порта Высоцк, глубины достигают 10 м, что является достаточным для прохода большинства нефтеналивных судов и контейнеровозов. Однако в самой акватории современного порта Высоцк, а также в бухте Большая Пихтова глубины малы. Поэтому требуется интенсивное дноуглубление для прокладки необходимого фарватера. Но в целом здесь дноуглубительные работы необходимо производить на меньших площадях, чем в северной части залива, что на фоне более интенсивного водообмена несколько снижает риск резкого ухудшения экологической обстановки. Тем не менее следует учитывать и вторичное загрязнение вод при сбросе изъятых грунтов на специальные подводные полигоны-свалки.

В-третьих, наличие крупных валунов в окружении более рыхлых осадочных пород вынуждает использовать более сложные технологические приёмы для проведения дноуглубительных работ, связанные с разведкой грунта и использованием водолазной техники. Крупные валуны могут повредить многочерпаковые дноуглубляющие суда (земснаряды), что требует своевременного обнаружения валунов и их разрыхления или изъятия при помощи специальных донных кранов. Однако данный вид работ обычно носит локальный характер и оказывает меньшее негативное воздействие на среду.

В 2001 г. в акватории порта Высоцк проведены дноуглубительные работы (глубины до 10 м, осадка 9,3 м). Складирование вынутого грунта производилось в районе бухты Большая Пихтовая. После освидетельствования в порт смогут заходить суда дедвейтом до 30 тыс. т, что позволит значительно снизить расходы на перевозку одной тонны угля морем, тем самым повысив привлекательность порта. В 2001 г. построен Комплекс по разгрузке железнодорожных грузовых полувагонов, ввод которого позволит значительно сократить время выгрузки вагонов с углем и увеличить грузооборот порта. Грузооборот порта за 11 месяцев 2005 г. составил 3,214 млн т. В 2005 г. в ООО «Порт Высоцкий» реализована инвестиционная программа, позволившая увеличить мощности по перевалке грузов с 4 до 5 млн т в год. В настоящее время разрабатывается генераль-

ный план развития порта с расчетным грузооборотом к 2010 г. до 15 млн т в год.

Рассмотрим подробнее специфику проведения дноуглубительных работ на примере района порта Высоцк. За основу взяты материалы рабочего проекта дноуглубительных работ на подходном канале и в акватории порта Высоцк, который был осуществлён в период 1996–1997 гг. при его модернизации со складированием грунта в акватории бухты Большая Пихтовая [Проект организации строительства…, 1996].

Для обеспечения безопасности судоходства, с целью развития порта и поддержания имеющихся габаритов подходного канала и акватории порта Высоцк, предусматривается выполнение черпания грунта до проектной отметки минус 10,0 м в Балтийской системе высот (БС). Дноуглубительные работы осуществляются последовательно: сначала – на акватории порта, затем – на выходном канале. Разрабатываемые на акватории порта (причалы № 1–4 и разворотный круг) грунты представлены в основном песками, по своему типу от пылеватых до гравелистых, гравийным грунтом с песчаным заполнителем, включениями гальки и валунов. Общий объём грунта, подлежащего разработке на акватории порта, составил 147 тыс. м^3. Из них 140 тыс. м^3 разрабатывалось многочерпаковым самоходным земснарядом «Северная» с погрузкой грунта в суда-шаланды с малой осадкой, имеющие ёмкость трюма 170 м^3. Разгрузка шаланд с грунтом происходила в районе проектируемых к тому времени новых причалов порта Высоцк (№ 6 и 7) в береговой зоне бухты Большая Пихтовая, с целью последующего образования территорий под причалы. Сброс грунта осуществлялся через специальные днищевые люки шаланд. Границей участка сброса грунта являлась обозначенная особо на месте изобата 2,5 м. Переброска грунта из-под шаланд в сторону берега производилась плавкраном с грузоподъёмностью 15 т. Дополнительную корректировку грунтовых масс около существующих причалов № 1–4 в объёме 7 тыс. м^2 осуществлялась плавкраном. Разработанный грунт доставлялся судном-шаландой в район проектируемых причалов № 6 и 7 для образования территории под эти причалы. Основные параметры технологической схемы производства рассчитаны с использованием «Норм на морские дноуглубительные работы» (РД 31.74.09-86) и «Технической инструкции» по производству морских дноуглубительных работ (РД 31.74.08-85). С учётом производительности самоходного земснаряда общая продолжительность работ по извлечению 140 тыс. м^3 грунта на акватории порта Высоцк составила около 80 сут.

Кроме непосредственно акватории порта Высоцк, дноуглубительные работы производились и на подходе к нему. Необходимо было выполнить черпания грунта на банках (подводных возвышенностях) Ялкаматала и Халликиви. Банка Халликиви располагается в 840 м к западу от молов порта Высоцк, а банка Ялкаматала – в 2040 м к западу. Общий объём грунта, подлежащий разработке на этих банках, составляет 27 тыс. м^3. Глубины акваторий банок изменяются от 3,9 до 13 м (район банки Халликиви) и от 8,2 до 10 м (район банки Ялкаматала).

Разрабатываемые на банках грунты представлены в основном валунно-галечниковыми грунтами, а также гравийным грунтом с песчаным заполнителем. Грунты плотные, реже среднеплотные, водонасыщенные.

Добыча грунта осуществлялась одновременно самоходным земснарядом «Северная» и плавкраном СПК-164 с погрузкой извлекаемого материала на шаланды с ёмкостью трюма 170 м^3. Извлечённый грунт использовался для создания территории под проектируемые к тому времени причалы № 6 и 7. Валуны в объёме 2,7 тыс. м^3 (диаметром более 0,4 м) извлекались плавкраном с погрузкой на шаланды и отвозкой на подводную морскую свалку грунта в районе о. Грузный.

С целью определения воздействия выемки грунтов на акваторию бухты Большая Пихтова вблизи порта Высоцк, где в районах проектируемых к тому времени причалов № 6 и 7 производилась складирование извлекаемых при дноуглублении грунтов, рассчитана средняя частота сбросов:

– при дноуглублении акватории порта и разворотного круга – 16 сбросов/сут.;

– при разработке банок на подходе к порту – 9 сбросов/сут.

Средняя мощность слоя складируемого грунта составила 1,7 м.

Учитывая значительные объёмы разрабатываемых грунтов и высокую ценность района работ с точки зрения рыбохозяйственного значения, возникает необходимость постоянного сопровождения всех работ экологическим мониторингом с целью оценки ситуации и выработки мер по снижению негативного воздействия. Основным видом негативного воздействия на среду при проведении дноуглубительных работ и ремонтных черпаний является образование зон повышенной мутности (концентрация взвеси в воде превышает фоновые значения более чем на 0,25 мг/л). Эти зоны образуются на участках производимых работ и в районах складирования добытого грунта. При работе многочерпакового земснаряда зона повышенной мутности формируется за счёт смыва частиц грунта с черпаков, частиц грунта при их подъёме по черпаковой раме до поверхности воды. При сбросе грунта из грузоотвозных шаланд повышенная мутность воды образуется в результате перехода частиц грунта во взвешенное состояние при прохождении водогрунтовой смеси через толщу воды. При этом количество перешедшего во взвесь грунта зависит от вида грунта, его физико-механических характеристик, стадии уплотнения, а также конструктивных особенностей трюма.

При оценке мощности источников взвеси и параметров образующихся зон повышенной мутности были выполнены расчёты по методикам, применяемым в структурах «Севзапморгидростроя». Параметры размеров зон мутности, образующихся при работе земснаряда «Северная» и плавкрана СПК-164, на акватории порта Высоцк в качестве расчётного типа грунта принимались пески пылеватые, вносящие по своим физико-механическим свойствам наибольший вклад в образование зон повышенной мутности. При работе земснарядов на подход-

ном канале в процессе разработок грунта на банках Ялкаматала и Халликиви в качестве расчётного принимался гравийный грунт. Согласно моделированию, образующиеся зоны повышенной мутности будут иметь следующие расчётные максимальные размеры:

– при работе на акватории земснаряда «Северная» производительностью около 400 $м^3$/ч длина зоны повышенной мутности составит 850 м, ширина до 300 м;

– при работе плавкрана СПК-164 на акватории длина зоны повышенной мутности составит 250 м при ширине до 80 м;

– при работе земснаряда «Северная» на банках длина зоны повышенной мутности составит 1600 м при ширине до 600 м;

– при сбросе из судов-шаланд пылеватых песков на участке в районе проектируемых (ныне построенных) причалов № 6 и 7 длина зоны повышенной мутности составит 650 м при максимальной ширине до 400 м.

Общая повреждаемая площадь поверхности дна акватории порта Высоцк составила 14 га, а подходного канала на банках – тоже 14 га. Площадь акватории, занимаемая складируемым из шаланд грунтом, под новые, ныне построенные причалы № 6 и 7, составила около 10 га.

Таким образом, мы видим, что модернизация и расширение порта Высоцк, которые начали осуществляться в 1996–1997 гг., потребовала изъятия и перераспределения весьма значительных объёмов грунта на площади в общей сложности около 40 га. При этом формировались протяжённые зоны повышенной мутности, длительность существования которых зависела от режима волнения, скорости течений и интенсивности перемешивания водных масс и слоёв. Повышенная мутность снижает проникновение света в толщу воды, тем самым угнетается фотосинтез водорослей и затем снижается продукция зоопланктона, который служит незаменимой пищей для молоди рыб. Кроме того, мельчайшие органно-минеральные частицы, в большом количестве рассеянные в толще воды, приводят к повреждению определённых органов питания и движения особей зоопланктона механическим образом, что также приводит к массовой его гибели.

В соответствии с природоохранным законодательством при проектировании строительства объектов или производстве работ на акваториях в пойме или в прибрежной зоне рыбохозяйственных водоёмов должны предусматриваться мероприятия по максимальному предотвращению неблагоприятного воздействия на условия обитания и размножения рыб. Если эти мероприятия не позволяют полностью избежать отрицательного влияния на экологические условия в водоёмах и обеспечить сохранение и воспроизводство в них рыбных запасов, то производиться оценка наносимого рыбным запасам ущерба и разработка компенсационных мероприятий.

Непредотвращаемый ущерб рыбному населению оценивается по двум главным составляющим. Во-первых, за счёт временного снижения рыбопродук-

тивности в результате разрушения донных сообществ и образования зон повышенной мутности. Во-вторых, за счёт снижения воспроизводительного потенциала популяций рыб в результате безвозвратной потери кормовых угодий.

Расчёт ущерба рыбным запасам, причиняемого гибелью зообентоса или зоопланктона, т.е. при сокращении кормовой базы рыб, определяется по формуле (1) [Проект организации строительства…, 1996]:

$$N = n\,S\,P/B \cdot 1/K2 \cdot K3/100 \cdot 10^{-6}\,, \qquad (1)$$

где n – средняя биомасса кормовых организмов, г/м^2 или г/м^3; S – площадь кормовых угодий, м^2 или объём воды, м^3, подвергнутые отрицательному воздействию; P/B – коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов; $K2$ – кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов в рыбопродукцию; $K3$ – показатель предельно возможного использования кормовой базы рыбой, в % 10^{-6} – множитель для перевода граммов в тонны.

Общая площадь отчуждаемой поверхности дна с безвозвратной потерей кормовых угодий формируется при складировании грунта на акватории бухты Большая Пихтовая и составляет 10 га. Средняя биомасса зообентоса здесь составляла на 1996 г. 30 г/м^2. Коэффициенты P/B, $K2$ и $K3$ соответственно равны 3,5; 8 и 60. Таким образом, величина ущерба рыбным запасам от безвозвратной потери кормовых угодий составит в натуральном выражении:

$$N = 30{,}0 \cdot 3{,}5 \cdot 1/8 \cdot 60/10 \cdot 100\,000 \cdot 10^{-6} = 0{,}8 \text{ т.}$$

Площадь дноуглубления на акватории бухты по проекту составила 14 га и временный ущерб от потери зообентоса (донных беспозвоночных животных) оказывается равен:

$$N = 30{,}0 \cdot 3{,}5 \cdot 1/8 \cdot 60/100 \cdot 140\,000 \cdot 10^{-6} = 1{,}1 \text{ т.}$$

Общая площадь повреждаемой при производстве ремонтного черпания поверхности дна банок на подходном канале к порту Высоцк составила 14 га. Временный ущерб рыбным запасам от потери зообентоса на банках оказывается равен:

$$N = 30{,}0 \cdot 3.5 \cdot 1/8 \cdot 60/100 \cdot 140\,000 \cdot 10^{-6} = 1{,}1 \text{ т.}$$

Временный ущерб рыбному хозяйству, в связи с образованием повышенной зоны мутности при работе многочерпакового земснаряда на акватории бухты, рассчитан, исходя из единовременной гибели зоопланктона в период проведения работ на площади 255 000 м^2 при средней глубине 9,5 м, т.е. в объёме воды, равном 2 422 500 м^3.

Средняя биомасса зоопланктона в бухте составляет 2,0 г/м^3. Коэффициенты P/B, $K2$ и $K3$ соответственно равны 10, 15 и 60. Временная потеря рыбопродукции от гибели зоопланктона составила:

$$N = 2{,}0 \cdot 20 \cdot 1/15 \cdot 60/100 \cdot 2\,422\,500 \cdot 10^{-6} = 3{,}9 \text{ т.}$$

При сбросе из шаланд добытого грунта для образования территории единовременная гибель зоопланктона произойдёт на площади 260 000 м^2 при средней глубине здесь 2,0 м, т.е. в объёме воды равном 520 000 м^3. Временная потеря рыбопродукции составила:

$$N = 2{,}0 \cdot 20 \cdot 1/15 \cdot 60/100 \cdot 520\,000 \cdot 10^{-6} = 0{,}8 \text{ т.}$$

При работе многочерпакового земснаряда на банках подходного канала единовременная гибель зоопланктона произойдёт на площади 960 000 м^2 при средней глубине здесь 10 м, т.е. в объёме воды, равном 9 600 000 м^3. В связи с этим, ущерб рыбным запасам от потери кормовой базы составит:

$$N = 2{,}0 \cdot 20 \cdot 1/15 \cdot 60/100 \cdot 960\,000 \cdot 10^{-6} = 15{,}4 \text{ т.}$$

Таким образом, общий ущерб рыбным запасам в результате ремонтного черпания акватории бухты Большая Пихтовая и подходного канала с образованием территории составил, согласно расчётам, 23,1 т. Это составляет примерно 6 % от общего среднего годового вылова рыбы в Выборгском заливе. Эта величина, учитывая высокую ценность обитающих в водах залива рыб, представляется достаточно значительной, но не способна оказать определяющего негативного влияния на рыболовство в регионе. Тем более необходимо учитывать, что это потери восполнимые – через несколько лет донная фауна на повреждённых участках дна восстановиться и по-прежнему будет являться кормовой базой для промысловых рыб в районе Высоцка, воспроизводство которых сможет возрасти.

В целом акватории северной части Выборгского залива, где осуществляются дноуглубительные работы, имеют особо важное значение в жизненном цикле массовых промысловых видов рыб. Здесь проходит основной их миграционный путь, соединяющий солоновато-водные южные районы залива с его внутренней северной частью. В весенний период, в конце апреля и в мае, на нерестилища, расположенные у входа в Сайменский канал, идёт корюшка, затем в мае и июне – более теплолюбивые виды рыб: лещ, судак, плотва. В июне пассивно плавающие на поверхности личинки рыб сносятся постепенно в открытую, солоновато-водную часть Выборгского залива, а поздним летом и осенью взрослые рыбы – производители – совершают обратную миграцию в районы основного их местообитания, в основном также смещаясь несколько к югу.

Производимые в процессе дноуглубления шумы, исходящие от работающего многочерпакового земснаряда, способны оказывать негативное воздействие на поведенческую реакцию рыб, идущих на нерест. Часть пассивно скатывающихся личинок рыб может попасть в локальную зону мутности, что может вызвать их массовую гибель от удушья в результате повреждения жаберных лепестков частицами грунта и резкого снижения содержания растворённого кислорода, который интенсивно расходуется на окисление поднявшихся со дна органических частиц. Во избежание возникновения более значительного ущерба для рыб в период с мая по июнь целесообразно дноуглубительные работы не проводить.

Заключение

Рассмотрение и анализ особенностей физико-географических и биоценотических условий, а также хозяйственной деятельности в регионе Выборгского залива позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. Экологические условия акваторий Выборгского залива весьма различаются по своим характеристикам в силу естественных причин и прежде всего за счёт неоднородностей рельефа дна и побережья. Сложность очертаний береговой линии и подводного рельефа приводит к замедлению водообмена водных масс залива между собой и формированию ряда полузамкнутых бассейнов со своими уникальными гидрологическими условиями. Это прежде всего бассейны северной, центральной и южной части залива, а также многочисленные бухты.

2. Наибольшей природоохранной ценностью обладают акватории северной части Выборгского залива. Именно здесь располагаются крупнейшие нерестилища массовых промысловых рыб. Данный район представляет собой к тому же курортную территорию, здесь расположены замечательные памятники истории и архитектуры (г. Выборг, ландшафтный парк Монрепо). Однако именно северная часть залива является наиболее восприимчивой к воздействию разного рода загрязнителей в силу своей повышенной изолированности от других крупных акваторий залива и мелководности. Кроме того, здесь располагаются крупнейшие промышленные центры и городские поселения.

3. На акваториях Выборгского залива осуществляется многоплановая хозяйственная деятельность, связанная с дноуглублением. Это и прокладка трассы для международного газопровода, добыча железо-марганцевых конкреций, а также крупномасштабные работы по углублению фарватеров портов Выборгского и Высоцк. Сосредоточение столь комплексного антропогенного воздействия на относительно небольшой территории, осуществляемого гидромеханическими способами, практически не имеет аналогов в Балтийском регионе.

4. Следует признать, что экологическое состояние акватории северной части Выборгского залива является наиболее уязвимым при проведении дноуглубительных работ. Повышенному риску возникновения здесь неблагоприятных последствий, связанных с гибелью или снижением параметров воспроизводства различных гидробионтов, способствуют также местные природные особенности, и прежде всего замедленный водообмен, наибольшее обилие островов, позволяющие пятну мутности длительное время существовать и оказывать комплексное негативное воздействие на организмы, причём на значительной акватории.

5. Дноуглубительные работы на акваториях центральной и северной частей Выборгского залива, учитывая их природные особенности, в большей степени способствующие самоочищению, могут сопровождаться меньшими экологическими рисками. Наибольшая экологическая устойчивость и способность к самовосстановлению свойственна для Южного района Выборгского залива, наименьшая – для Северного района и для восточной зоны Северо-Восточного района.

6. В процессе дноуглубительных работ в районе порта Высоцк был нанесён определённый ущерб рыбному хозяйству региона. Повреждены нерестилища и снижена кормовая база некоторых рыб. Однако в целом ущерб по биомассе рыб составил только 6 % от суммарных годовых уловов в заливе. Учитывая способность биоресурсов к восстановлению, данный ущерб нельзя признать серьёзным и невосполнимым.

Литература

1. *Балушкина Е.В., Финогенова Н.П., Слепухина Т.Д.* Изменение характеристик зообентоса в системе Ладога–р. Нева–Невская губа–восточная часть Финского залива. – В кн.: Экологическое состояние водоёмов и водотоков бассейна р. Невы. – СПб.: Научный центр РАН, 1996, с. 91–130.
2. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Колебания климата и донные рыбы Балтийского моря. – Монография. – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 249 с.
3. *Дроздов В.В., Рязанов Г.С.* Экологические особенности акватории северной части Выборгского залива // Тез. докл. Итоговой сессии учёного совета РГГМУ. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006, с. 117–119.
4. Железомарганцевые конкреции Финского залива. Новая перспективная марганцеворудная база России // В сб. Состояние марганцеворудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем // Труды Второй Всеросс. научно-технич. конференции. – Красноярск, 2001, 112–122.
5. *Кудерский Л.А.* Количественный учёт донной фауны восточной части Финского залива Балтийского моря // Сб. науч. трудов ГОСНИОРХ «Биология водоёмов системы Ладожское озеро–Невская губа», вып. 192. – Л., 1982, с. 78–93.
6. *Кудерский Л.А.* Состояние рыбных ресурсов Ладожского озера, р. Невы и восточной части Финского залива. – В кн.: Экологическое состояние водоёмов и водотоков бассейна р. Невы. – СПб.: Научный центр РАН, 1996, с. 131–154.
7. *Лаврентьева Г.М., Мещерякова С.В. Мицкевич О.И.* Гидробиологическая характеристика Выборгского залива, Пролива Бьеркезунд, бухты Батарейная и Лужской губы (восточная часть Финского залива). – В кн.: Водная система Нева–Ладога–Финский залив в условиях антропогенного воздействия. – СПб.: Наука, 1988.
8. ЛенморНИИпроект. Проект организации строительства. Ремонтное черпание акваторий Выборг–Высоцк. – СПб., 1996.
9. Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы // Под ред. А.Ф. Алимова, С.М. Голубкова. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008.

А.Б. Степанова, Г.Ф. Шарафутдинова, Е.Ю. Воякина

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ОЗЕР о. ВАЛААМ

A.B. Stepanova, G.F. Sharafutdinova, E.Ju. Voyakina

HYDROCHEMICAL FEATURES OF SMALL LAKES OF THE ISLAND OF VALAAM

В работе представлены диапазоны значений основных гидрохимических и гидрофизических параметров 10 озер Валаамского архипелага. Особое внимание было уделено вертикальной изменчивости значений выбранных показателей. Проведен сравнительный анализ озер о. Валаам и материковой Карелии по ряду гидрохимических параметров.

Ключевые слова: малые островные озера, гидрохимические и гидрофизические параметры, классификация малых озер Карелии.

The values ranges of the basic hydrochemical and hydrophysical parameters of 10 lakes on the Valaam archipelago are presented in this work. The special attention has been paid to vertical variability of values of the chosen indexes. The comparative analysis of the lakes at Valaam Island and in the mainland Karelia by several hydrochemical parameters was conducted located on the island of Valaam and the republic of Karelia, by using a number of hydrochemical ртроarameters, is carried out.

Key words: small insular lakes, hydrochemical and hydrophysical parameters, classification of small Karelian lakes.

Химический состав воды озер в значительной степени определяется характером водосбора, его геоморфологическим строением, интенсивностью водообмена и антропогенным воздействием. Важно отметить, что влияние качественных и количественных характеристик водосбора на скорость протекания процесса лимногенеза наиболее ощутимо именно в малых озерах. Для водоемов подобного типа показано существенное межгодовое варьирование большинства параметров, связанное в основном с изменением объема и состава стока, под действием метеорологических условий в конкретные годы.

Изучение озер, расположенных в пределах одного ландшафта, дает возможность уделить внимание изменчивости параметров в небольшом географическом масштабе. Анализ различий между микроландшафтами и ландшафтными фациями позволяет дать оценку взаимодействий в системе «озеро–водосбор» в более крупном масштабе.

Озерность Карелии достигает 12,5 % – это одно из наибольших значений, характерных для Северо-Запада России. В Карелии насчитывается около 61 тыс. озер, преимущественно – малых, из них около 1,3 тыс. озер площадью от 1 до 10 км^2.

На территории Валаамского архипелага, общей площадью 36 км^2, располагается 11 внутренних озер, десять из которых можно отнести к малым лесным (рис. 1). Самое крупное из них – оз. Лещевое – является проточным и связано

с Ладожским озером и с внутренним озером Сисьярви. Остальные озера имеют искусственные дренажные канавы и относятся к водоемам с переменным стоком, уровень воды в них превышает уровень Ладожского озера примерно на 3 м. Важно отметить, что исследованные островные озера не подвержены прямому антропогенному воздействию.

Рис. 1. Карта-схема расположения малых озер. о. Валаам (Ладожское озеро).
Коневские озера – оз. Игуменское, оз. Черное, оз. Оссиево

Остров Валаам представляет собой интрузию, прорывающую рифейские отложения [Амантов, 1993; Панова, 2001]. Габбро-диабаз является здесь главной разновидностью пород. От господствующих кислых пород Балтийского щита (гранитов, гранитогнейсов) габбро-диабазы отличаются низким содержанием кремнезема (около 52 %), значительным содержанием оксидов Ca, Mg, P, Ti и высоким содержанием оксидов Fe (Fe_2O_3 составляет 13,97 % на прокаленную навеску) [Матинян, 1999; Фролова, 1994].

Большая часть территории архипелага (80 %) покрыта лесами, преобладающие породы – ель и сосна, было выделено более 25 типов леса и 14 типов почв [Кучко, 1983]. Рельеф острова относится к тектоническому сильно расчле-

ненному типу и представляет собой чередование возвышенностей и депрессий, в которых и расположены котловины озер. вследствие чего было отмечено большое разнообразие микроландшафтов и выделено около 400 типов ландшафтных фаций.

Описание элементов гидрохимического режима ранее приведены авторами в работах по планктону и бентосу [в том числе, Воякина, 2006, 2006а, 2006б, 2007; Куличенко, 2005; Степанова, 1998] и оптическим свойствам воды в озерах Валаамского архипелага [Степанова, 2008; Шарафутдинова, 2007]. В данной работе обобщены все имеющиеся данные по основным гидрохимическим и гидрофизическим параметрам.

Основной целью работы был сравнительный анализ малых озер о. Валаам с озерами материковой Карелии по гидрохимическим и гидрофизическим параметрам. В рамках этой работы решались следующие задачи: 1) провести исследования основных лимнологических параметров в десяти озерах Валаамского архипелага; 2) сопоставить озера о. Валаам между собой по комплексу исследованных параметров; 3) дать оценку лимнологических особенностей исследованных водоемов с использованием гидрохимической классификации озер Карелии.

Материалы и методы

В исследованных озерах пробы для определения базовых лимнологических показателей отбирались послойно, на каждой станции через 0,5–1,0 м, в период с мая по сентябрь 2002–2008 гг. ежемесячно. Станции отбора проб располагались в точках с максимальной глубиной в водоемах. В регулярном режиме отбирались пробы на содержание органического вещества (перманганатная окисляемость), кислорода, углекислого газа. Камеральная обработка на гидрохимические параметры осуществлялась по стандартным методикам [Алекин, 1973]. Измерения электропроводности проводились с использованием кондуктометра СС-401 (ELMETRON). Для определения цветности использовались данные по оптической плотности воды, отобранные в период с 2006 по 2008 г. В работу также были включены данные по первичной продукции за период с 2003 по 2007 г. [Воякина, 2007]. Данные о содержании биогенных элементов представлены за период 1998–2001, 2008 гг.

Результаты и обсуждение

Малые озера о. Валаам: элементы гидрохимического режима

Большинство из исследованных озер несущественно различаются по абсолютным значениям площади зеркала, средней и максимальной глубинам, исключением являются озера Игуменское, Черное и Лещевое (табл. 1). Даже незначительные различия морфометрических показателей приводят к существенным различиям в температурном режиме. Это хорошо прослеживается с помощью показателя $\Delta t_{VI\text{-}VII}$, который рассчитывается как разность температур в поверхностном и придонном горизонтах в каждой точке отбора проб в период максимального прогрева воды с июня по июль.

Таблица 1

Диапазоны основных лимнологических параметров озер о. Валаам, 1997–2008 гг.

Название озера	F, га	h_{max}, м	$F_{вод}$, км^2	Δt_{VI-VII} *, °C	SD, м	$pH_{общ}$	Цветность, °Pt-Co		Fe, мг/л		ПО, мгО/л	
							пов	дно	пов	дно	пов	дно
Лещевое	23,8	6,5	2,1	5,5-7,8	0,8-1,7	6,3-8,5	40-96	42-720	0,04-2,08	0,16-8,70	16,0-47,6	16,2-49,2
Игуменское	2,05	8	0,3	15,0-21,0	1,0-2,8	6,1-7,7	45-90	110-600	0,07-0,78	0,87-6,96	11,8-28,8	16,6-47,3
Черное	0,8	8,8	0,1	14,5-21,6	1,0-2,6	5,6-7,4	40-106	180-900	0,04-1,04	0,46-12,51	8,0-34,3	21,0-60,5
Оссиево	0,3	2,5	0,1	5,6-13,3	0,8-1,3	5,6-7,3	50-160	60-220	0,04-1,60	0,28-5,12	7,0-30,8	11,9-35,3
Никоновское	1,1	4	0,2	12,3-19,2	0,2-1,2	5,8-7,6	56-260	40-360	0,09-3,20	0,97-9,60	20,1-52,1	23,8-60,0
Крестовое	1,41	3,1	0,1	6,5-12,9	0,8-1,7	6,1-8,7	70-120	80-340	0,05-1,57	0,05-5,44	16,5-53,5	18,2-55,8
Германовское	1,01	3,6	0,5	10,0-19,1	0,4-1,4	4,0-5,9	180-296	200-400	0,06-1,56	0,31-1,92	17,4-50,2	19,8-60,2
Симняховское	1,9	2,1	0,4	5,3-13,9	0,3-1,2	5,7-6,7	70-172	78-180	0,21-1,12	0,17-1,84	24,3-45,4	23,4-48,0
Антоньевское	2,76	3,5	0,8	7,1-12,0	1,0-1,7	5,7-7,5	72-180	100-252	0,14-0,56	0,30-1,84	14,6-58,2	15,5-68,6
Витальевское	0,51	1,9	0,5	3,2-11,0	0,4-1,1	6,2-7,4	120-252	124-360	0,59-4,00	0,88-4,88	13,8-44,0	13,8-50,1
Общее	0,3-23,8	1,9-8,8	0,1-2,1	3,2-21,6	0,2-2,8	4,0-8,7	40-296	40-900	0,04-4,00	0,05-12,51	7,0-58,2	11,9-68,6

Примечание. *Δt_{VI-VII} – разность температур поверхностных и придонных горизонтов на каждой точке отбора проб в период максимального прогрева воды (июнь–июль).

Озера с наибольшей глубиной – Игуменское и Черное – характеризуются выраженной термической стратификацией в течение всего периода открытой воды, что связано не только с формой котловины и отсутствием ветрового перемешивания, но также с составом и содержанием органических и неорганических веществ в воде. В этих водоемах в период с июня по сентябрь придонная температура остается практически постоянной (от 4,0 до 4,2 °С), объем гиполимниона в них не менее 30 % от общего объема водной массы.

В большинстве остальных водоемов выраженная термическая стратификация формируется в основном с середины июня по середину августа. Из них наибольшее значение $\Delta t_{VI\text{-}VII}$ характерно для озер Германовское и Никоновское. В других водоемах значения этого показателя изменяются в диапазоне от 3,2 до 13,9 °С. Наибольшее по площади, а также достаточно глубокое (6,5 м) Лещевое озеро характеризуется наименьшими значениями этого показателя.

Как видно из табл. 1, для группы исследованных озер выявлены широкие диапазоны для целого ряда гидрохимических параметров: pH (4,0–8,7), перманганатная окисляемость (7,0–68,6 мгО/л), цветность (40–900° Pt-Co), содержание углекислого газа (0,9–228,0 мг/л), общего железа (0,04–12,51 мг/л) и электропроводности (26,0–328,0 мСм/см). В целом для озер характерна относительно высокая электропроводность, около 70 % значений изменяются в пределах от 26,0 до 56,2 мСм/см (μS/cm).

На основе имеющихся данных установлены широкие диапазоны значений биогенных элементов. Наибольший разброс экстремальных значений за весь период наблюдения был выявлен для аммонийного азота и минерального фосфора – от 0,50 до 4,78 мг/л и от 0 до 0,44 мг/л соответственно. Значения фосфатов в поверхностных горизонтах варьировали от 0 до 0,07 мг/л, в придонных горизонтах – от 0,01 до 0,44 мг/л. Значения аммонийного азота изменялись в пределах 0,50–2,12 и 0,55–4,78 мг/л соответственно для поверхностных и придонных горизонтов озер. Широкие диапазоны значений исследованных параметров обусловлены как вертикальной неоднородностью, так и межгодовой изменчивостью. Последняя в основном связана различными метеорологическими условиями в конкретные годы исследований.

Для оз. Игуменское показаны наибольшие вертикальные различия значений гидрохимических и гидрофизических параметров. Вертикальные распределения стандартизированных значений параметров – pH, цветность (Pt-Co), содержание органического вещества (ПО), общего железа и содержание углекислого газа (CO_2) – представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, наименьшие вертикальные различия характерны для активной реакции среды и содержания органического вещества (в 1,2 и 1,4 раза соответственно); наибольшие вертикальные различия отмечены для содержания углекислого газа – в 48 раз; различия по содержанию общего железа и значений цветности – в 14 и в 6 раз соответственно. Скорее всего, существенные вертикальные различия значений параметров связаны с накоплением различных ве-

ществ и газов в придонных горизонтах озера вследствие выраженной термической стратификации. По классификации И.С. Захаренкова оз. Игуменское можно отнести к «термически весьма глубокому» типу [Захаренков, 1964; Абросов, 1971]. Значительный по объему гиполимнион (средняя температура воды – 4 °С) формируется вследствие специфической формы котловины (близкая к конусу) и отсутствия ветрового перемешивания. Подобная вертикальная неоднородность по ряду исследованных параметров была отмечена и для оз. Черное.

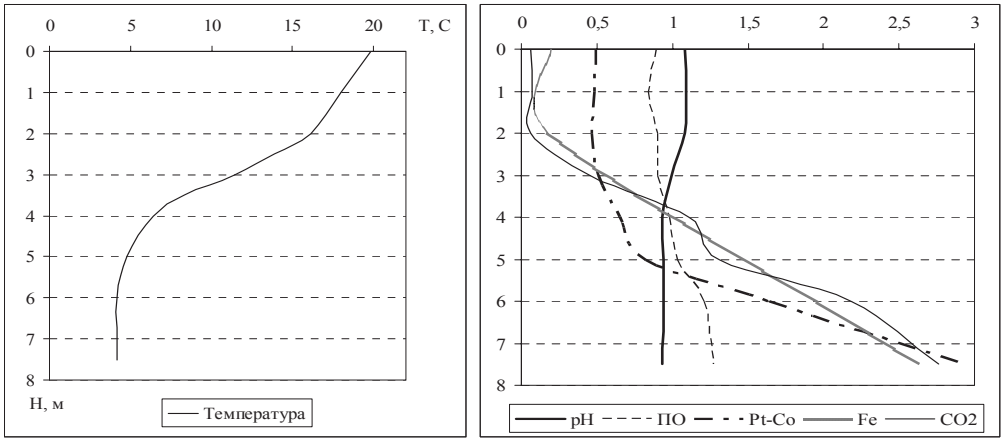


Рис. 2. Вертикальное распределение значений параметров, оз. Игуменское, август 2008 г. Значения параметров на правом графике стандартизированы ($X_{ст} = X_i/X_{ср}$) [Вайновский, 1992]

Два вышеупомянутых озера сильно отличаются от остальных исследованных озер. Для них также характерно существенное накопление биогенных элементов. Например, значения аммонийного азота в придонных горизонтах оз. Черное достигали 4,78 мг/л.

Для озер о. Валаам была составлена таблица, в которой приводятся отношения значений параметров в придонных и поверхностных горизонтах. Отметим группу озер, водная толща каждого из которых достаточно однородна по значениям выбранных параметров (табл. 2), – это оз. Германовское, оз. Симняховское и оз. Витальевское. Два последних озера являются наиболее мелководными, прогрев воды в них происходит быстро и равномерно. В оз. Германовское (средняя глубина 3,5 м), несмотря на наличие выраженной термической стратификации, существенных различий между поверхностными и придонными горизонтами также не наблюдалось. Вероятно, это связанно с положением озера в центре массива верхового болота. Сфагнум, доминирующий в этом лесном сообществе, препятствует поступлению биогенных элементов из основных пород [Rask, 1985]. Заболоченная территория в данном случае служит своеобраз-

ным буфером, не допуская чрезмерных поступлений различных веществ с водосбора и, как следствие, резких изменений значений параметров в столбе воды.

Таблица 2

Отношение значений в придонных и поверхностных горизонтах для ряда исследованных параметров 10 озер о. Валаам, 2006–2008 гг.

Название озера	pH	ПО	Цветность	Fe	CO_2
Лещевое	1	1	2	2	7
Игуменское	1	2	4	11	16
Черное	1	2	5	11	11
Оссиево	1	1	1	4	4
Никоновское	1	1	1	3	6
Крестовое	1	1	2	2	5
Антоньевское	1	1	1	2	4
Германовское	1	1	1	2	2
Симняховское	1	1	1	2	3
Витальевское	1	1	1	1	3

Примечание. Серым цветом отмечены ячейки, где превышение значений больше чем в 3 раза.

Отметим, что различия значений параметров, зафиксированных в придонных и поверхностных горизонтах озер Игуменское и Черное, иногда достигают несколько порядков. Как уже отмечалось выше, это связано с относительно большой глубиной и устойчивой температурной стратификацией в озерах.

В остальных озерах – Лещевое, Оссиево, Крестовое, Никоновское и Антоньевское – существенные различия были зафиксированы лишь для содержания углекислого газа (в 4–7 раз), значения которого в придонных горизонтах достигали 115 мг/л.

Сравнение с озерами материковой Карелии

Химический состав поверхностных вод значительной части Карелии формируется в зоне залегания коренных пород Балтийского кристаллического щита, хорошо промытых четвертичных отложений и в условиях высокой заболоченности. Поэтому воды озер, как правило, маломинерализованные, высокоцветные, с высоким содержанием железа, невысоким – фосфора и минеральных форм азота.

Для сравнения малых озер выбрана гидрохимическая классификация на основе данных по химическому составу воды более чем 200 озер Карелии [Лозовик, 1991]. В эту классификацию были включены следующие показатели: цветность воды, перманганатная (ПО) и бихроматная (БО) окисляемость, содержание железа, pH и минерализация воды ($\Sigma_и$). Малые озера Карелии по совокупности химических параметров были отнесены к десяти различным типам (табл. 3).

В основу типизации были положены значения параметров в поверхностных горизонтах озер архипелага, усредненные за период с 2003 по 2008 г.

Таблица 3

Гидрохимические типы малых озер Карелии [Лозовик, 1991]

№ типа	Типы озер	pH	Цветность, град	ПО, мгО/л	БО, мгО/л	Fe, мг/л	Кол-во исслед. озер	Озера Валаамского архипелага
1	Ацидные ультраолигогумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_и$ <10 мг/л	<5,5	< 10	< 3	< 4	< 0,1	5	
2	Ацидные полигумозные мезополижелезистые с величиной $\sum_и$ 10-15 мг/л	<5,5	> 140	> 25	> 40	> 0,7	27+1	Германовское
3	Слабокислые мезогумозные мезожелезистые с величиной $\sum_и$ 10-20 мг/л	5,5-6,5	35-80	8-15	15-30	0,1-0,4	48	
4	Слабокислые мезополигумозные железистые с величиной $\sum_и$ 10-20 мг/л	5,5-6,5	80-160	15-35	30-50	> 0,3	27+1	Симняховское
5	Нейтральные олигогумозные олигожелезистые с величиной $\sum_и$ 15-25 мг/л	6,5-7,5	20-35	4-8	7-15	0,1-0,3	20	
6	Нейтральные мезогумозные мезожелезистые с величиной $\sum_и$ 15-25 мг/л	6,5-7,5	35-80	8-15	15-30	0,3-0,7	27	
6а	Нейтральные мезогумозные мезожелезистые с повышенным содержанием ОВ	6,5-7,5	35-80	15-30	30-50	0,3-0,7	2	Игуменское, Черное
7	Нейтральные мезополигумозные мезополижелезистые с величиной $\sum_и$ 15-25 мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	> 0,7	12+3	Лещевое, Оссиево, Крестовое
7а	Нейтральные мезополигумозные мезожелезистые с величиной $\sum_и$ 15-25 мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	0,3-0,7	1	Антоньевское
7б	Нейтральные мезополигумозные полижелезистые с величиной $\sum_и$ 15-25 мг/л	6,5-7,5	80-160	15-30	30-50	> 1,5	1	Витальевское
8	Нейтральные олигогумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_и$ 25-40 мг/л	6,5-7,5	20-35	4-8	7-15	< 0,1	15	
9	Нейтральные мезогумозные олигожелезистые с величиной $\sum_и$ 25-40 мг/л	6,5-7,5	35-80	8-15	15-30	0,1-0,3	18	
10	Слабощелочные ультраолигогумозные ультраолигожелезистые с величиной $\sum_и$ >40 мг/л	>7,5	< 20	< 4	< 7	< 0,1	9	
11	Нейтральные полигумозные мезополижелезистые с повышенным содержанием ОВ	6,5-7,5	>160	> 30	> 50	> 0,7	1	Никоновское

Примечание. Серым цветом отмечены новые типы, выделенные для озер о. Валаам. В основу положены средние значения параметров в поверхностных горизонтах озер 2003–2008 гг. Серым цветом отмечены новые типы, выделенные для о. Валаам. В основу положены средние значения параметров в поверхностных горизонтах озер, 2003–2008 гг.

В результате только 5 озер о. Валаам оказались типичными для региона Карелия и были отнесены к 3 различным лимнологическим типам предложенной классификации. Для других 5 озер были предложены 3 новых подтипа и 1 новый тип.

Для озер Игуменское и Черное новый подтип (6а) был выделен благодаря повышенному содержанию органического вещества в воде. Невысокая цветность, относительно высокая прозрачность, а также повышенное содержание биогенных элементов создают благоприятные условия для образования органического вещества в этих озерах. Однако значительный вклад в общее содержание вносит именно аллохтонное органическое вещество.

Для оз. Антоньевское из-за низкого содержания железа (0,4 мг/л) был выделен новый мезожелезистый подтип (7а).

Озеро Витальевское, наоборот, отличалось большими значениями содержания оксидов железа в воде (до 4,0 мг/л), что связано с его местоположением. Для этого озера был предложен новый полижелезистый подтип (7б).

Для оз. Никоновское был предложен новый 11-й тип. Этот водоем, частью водосбора которого являются низовые болота и сельскохозяйственные угодья, отличается повышенным содержанием органического вещества и высокими значениями цветности.

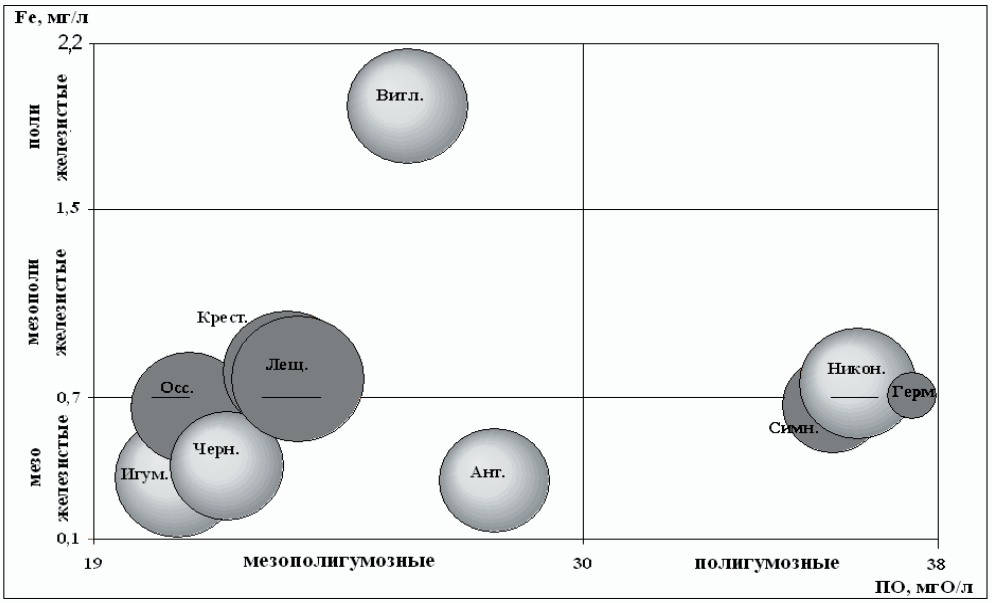
Из табл. 3 видно, что большинство (около 50 %) исследованных озер Карелии было отнесено ко второму, третьему и четвертому гидрохимическим типам, в которые попали лишь два (озера Германовское и Симняховское) исследованных на Валааме водоема.

Специфические особенности малых озер о. Валаам

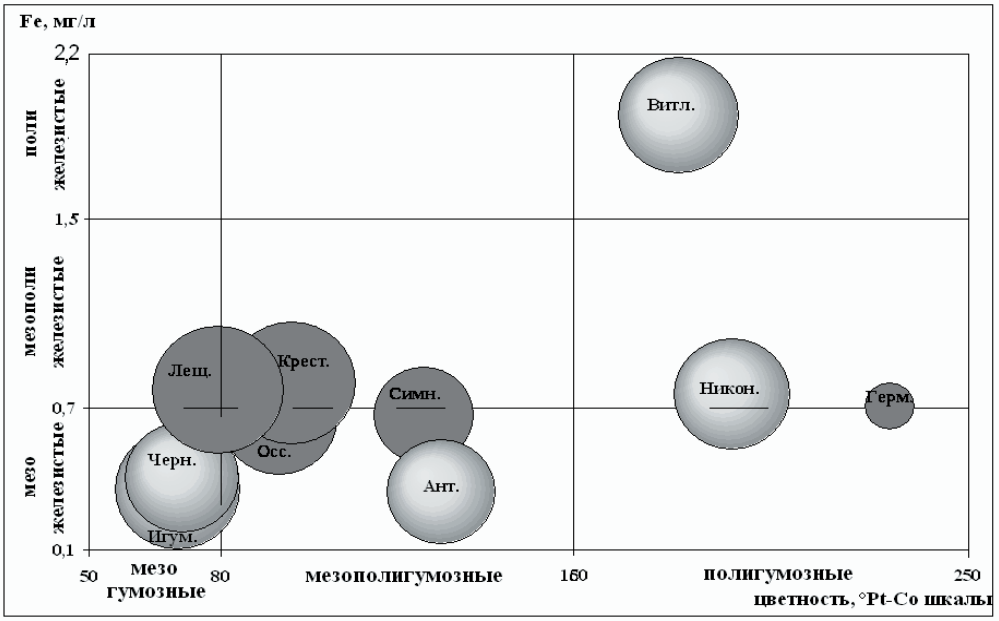
Кроме существенных отличий от водоемов Карелии, отметим «несхожесть» озер Валаама между собой – десять исследованных озер были отнесены к 5 различным типам.

Интересно было сопоставить разделение озер по гидрохимическому режиму с их распределением по трофическому статусу. На Валаамском архипелаге, как и на территории Фенноскандии, преобладают мезофотобатные озера [Китаев, 1984]. В этих озерах фотическая зона занимает большую часть водной массы. В озерах Черное и Никоновское в связи с их большими глубинами формируется и афотическая зона. Единственный водоем, который был отнесен к мезополифотобатным, – зарастающее оз. Витальевское.

Как показали исследования, для всех озер о. Валаам большую роль в биотических процессах играет аллохтонное органическое вещество (A/R<1). Для исследованных озер были рассчитаны индексы трофического состояния (ИТС) по средним за сезон значениям $A_{опт}$ [Бульон, 1987, 1993]. Большинство озер относятся к мезотрофным водоемам с чертами эвтрофии (ИТС 61 – 68). К мезотрофным были отнесены озера с заболоченными водосборами – Германовское, Антоньевское, Симняховское [Воякина, 2007].



а



б

Рис. 3. Ориентация 10 озер Валаамского архипелага в пространстве трех признаков, данные за июнь–сентябрь 2006–2008 гг.
Темно-серые шары – озера типичные для РК; светло-серые шары – озера нетипичные для РК

На рис. 3, *а* представлена ординация десяти озер в пространстве трех параметров: содержание железа, содержание органического вещества (методом перманганатной окисляемости) и активная реакция среды (размер шара). Большинство исследованных озер (7 водоемов) относятся к нейтральному мезополигумозному типу, отличаясь лишь по характеру содержания железа в воде: мезожелезистые, мезополижелезистые и полижелезистые водоемы. Другие 3 водоема относятся к полигумозному мезожелезистому типу. Однако эта группа озер неоднородна по значениям pH, в нее входят: ацидный (Германовское), слабокислый (Симняховское) и нейтральный (Никоновское) водоемы.

Наибольшее значение содержания органического вещества в поверхностных горизонтах было отмечено в оз. Германовское, которое отличается достаточно большим значением удельного водосбора (70,0), а наименьшее – в оз. Игуменское, где значение удельного водосбора одно из наименьших (14,6) среди озер исследованной группы.

Высокое содержание оксидов железа в оз. Витальевское связано с его местоположением. В северо-восточной части острова главной разновидностью пород является ферро-габбро-диабаз. Эта порода отличается более высоким содержанием оксидов железа и чрезвычайно легко подвергается выветриванию и разрушению.

Для сопоставления на рис. 3, *б* приведено подобное распределение озер, но для определения гумозности вместо перманганатной окисляемости была выбрана цветность воды. Положение некоторых озер существенно изменилось. Отметим, что по значениям цветности для исследованных озер был обозначен еще один тип – мезогумозный, куда были отнесены: оз. Черное, оз. Игуменское и оз. Лещевое. В этом признаковом пространстве оз. Витальевское было отнесено к полигумозным водоемам, а оз. Симняховское – к мезополигумозным.

Различие двух ординаций озер (рис. 3) не случайно. Взаимосвязь между содержанием органического вещества и оптическими свойствами воды очевидна, однако она сложна и неоднозначна. Это объясняется тем, что напрямую оптические свойства крупных органических молекул, которые составляют основную массу органического вещества в озерах гумидной зоны, не связанны с их молекулярной массой, как подтверждается целым рядом исследований [например, Levis, 1997]. Выделение оптических свойств воды в самостоятельный параметр, возможно, усложнит процедуру классификации водоемов, но, очевидно, даст возможность для всесторонней оценки гидрохимического режима озер. Характеристика оптических свойств воды является важным лимнологическим параметром, который позволяет лучше изучить источник поступления (природу) аллохтонного органического вещества и особенности его трансформации в воде озер.

Заключение

В результате типизации 10 озер о. Валаам были отнесены к 5 различным лимнологическим типам. Только пять из исследованных водоемов оказались типичными для региона Карелия. В ходе сопоставления было установлено, что озера о. Валаам отличаются повышенным содержанием органического вещества, железа и минеральных форм фосфора, а также высокой минерализацией.

Для исследованных внутренних озер Валаамского архипелага были выявлены широкие диапазоны рассмотренных лимнологических параметров. Это связано с существенной вертикальной изменчивостью значений, а также обусловлено межгодовой вариабельностью параметров. Для рассмотренных водоемов характерно разнообразие сочетаний значений параметров.

В отсутствии прямого антропогенного воздействия нетипично высокие значения ряда параметров можно рассматривать как фоновые. Это связано с магматическим происхождением подстилающих пород и спецификой формирующихся на них железисто-метаморфических почв, а также с развитием склоновых процессов в условиях сильно расчлененного рельефа о. Валаам. За счет рыхлой структуры почвы повышаются ее аккумулятивные свойства и происходит существенное накопление органических и минеральных соединений. В первую очередь это относится к оксидам железа и фосфора, которые легко переходят в почвенный раствор и со стоком поступают в водоемы [Матинян, 1999; Фролова, 1994].

Подробный анализ показал, что озера Игуменское и Черное существенно отличаются как от озер Карелии, так и от других озер о. Валаам. Описанный редкий тип характеризует выраженная термическая стратификация, следствием которой является кислородная дихотомия, накопление органических и неорганических соединений в гиполимнионе, в результате чего формируются существенные вертикальные градиенты параметров; различия значений достигают нескольких порядков.

По результатам нашего исследования, большинство озер Валаамского архипелага можно отнести к нейтральному мезополигумозному или мезополижелезистому типам. По показателям трофности основная часть исследованных озер относится к мезотрофным с чертами эвтрофии и мезотрофным водоемам.

Литература

1. *Абросов В.Н.* Термическая классификация смешанных озер умеренных широт // Природа и хозяйственное использование озер. – Псков, 1971, с. 3–5
2. *Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. – Л., 1973. – 210 с.
3. *Амантов А.В.* Этапы геологического развития Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. РГО РАН. – СПб., 1993, с. 5–15.

4. *Бульон В.В.* Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. – Л., 1987, с. 45–51.
5. *Бульон В.В.* Внеклеточная продукция фитопланктона и ее потребление гетеротрофными организмами // Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб., 1993, с. 41–46.
6. *Вайновский П.А., Малинин В.Н.* Методы обработки и анализа океанологической информации (многомерный анализ). – СПб., 1992. – 96 с.
7. *Воякина Е.Ю.* Структура фитопланктона в полигумозных озерах о. Валаам с различной степенью ацидности (1997–2005 гг.). – В сб.: Сб. науч. работ молодых специалистов и аспирантов межрегиональной конференции «Актуальные проблемы экологической безопасности и устойчивого развития регионов». – СПб., 2006, с. 50–59.
8. *Воякина Е.Ю.* Вертикальная структура фитопланктона в двух малых лесных озерах Валаамского архипелага. – В сб.: Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. – М.: КМК, 2006а, с. 115–125.
9. *Воякина Е.Ю.* Фитопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. – СПб., 2007. – 22 с.
10. *Воякина Е.Ю., Степанова А.Б.* Структура сообществ фито- и зоопланктона в полигумозных озерах различной степени ацидности, 1997–2005 гг. (о. Валаам). – Тезисы межд. конф. «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». – СПб., 2006б, с. 33.
11. *Захаренков И.С.* О лимнологической классификации озер Белоруссии. – Биологические основы рыбного хозяйства внутренних вод Прибалтики. – Минск, 1964, с. 175–176.
12. *Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М., 1984. – 207 с.
13. *Куличенко А.Ю.* Сообщество макрозообентоса малых озер в естественных условиях (Ладожское озеро, о. Валаам). – Мат. научной конференции «Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей. 5–7декабря 2005. – СПб., 2005, с. 361–364.
14. *Кучко А.А.* Леса Валаама и их значение. – Природные комплексы Валаама и воздействие на них рекреации. – Петрозаводск, 1983, с. 5–33.
15. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии / *Лозовик П.А., Сабылина А.В., Коваленко В.Н., Басов М.И., Харкевич Н.С.* – Матер. Всесоюз. совещ. «Антропогенные изменения экосистем малых озер». – Л., 1991, с. 34–37.
16. *Матинян Н.Н., Урусевская И.С.* Почвы острова Валаам. – СПб., 1999, с. 1–31.
17. *Панова Е.Г., Гавриленко ВВ.* Геология и техногенез – факторы развития геохимического ландшафта о. Валаам // Историческая геология и эволюционная география. МК ГШВ. 2001, с. 64–74.
18. *Степанова А.Б.* Зоопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. – СПб., 1998. – 19 с.
19. *Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф.* Оптическая плотность как важный параметр для мониторинга малых озер на водосборной площади Финского залива. – Сб. тезисов IX Междунар. экологического форума "День Балтийского моря". – СПб.: Диалог, 2008, с. 508–510.
20. *Фролова Т.Ю., Урусевская И.С., Грачева Р.Г.* Гумус естественных и окультуренных почв острова Валаам // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение, 1994, № 3.
21. *Шарафутдинова Г.Ф.* Оптические свойства воды малых озер о. Валаам. – Сб. докл. молодых ученых на сессии ученого совета, январь 2007. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007, с. 55–58.
22. *Levis A. Molot & Peter J. Dillon.* Colour-mass balances and color-dissolved organic carbon relationship in lakes and streams in central Ontatio // Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1997, vol. 54, p. 2789–2795.
23. Rask M., Arvola L., Salonen K. A note on the acidity in 54 small lakes in Evo forest area, southern Finland // Aqua Fennica, 1985, vol. 15, № 1, p. 41–46.

Е.Г. Дурягина

МОНИТОРИНГ НЕФТЕРАЗЛИВОВ

E.G. Duryagina

MONITORING OF OIL SPILLS

Растущая добыча нефти, глобализация нефтеперевозок и ввод в эксплуатацию новых добывающих провинций с каждым годом неизбежно приводят к увеличению количества нефтеразливов и огромным финансовым потерям. Загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами – наиболее яркий пример глобального антропогенного воздействия. При разработке мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти используется методика оценки интегральной экологической чувствительности. Встает задача создания систем мониторинга районов наибольшего риска нефтеразливов как гаранта поддержания необходимого уровня экологической безопасности.

Ключевые слова: добыча нефти, нефтепродукты, загрязнение Мирового океана, чувствительность, уязвимость, экологический мониторинг.

Year by year growing oil extraction, globalization of oil transportation and development of new oil provinces result in increase of number of oil spills and huge financial losses. Pollution of the ocean by oil and oily products is the most dramatic example of global anthropogenic influence. During implementation of measures for oil spill elimination a methodology of integral ecology sensitivity is in use. A task of creation of monitoring system over areas with high risk of oil pollution as guarantor of necessary level of ecology safety becomes actual.

Key words: oil extraction, oily products, ocean pollution, sensitivity, vulnerability, ecological monitoring.

Растущая добыча нефти, глобализация нефтеперевозок и ввод в эксплуатацию новых добывающих провинций с каждым годом неизбежно приводят к увеличению количества нефтеразливов и огромным финансовыми и природным потерям. С утечками нефти неизбежно сопряжены любые операции по ее добыче и транспортировке, хотя масштабы утечек очень различны и могут быть как сравнительно незначительными и легко аккумулироваться экосистемами, так и катастрофическими, уничтожая биоту целых морских районов.

Физическое свойство нефти покрывать тонкой пленкой огромные акватории даже при сравнительно небольших разливах приводит к тому, что даже незначительная утечка оборачивается крайне негативными последствиями. Спустя всего 10 мин после разлива 1 т нефти она покрывает область радиусом более 50 м, формируя так называемый нефтяной слик. Крупнейшие нефтеразливы прошлого века, такие, как крушение танкера Эксон Валдиз, Эрика, Престиж, необратимо преобразовали экосистемы в региональном масштабе, и ущерб от них оценивается в миллиарды долларов. Зависимость мировой экономики от нефтеуглеводородов и соответственно необходимость транспортировки их от

поставщика до потребителя заставили мировое сообщество и отдельные страны искать эффективные пути обеспечения экологической безопасности перевозок.

Россия является одной из ведущих энергетических держав мира. В июне 2006 г. страна вышла на первое в мире место по добыче нефти, обогнав Саудовскую Аравию. Значительная часть добываемой нефти идет на экспорт. Так, в 2005 г. 250 млн т из добытых 455 млн т было отправлено иностранным потребителям, причем 149 млн т морским путем. В период с 2002 по 2005 г. увеличение этого объема составляло в среднем по 60 млн т в год. Выход индустрии на шельф, растущее производство и высокие цены на энергоносители привели к усилению роли морских перевозок и созданию новых транспортных узлов. За последние пять лет произошла переориентация внешнего экспорта с традиционного трубопроводного транспорта на морской, и в дальнейшем эта тенденция будет только усиливаться. Одновременно с ростом морских перевозок колоссально возросли экологические и социальные риски.

Добыча нефти, особенно на шельфе, ее морские перевозки непрерывно растут. Растет и количество нефтепродуктов, попадающих в море. Общее количество нефти и нефтепродуктов, попадающих ежегодно в Мировой океан, по оценкам разных исследователей составляет от 6 до 12 млн т. Источники загрязнения распределены следующим образом: морской транспорт (промывные воды, докование, утечки, погрузочно-разгрузочные работы и т.д.) – 35 %; промышленные стоки – 13 %; морская добыча нефти – 1,5 %; речной сток – 32 %; поступления из атмосферы – 10 %; природные источники поступления нефти – около 10 % [Иванов, 2008]. Анализ космических снимков земной поверхности показывает, что области глобального нефтяного загрязнения совпадают с трассами морских перевозок и устьями крупнейших рек. К крупномасштабным зонам загрязнения относятся не только шельф, но и некоторые районы открытой части моря. Средняя загрязненность Балтийского моря превышает ПДК в несколько раз.

Загрязнения Мирового океана нефтью и нефтепродуктами – наиболее яркий пример глобального антропогенного воздействия. В настоящее время в Мировом океане практически нет такой области, где не ощущалось бы нефтяное загрязнение. Как известно, нефтяное загрязнение наносит наибольший урон окружающей среде. Особое беспокойство вызывает нефтяное загрязнение закрытых внутренних морей, к которым относится Балтийское море.

Увеличение объема перевозок морским флотом различных стран к 2015 г., по данным финского научно-исследовательского института VTT, представлено в табл. 1.

Как известно, Международная Морская Организация (IMO) присвоила Балтийскому морю статус «Особо чувствительного морского региона». Финский залив является «Зоной приоритетной защиты», а его восточная часть с малыми глубинами, многочисленными отмелями и островами считается наиболее трудным и опасным районом для плавания.

В настоящее время на берегах Финского залива создаются новые нефтепорты как в российском секторе Балтики, так и в соседних странах. Введены в строй современные нефтеналивные терминалы в Приморске и Высоцке, увеличились контейнерные мощности Санкт-Петербурга, появились новые специализированные комплексы для сухих грузов в Усть-Луге. Это влечет за собой появление новых линий судоходства, увеличение риска аварий и еще большую нагрузку на экологические системы моря и прибрежных районов. Роль Финского залива как транспортного коридора, особенно в последнее время, значительно возросла, он становится ареной активного экономического освоения. Строительство крупных портовых комплексов, работы по прокладке Северо-Европейского газопровода, увеличение грузопотоков привели к существенному увеличению опасности разливов и загрязнения нефтепродуктами акватории Финского залива.

Таблица 1

Увеличение объема перевозок морским флотом в Балтийском море к 2015 г.

Страна	Общий объем погрузо-разгрузочных работ (млн т)	Объем погрузо-разгрузочных работ в бассейне Балтики (млн т)
Швеция (2 %)	200,5	108,0
Финляндия (2%)	125,0	80,0
Россия (7 %)	100,0	75,0
Эстония (4 %)	48,5	19,5
Латвия (2 %)	60,5	24,0
Литва (4 %)	20,5	10,5
Польша (4%)	90,0	36,0
Германия (2 %)	76,5	95,5
Дания (2 %)	138,0	55,5
Норвегия (2%)	132,5	56,0
Общий	972,0	540,0

Интенсивность судоходства в восточной части Финского залива является одной из самых высоких в Мировом океане. Серьезная проблема Финского залива – транспортировка нефтепродуктов. Большую опасность для водной экосистемы создают нефть и нефтепродукты, попадающие в океан вследствие аварийных ситуаций с нефтетанкерами и судами всех типов.

Финский залив является уникальным природным объектом: с одной стороны – это морской залив, часть Балтийского моря, хотя и обособленный, с другой – эта обособленность создает значительную замкнутость акватории и приближает Финский залив к типу внутриконтинентальных водоемов. В особенности это воздействие проявляется в прибрежных зонах (литорали), находящихся в зоне контакта воды и суши.

В заливе находится множество островов, крупнейшие из которых Березовые острова, Кокор, Нерва, Сескар, архипелаг Большой Фискар, Котлин, Рондо, Соммерс, Гогланд и Мощный. Северо-восточная часть залива образует Выборгский залив, юго-восточная часть делится на Нарвский залив и «губы» – Лужскую и Копорскую. Часть залива между островом Котлин и дельтой реки Невы называют Невской губой.

В Российской Федерации выделены 35 особо охраняемых районов (международные Рамсарские территории). В прибрежной части Финского залива располагаются 15 особо охраняемых природных территорий (ООПТ): 11 из них – действующие, 4 – находятся на различных стадиях утверждения.

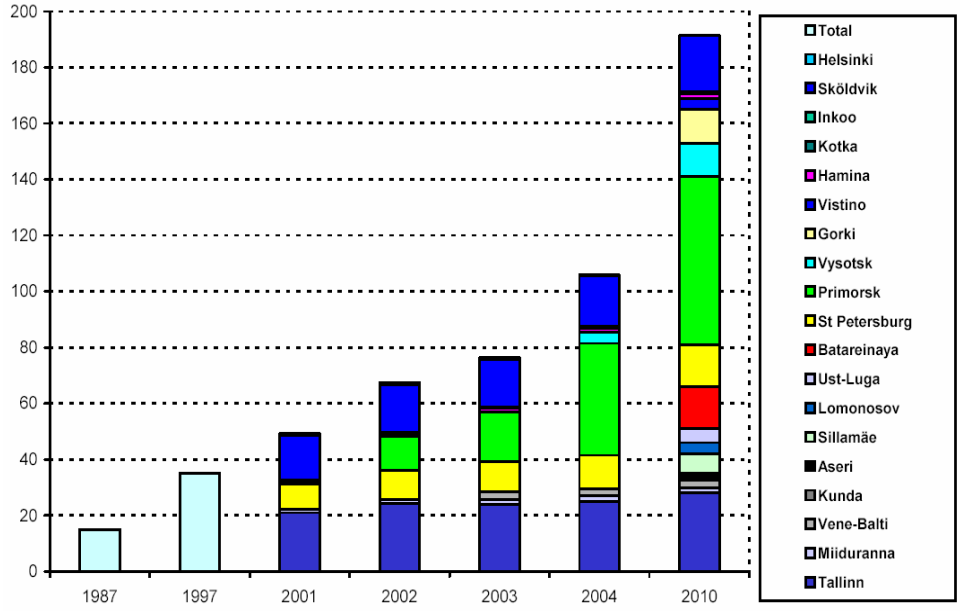


Рис. 1. Транспорт нефти в Финском заливе, 2004 г. (VTT, Publications 547, 2004)

Для южного берега Финского залива характерно сочетание крупных антропогенных объектов – агрокомплексов, атомной электростанции, сети портов и уникальных природных и исторических уголков – орнитологический заказник Лебяжий, Кургальский, Гостилицкий и Котельский заказники.

Наибольшая площадь морских акваторий из действующих ООПТ приходится на Региональные комплексные заказники «Березовые острова» (общая площадь 55 295 га, из которых акватория залива занимает 47 020 га) и «Кургальский» (общая площадь 59 950 га, площадь залива – 38 400 га).

При оценке чувствительности морских побережий к различным видам антропогенного воздействия, при разработке мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти (ЛРН) используется методика оценки интегральной экологической чувствительности [Погребов, 2003, 2003а, 2003б, 2005].

Она определяется специалистами ЗАО «ЭКОПРОЕКТ»:

– чувствительностью отдельных групп растений и животных к конкретным видам воздействия;

– способностью восстанавливать исходное обилие и структуру популяций, а также всю совокупность внутрисистемных связей после осуществления воздействия.

Потенциальная экологическая уязвимость акватории к антропогенному воздействию определяется ими 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 изменяется во времени и пространстве в соответствии с естественной динамикой состава, обилия и структуры биологических сообществ акватории.

Оценка современного экологического состояния морских и прибрежных биотопов Российской части Финского залива выполнена ими по классификации Хельсинской комиссии (HELKOM, 1998). Это предполагает оценку степени угрозы, под которой находится тот или иной биотоп, с определением его восстановительных способностей, а также классификацию видов антропогенных воздействий и самих биотопов.

Потенциальная уязвимость различных участков акватории и побережья моря к операциям, связанным с разработкой шельфовых месторождений или строительством портов, определяется различной частотой встречаемости в них организмов и их чувствительностью к возможным воздействиям (табл. 2). Отнесение видов к той или ной категории уязвимости базируется на результатах разработок, перечисленных выше. Эта балльная оценка учитывает не только чувствительность отдельных организмов к различным воздействиям, но и тяжесть последствий этих воздействий для популяций с учетом потенциала восстановления численности. Потенциал восстановления численности обусловлен особенностями экологии видов и репродуктивными возможностями, свойственными разным группам растений и животных.

Относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается исходя из накопленных знаний (табл. 2) и корректируется специалистами с учетом местной специфики.

Итоги работы представляют собой серию из нескольких (чаще всего – четырех) картосхем, на которых интегральная уязвимость региона охарактеризована пятью градациями в цветовой гамме – от красного – «очень высокая уязвимость», через желтый цвет – «средняя уязвимость», до зеленого – «незначительная уязвимость». Такого рода картосхемы построены строго формализованным образом, высоко наглядны, одновременно характеризуют уязвимость в пространстве и времени и не требуют специальных знаний для своей интерпретации. На сегодняшний день карты-схемы интегральной уязвимости построены по Российской части Балтийского моря (включая пролив Бьеркузенд и Лужскую губу в масштабе 1: 100 000).

Таблица 2

Относительная уязвимость различных компонентов морских экосистем к основным видам антропогенных воздействий в прибрежье [Погребов, Пузаченко, 2003б]

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости				
	Геофизическая сейсмосъемка	Увеличение количества взвеси в воде	Дампинг 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
Китообразные	3	1	1	4	2
Ластоногие	3	2	1	5	3

Примечание. «1» – наименьшая чувствительность, «5» – наибольшая чувствительность.

Наиболее уязвимыми районам Финского залива в отношении ожидаемых или возможных воздействий, являются:

– мелководные акватории побережья (в зависимости от сезона они ограничены глубинами, лежащими от уреза воды до глубины 30 или 50 м);

– участки залива, прилегающие к архипелагам или отдельным островам (наиболее чувствительно прибрежье островов Кургальского рифа, острова открытой части Финского залива);

– вершины заливов второго порядка (в первую очередь – Лужской, Копорской и, в меньшей мере, Нарвской губы и Выборгского залива).

Наиболее уязвимые сезоны (в порядке уменьшения экологической чувствительности) ранжированы следующим образом: лето $>$ весна $\geq$ осень $>$ зима.

Ниже приведены карты уязвимости пролива Бъеркезунд к эмульгированной нефти (рис. 2, 3). Весной и осенью к эмульгированной нефти наиболее чувствительны «южные ворота» пролива, к которым летом добавляется район мелководий вдоль северного берега. Оценка уязвимости к нефтяной пленке аналогична таковой к эмульгированной нефти, но зона уязвимости в летнее время расширяется за счет потенциального воздействия на гнездящихся птиц.

Напряженное судоходство в мелководном, изобилующем подводными опасностями, районе Финского залива сопряжено с повышенной вероятностью морских инцидентов. Развитие аварий часто происходит по сценарию с наиболее тяжелыми последствиями, что связано с запаздыванием реагирования, неадекватностью принимаемых решений, неоперативностью управления и неподготовленностью ликвидационных служб. Принимая во внимание современные тенденции добычи и транспортировки нефти, встает задача создания систем

мониторинга районов наибольшего риска нефтеразливов, как гаранта поддержания необходимого уровня экологической безопасности в местах интенсивного техногенного воздействия (рис. 4).

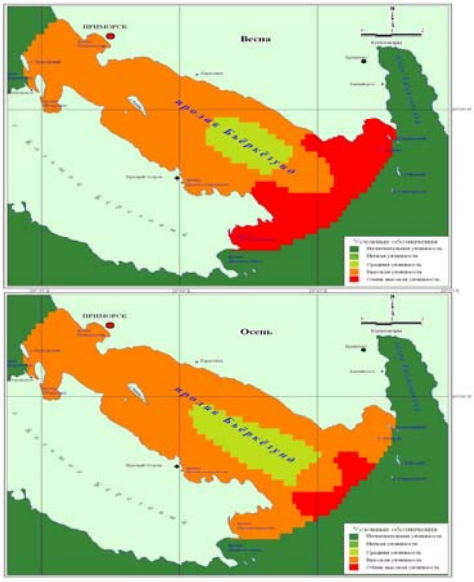


Рис. 2. Уязвимость к эмульгированной нефти весной и осенью

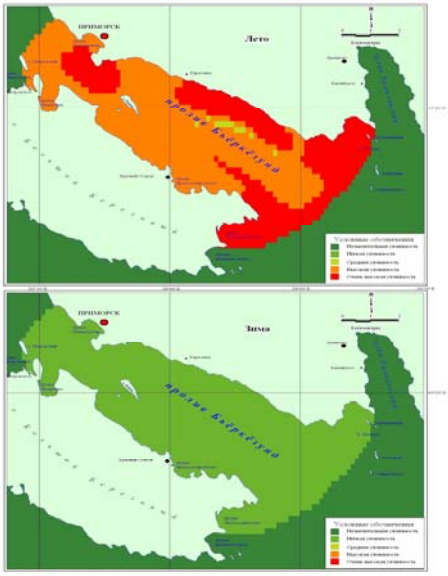


Рис. 3. Уязвимость к эмульгированной нефти летом и зимой

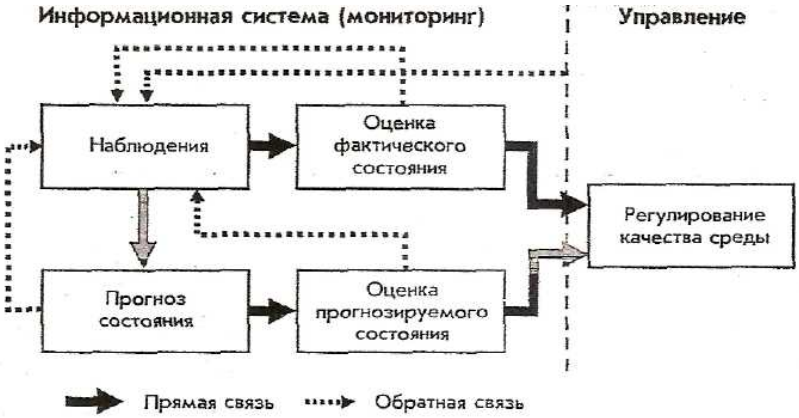


Рис. 4. Составляющие мониторинга

Главной целью экомониторинга является обеспечение государственных систем управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью окружающей среды своевременной и достоверной экологической информацией, необходимой для формирования экологически обоснованных

управленческих решений по стабилизации экологической обстановки. Он включает следующие направления деятельности: наблюдения за факторами воздействия и состояния среды; оценку фактического состояния среды; прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

Главными задачами экомониторинга являются:

– наблюдение за источниками и факторами природного и антропогенного воздействия;

– наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней явлениями под влиянием антропогенной деятельности и оценка прогнозируемого состояния природной среды;

– оценка текущего состояния природной среды;

– прогноз изменения состояния природной среды под влиянием антропогенной деятельности и оценка прогнозируемого состояния природной среды;

– разработка на основе экологической информации управленческих решений, направленных на корректировку негативных изменений экологического состояния окружающей среды, возникающих в результате антропогенной деятельности.

Основными задачами экологического мониторинга морской среды является создание системы наблюдений за источниками и факторами антропогенных воздействий и биологическими эффектами в морских экосистемах, а также определение допустимой нагрузки на экосистемы (разрабатываемой на основе оценки, анализа и прогноза состояния морской среды).

На территории Российской Федерации экологический мониторинг является основной задачей деятельности Российской гидрометеорологической службы (Росгидромет). Кроме того, задачи экологического мониторинга решают организации, имеющие лицензии на осуществление данной деятельности на территории РФ.

Известно, что быстрота и правильность принятия решений зависит от полноты и оперативности получаемой информации и адекватности принятых управленческих решений. Это в полной мере относится и к случаям разлива нефти.

В настоящее время в решении экологических задач в морских акваториях и прибрежных зонах нашли широкое применение фотографические, телевизионные, спектральные, лидарные, тепловые, радиолакационные и другие виды наблюдений, которые производятся с наземных, судовых, аэрокосмических и других носителей. По охвату обслуживаемой территории и объему решаемых задач перечисленные системы мониторинга можно разбить на глобальные, региональные и объектовые (локальные).

Системы глобального мониторинга, предназначенные для решения экологических и других задач, главным образом используют аэрокосмические носители. Использование аэрокосмических методов диагностики находит широкое применение в решении задач, определяющих состояние Мирового океана. На

сегодняшней день созданы и успешно функционируют программы космического мониторинга наиболее загруженных транспортных районов.

Не менее важную роль играют системы регионального мониторинга морей, заливов и других акваторий регионального значения с целью изучения состояния, тематического картографирования, своевременности принимаемых решений.

Наряду с использованием глобальных и региональных систем мониторинга акваторий и прибрежных зон при решении экологических проблем большое значение придается системам объектового мониторинга. Пространственно-временные масштабы действия систем объектового мониторинга (зона ответственности) существенно меньше региональных, но они имеют большое значение, когда необходима оперативная информация об экологической обстановке при аварийных ситуациях в процессах загрузки и транспортировки нефтепродуктов и других экологически опасных веществ.

Структурная схема источников информации для системы экологического мониторинга морской акватории представлена на рис. 5.

Рис. 5. Структурная схема источников информации

В структуру комплексной системы экологического мониторинга акватории входят активные и пассивные дистанционные системы наблюдения за акваторией. Дистанционные методы зондирования с точки зрения оперативности и осуществления контроля больших акваторий представляют наибольший интерес. К ним относятся пассивные методы зондирования (радиотеплолокационные и телевизионные) и активные методы зондирования.

Наряду с пассивными способами приема теплового излучения представляют интерес и методы активного зондирования водной поверхности. К таким подсистемам относятся:

– оптические (лидары);

– радиолокационные (РЛС);

– гидроакустические.

Кроме того, классификация мониторинга основана и на других подходах.

Его можно осуществлять относительно источников воздействия на окружающую среду.

В современных системах мониторинга для обнаружения нефтяных загрязнений моря предпринимаются попытки полной автоматизации процесса обработки изображений и идентификации нефтяных разливов. Такие системы совмещают в себе аппаратные средства, программное обеспечение, дистанционные технологии, геоинформационные системы (ГИС) и подсистемы связи, что позволяет улучшить обнаружение, контроль нефтяных загрязнений и своевременное принятие решений о способе реагирования.

Литература

1. *Иванов В.А., Показеев К.В., Шейдер А.А.* Основы океанологии. – СПб.-М.-Краснодар: Лань, 2008. – 573 с.
2. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов Финского залива к аварийным разливам нефти / *Погребов В.Б., Дмитриев Н.В., Кийко О.А., Чернова Н.В., Резвый С.П., Сагитов Р.А., Веревкин М.В.* // 6-я Междунар. конференция и выставка AQUATERRA. – СПб., 2003, с. 122–126.
3. *Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю.* Экологическая уязвимость Баренцева, Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей к операциям по добыче и транспортировке нефти: сравнительный анализ // Освоение шельфа Арктических морей. Труды международной конференции RAO-03. – СПб., 2003а, с. 389–393.
4. *Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю.* Интегральная чувствительность морских экосистем к нефтяному загрязнению // Мат. V научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». – СПб., 2003б, с. 5–22.
5. *Погребов В.Б., Дмитриев Н.В., Кийко О.А., Резвый С.П., Сагитов Р.А., Чернова Н.В.* Экологическая уязвимость биоресурсов Лужской губы к строительству портовых сооружений и аварийным разливам нефти // Междунар. экологический форум «День Балтийского моря»: Тез. докл. – СПб.: Изд. дом «Герда», 2005, с. 82–84.
6. *Погребов В.Б., Сагитов Р.А., Дмитриев Н.В.* Природоохранный атлас Российской части Финского залива. – СПб.: Тускарора, 2006.

ЭКОНОМИКА

Л.А. Хандожко, А.Г. Тимофеева

ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТИ ПРОГНОЗОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ МОСКВЫ

L.A. Handozhko, A.G. Timofeyeva

THE SCORE OF SUCCESS AND ECONOMIC VALUE OF AIR TEMPERATURE FORECASTS FOR MOSCOW THERMAL PRODUCTION

Исследована успешность многофазовых прогнозов температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы на основе современных критериев адекватности. Рассмотрены основные аспекты погодозависимости теплоэнергетики, выделены условия оптимизации, дана численная оценка экономической полезности прогнозов температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы.

Ключевые слова: успешность прогнозов, метеорологические потери, теплоэнергетика Москвы.

The success score of multiphase air temperature forecasts for Moscow thermal production is studied based on the modern criteria of adequacy. Principal aspects of weather dependence for the thermal production industry are considered, the optimization conditions are identified, a numeric estimate for economic value of air temperature forecasts for Moscow thermal production is presented.

Key words: success score, meteorological losses, Moscow thermal production.

Введение

Одной из основных проблем современной экономики выступают проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности, которые носят международный характер. Главным мотивом энергосбережения должно быть сохранение окружающей естественной среды и даже ее улучшение, а также защита интересов будущих поколений в сохранении традиционных природных источников энергии, но уже как сырья для химической и медицинской промышленности. Возможности энергосбережения в перспективе представляются неисчерпаемыми, поскольку оно охватывает новые страны и сферы деятельности и одновременно подпитывается новыми научно-техническими достижениями и инструментами воздействия на поведение потребителей.

Так, принятая в 2003 г. энергетическая стратегия России [Распоряжение Правительства РФ, 2003] предусматривает получить к 2020 г. 2/3 прироста про-

дукции за счет энергосбережения, при этом наиболее весомыми выступают структурные изменения. Теплоэнергетика как специфическая отрасль экономики и особая инфраструктура хозяйственной деятельности полностью зависит от погодо-климатического фактора. Климат в целом и его реализация в погодных условиях существенно определяют различия погодозависимости теплоэнергетики. Учет таких информационных природных ресурсов, как прогноз температуры воздуха и скорости ветра занимает в теплоэнергетике ведущую роль. Адаптация под ожидаемую погоду, в сущности, и определяет эффективность теплоисточника с точки зрения ресурсопотребления, а значит, и ресурсосбережения. Внедрение научных методов использования метеорологической информации, прежде всего прогнозов погоды, позволяет значительно снизить издержки в экономике страны за счет влияния погодных условий. Наряду с климатической информацией метеорологические прогнозы находят все более широкий спектр потребителей. Влияние метеорологических факторов на производство тепловой энергии прослеживается на всех этапах функционирования ТЭЦ и сказывается непосредственно на задании режима работы теплоисточника, на колебаниях спроса на тепловую энергию, а также на условиях эксплуатации и содержания тепловых сетей. Для оценки успешности прогнозов было выполнено соответствующее исследование за период с 2003 по 2008 г., т.е. за пять отопительных периодов.

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха

Прогнозы температуры воздуха являются многофазовыми. Как особое состояние среды температура воздуха классифицируется, т.е. выделяются определенные фазы – уровни дискретности.

Фазовое представление прогнозов температуры воздуха отвечает требованиям практики, а сама область изменения может содержать различное число градаций в зависимости от требований потребителя, от его производственной специфики.

Одним из основных требований, предъявляемых к прогнозам, является их высокая успешность, что отвечает возможности, допустимости их хозяйственной реализации.

Заметим, что до настоящего времени проблема оценки успешности метеорологических прогнозов еще не получила полного решения. Существующая административная система оценки не полностью отвечает условиям объективности и возможности адекватного отображения прогнозируемых и фактических значений данной метеорологической величины [Хандожко, 2005].

Матричная система оценки успешности прогнозов, как это следует из многочисленных публикаций [Хандожко, 2005, 2006; Хандожко, Вдовин, 1989] является более предпочтительной, имеющей ряд преимуществ. Она объективна, т.е. исключает возможности адаптации текста прогноза к условиям благоприятной оценки. Число градаций во всем диапазоне изменений температуры воздуха может быть задано потребителем, что отвечает более эффективной ее реализа-

ции. Матричная система позволяет использовать ряд известных критериев оценки успешности, а также перевести дискретную форму представления прогнозов в вероятностную, что необходимо не только в прогностической практике, но и при оценке экономической полезности прогнозов. Выбор системы оценки позволяет дать более объективные предпосылки совершенствования прогнозов. Как отмечал М.И. Юдин [Юдин, 1963], это может ускорять или тормозить развитие методов прогноза.

Разработка матриц сопряженности прогнозов температуры воздуха

Многофазовая матрица сопряженности содержит N прогнозов в принятых градациях, которые получают отображение в виде чисел сопряженности n_{ij} – прогноз ($П_j$) – факт ($Ф_i$). Множество значений среднесуточной температуры воздуха ($\bar{t}$), сгруппированные в градации, отвечает требованиям, предъявляемым к многофазовым матрицам-таблицам $n \times m$ порядка. Частоты n_{ij} есть группы значений $\bar{t}$, попавших в последовательно расположенные интервалы. Порядок матрицы $n \times m$ устанавливаем на основании статистической оценки возможного числа интервалов, градаций.

Все исходные данные получены по Москве за отопительные периоды 2003–2008 гг. Фактические наблюдения ($Ф_i$) – данные метеостанции ВДНХ, прогностические данные ($П_j$) – результаты прогнозирования Гидрометцентра по территории Москвы. Продолжительность отопительного периода для Москвы устанавливалась с октября по апрель включительно, что определяет объем выборки, и меняется около значения $N = 212$. При разработке матрицы сопряженности необходимо было прежде всего решить задачу определения числа градаций, содержащихся в матрице сопряженности. Для этого используются известные соотношения. Согласно рекомендациям К. Брукса и Н. Карузерса [Кендалл, 1973], число градаций k есть величина

$$k = 5\lg N, \tag{1}$$

где N – число суток, т.е. общее число случаев в статистической выборке. Е. Тонеева [Таушанова, 1973] предложила следующую формулу:

$$k = 5\lg N - 5. \tag{2}$$

Согласно методу З. Таушановой, возможно использование формулы вида

$$k = 4\lg N. \tag{3}$$

В книге И. Хайнхольда и К. Гайдеке [Heinhold, 1964] приводится формула вида

$$k = \sqrt{N}. \tag{4}$$

Наряду с этим допускается условие выбора k [Heinhold, 1964]:

$$\left.\begin{array}{cccc} N...50 & 100 & 500 \\ k...8 & 10 & 13 \end{array}\right\}. \quad (5)$$

Исследовав особенности кривых распределения, И.У. Алексеева [Новицкий, 1991] установила, что для расчета оптимального значения k необходимо знать величину эксцесса ε (крутости кривой распределения):

$$k = \frac{\varepsilon + 1{,}5}{6} N^{0,4}. \quad (6)$$

Таким образом, выбор числа градаций в матрице сопряженности должен учитывать не только объем выборки (N), но и форму распределения, выраженную эксцессом (ε).

Используя данные о продолжительности отопительного периода по Москве за 2003–2008 гг., находим, что число градаций k в многофазовой матрице сопряженности прогнозов среднесуточной температуры воздуха колеблется в пределах 11–15.

С учетом N = 212 среднее значение числа градаций составляет $\bar{k}$ = 13. Заметим, что число градаций и их ширина должны определяться с учетом специфики зависимости теплоэнергетики от метеорологических условий. В данном исследовании установлено, что число градаций в теплые зимы естественно уменьшается. Ширина градации может быть задана из условий прогностической градации или требований потребителя. Возможно использование следующей формулы:

$$l = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{k}, \quad (7)$$

где k – число градаций; $A_{\max}$, $A_{\min}$ – экстремальные значения температуры воздуха.

Ширина градаций получена равной l =3 °С. В данном исследовании для более полного анализа использовалась матрица сопряженности с шириной градации 2 °С.

Дискретность матриц сопряженности прогнозов зависит от специфики работы теплоисточника (мощности ТЭЦ, режима метеоусловий, охвата территорий). Матричное обобщение метеорологических прогнозов позволяет более достоверно установить не только успешность прогнозов, но также тепловые и стоимостные потери при избыточном и недостаточном теплоснабжении.

Выбор критериев оценки успешности прогнозов

При оценке качества многофазовых прогнозов используемый статистический материал, содержащийся в матрицах сопряженности, который должен отвечать известным принципам Фишера, а также известным требованиям критериев оценки, представлен в работе [Хандожко, 2005].

Наряду с разработкой матриц сопряженности методических прогнозов $\|n_{ij}\|$ получены соответствующие матрицы сопряженности инерционных прогнозов $\|n_{ij}\|$. Случайное прогнозирование идентифицируется оценкой критерия Пирсона. В дальнейшем рассматривается ряд критериев (показателей) оценки успешности, получивших широкое признание и практическое применение в отечественных и зарубежных исследованиях и в оперативной практике Национальных метеорологических служб.

1. Информационное соотношение, которое показывает, какая часть неопределенности климатологических прогнозов устраняется с помощью методических прогнозов:

$$\nu = \frac{H(\Ф) - H(\П)}{H(\Ф)} = 1 - \frac{H(\П)}{H(\Ф)}, \tag{8}$$

где $H(\Ф)$ – климатическая, или безусловная, энтропия явления; $H(\П)$ – условная энтропия; $I = H(\Ф) - H(\П)$ – количество прогностической информации.

2. Показатель сопряженности по А. Чупрову [Чупров, 1960]:

$$K = \sqrt{\frac{\chi^2}{N\sqrt{(k_1 - 1)(k_2 - 1)}}}, \tag{9}$$

где χ^2 – критерий независимости Пирсона, определяемый следующей формулой:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\frac{(n_{ij} - n_{ij}^{\text{сл}})^2}{n_{ij}^{\text{сл}}}, \tag{10}$$

где k_1 и k_2 – соответственно число строк и столбцов; а $n_{ij}^{\text{сл}} = \frac{n_{i0} \times n_{0j}}{N}$.

3. Меры Гутмана.

Уменьшение относительной ошибки прогноза $\П_j$ на основании признака $\Ф_i$ определяется по формуле:

$$\lambda(\П / \Ф) = \frac{\sum_j n_{j\max} - n_{i0\max}}{N - n_{i0\max}} = \frac{A}{N - n_{i0\max}}. \tag{11}$$

Снижение относительной ошибки признака Ф на основании прогноза П:

$$\lambda(\Ф / \П) = \frac{\sum_i n_{i\max} - n_{0j\max}}{N - n_{0j\max}} = \frac{B}{N - n_{0j\max}}. \tag{12}$$

Для оценки общей связности признаков П и Ф используется обобщенная мера:

$$\lambda = \frac{A + B}{(N - n_{i0\max}) + (N - n_{0j\max})}. \tag{13}$$

4. Меры Гудмена–Крускала.

Данная мера успешности позволяет установить взаимозависимость категорий (Π_j , Φ_i), определяемую пропорционально наблюдаемым итогам в матрице сопряженности. Рассчитываются две частные меры и на их основе генеральная:

$$\tau(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0} n_{oj} \right)^2 \Big/ n_{0j} \right]}{N \left(N^2 - \sum_i n_{i0}^2 \right)} \tag{14}$$

и

$$\tau(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0} n_{oj} \right)^2 \Big/ n_{i0} \right]}{N \left(N^2 - \sum_j n_{0j}^2 \right)}. \tag{15}$$

Общая генеральная мера успешности

$$\tau = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0}\ n_{0j} \right)^2 \Big/ n_{0j} \right] + \sum_i \sum_j \left[\left(N n_{ij} - n_{i0} n_{oj} \right)^2 \Big/ n_{i0} \right]}{2N^3 - N \left(\sum_i n_{i0}^2 + \sum_j n_{0j}^2 \right)}. \tag{16}$$

Генеральная мера τ равна относительному уменьшению вероятности неправильного предсказания одной переменной при известной другой. Она рассматривается как симметризованный коэффициент, отражающий предсказуемость в обе стороны – зависимость Π_j от Φ_i и Φ_i от Π_j.

Численная оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ Москвы

В целях оптимизации выработки тепловой энергии и теплообеспечения используется прогноз среднесуточной температуры воздуха. По территории Москвы рассчитываются прогностические [$\overline{t_{\text{пр}}} = 0{,}5(\overline{t_{\text{пр ночь}}} + \overline{t_{\text{пр день}}})$] и фактические [$\overline{t_{\text{ф}}} = 0{,}5(\overline{t_{\text{ф ночь}}} + \overline{t_{\text{ф день}}})$] среднесуточные значения температуры воздуха.

На этом основании разрабатывались матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов. Прогностические и фактические значения для матрицы сопряженности инерционных прогнозов устанавливались только по фактическим материалам.

Приведенные критерии успешности (8)–(16) позволяют установить достаточно объективную оценку прогнозирования температуры воздуха для теплоэнергетики Москвы.

Каждый из приведенных критериев, как уже отмечалось, отражает ту или иную особенность результатов прогнозирования температуры, сведенных в матрицы сопряженности.

Приведенные критерии рассчитывались для каждого из пяти отопительных сезонов по Москве. Результаты расчетов приведены в таблицах 1–6.

Таблица 1

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период 2003–2004 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}443$	$H(П)_м = 0{,}504$	$\Delta H(П) = -0{,}061$
	$\nu_м = 0{,}519$	$\nu_и = 0{,}452$	$\Delta\nu = 0{,}067$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 717{,}83$	$\chi^2_м = 565{,}6$	$\Delta\chi^2 = 152{,}2$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}509$	$K_и = 0{,}453$	$\Delta K = 0{,}056$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}434$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}395$	$\Delta\lambda(П/Ф) = 0{,}039$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}449$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}419$	$\Delta\lambda(Ф/П) = 0{,}030$
	$\lambda_м = 0{,}442$	$\lambda_и = 0{,}407$	$\Delta\lambda = 0{,}035$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}322$	$\tau(П/Ф)_и = 0{,}265$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}057$
	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}331$	$\tau(Ф/П)_и = 0{,}285$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}046$
	$\tau_м = 0{,}326$	$\tau_и = 0{,}275$	$\Delta\tau = 0{,}051$

По всем приведенным критериям методические прогнозы имеют более высокий успех прогнозирования, чем инерционные. Заметим, что при оценке критерия ν климатическая энтропия достигает 0,987, что подтверждает сложность достижения успеха прогнозирования.

Наибольшее расхождение методических и инерционных прогнозов наблюдается в сезон 2005–2006 гг. Минимальное различие отмечается в сезон 2003–2004 гг. Видно, что по этим годам все критерии успешности указывают на постоянное преимущество методических прогнозов для теплоэнергетики Москвы относительно инерционных. Это подтверждает, что использование в оперативной практике методов прогнозирования температуры воздуха отражает научную обоснованность учета физических процессов, формирующихся над Европейской территорией страны. Отсюда очевидна и необходимость учета оперативных прогнозов в целях задания оптимального режима работы теплоисточника.

Таблица 2

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период 2004–2005 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}443$	$H(П)_и = 0{,}580$	$\Delta H(П) = -0{,}137$
	$\nu_м = 0{,}541$	$\nu_и = 0{,}400$	$\Delta\nu = 0{,}141$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 713{,}1$	$\chi^2_м = 441{,}3$	$\chi^2 = 271{,}8$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}508$	$K_и = 0{,}401$	$\Delta K = 0{,}107$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}477$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}285$	$\Delta\lambda(П/Ф) = 0{,}192$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}508$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}297$	$\Delta\lambda(Ф/П) = 0{,}211$
	$\lambda_м = 0{,}492$	$\lambda_и = 0{,}291$	$\Delta\lambda = 0{,}201$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0.335$	$\tau(П/Ф)_и = 0{,}210$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}125$
	$\tau(Ф/П)_м = 0{,}377$	$\tau(Ф/П)_и = 0{,}213$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}164$
	$\tau_м = 0{,}356$	$\tau_и = 0{,}212$	$\Delta\tau = 0{,}144$

Таблица 3

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период 2005–2006 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}315$	$H(П)_и = 0{,}522$	$\Delta H(П) = -0{,}207$
	$\nu_м = 0{,}675$	$\nu_и = 0{,}497$	$\Delta\nu = 0{,}178$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 1217{,}7$	$\chi^2_м = 775,$	$\Delta\chi^2 = 442{,}8$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}664$	$K_и = 0{,}531$	$\Delta K = 0{,}133$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}575$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}357$	$\Delta\lambda(П/Ф) = 0{,}218$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}580$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}357$	$\Delta\lambda(Ф/П) = 0{,}223$
	$\lambda_м = 0{,}577$	$\lambda_и = 0{,}357$	$\Delta\lambda = 0{,}220$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}428$	$\tau(П/Ф)_и = 0{,}248$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}180$
	$\tau(Ф/П)_м = 0{,}475$	$\tau(Ф/П)_и = 0{,}257$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}218$
	$\tau_м = 0{,}451$	$\tau_и = 0{,}253$	$\Delta\tau = 0{,}198$

Таблица 4

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период 2006–2007 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}348$	$H(П)_и = 0{,}523$	$\Delta H(П) = -0{,}175$
	$\nu_м = 0{,}627$	$\nu_и = 0{,}437$	$\Delta\nu = 0{,}190$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 1041{,}9$	$\chi^2_м = 536{,}1$	$\Delta\chi^2 = 511{,}8$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}616$	$K_и = 0{,}442$	$\Delta K = 0{,}174$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}525$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}268$	$\Delta\lambda(П/Ф) = 0{,}257$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}550$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}372$	$\Delta\lambda(Ф/П) = 0{,}178$
	$\lambda_м = 0{,}537$	$\lambda_и = 0{,}370$	$\Delta\lambda = 0{,}167$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}433$	$\tau(П/Ф)_и = 0{,}271$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}163$
	$\tau(Ф/П)_м = 0{,}433$	$\tau(Ф/П)_и = 0{,}273$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}160$
	$\tau_м = 0{,}433$	$\tau_и = 0{,}272$	$\Delta\tau = 0{,}161$

Таблица 5

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительный период 2007–2008 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}354$	$H(П)_и = 0{,}494$	$\Delta H(П) = -0{,}140$
	$\nu_м = 0{,}608$	$\nu_и = 0{,}432$	$\Delta\nu = 0{,}176$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 621{,}7$	$\chi^2_м = 457{,}6$	$\Delta\chi^2 = 164{,}1$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}474$	$K_и = 0{,}409$	$\Delta K = 0{,}065$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}524$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}376$	$\Delta\lambda(П/Ф) = 0{,}148$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}540$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}380$	$\Delta\lambda(Ф/П) = 0{,}160$
	$\lambda_м = 0{,}532$	$\lambda_и = 0{,}378$	$\Delta\lambda = 0{,}154$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}386$	$\tau(П/Ф)_и = 0{,}260$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}126$
	$\tau(Ф/П)_м = 0{,}429$	$\tau(Ф/П)_и = 0{,}277$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}152$
	$\tau_м = 0{,}408$	$\tau_и = 0{,}269$	$\Delta\tau = 0{,}139$

Таблица 6

Оценка успешности прогнозов температуры воздуха для ТЭЦ г. Москвы за отопительные периоды 2003–2008 гг.

Показатель	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы	$\Delta = \zeta_м - \zeta_и$
Информационное отношение	$H(П)_м = 0{,}428$	$H(П)_м = 0{,}566$	$\Delta H(П) = -0{,}138$
	$\nu_м = 0{,}565$	$\nu_и = 0{,}421$	$\Delta\nu = 0{,}144$
Критерий Пирсона	$\chi^2_м = 5455{,}3$	$\chi^2_м = 3614{,}9$	$\Delta\chi^2 = 1840{,}4$
Коэффициент сопряженности по Чупрову	$K_м = 0{,}628$	$K_и = 0{,}513$	$\Delta K = 0{,}115$
Меры Гутмана	$\lambda(П/Ф)_м = 0{,}506$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}340$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}166$
	$\lambda(Ф/П)_м = 0{,}517$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}374$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}143$
	$\lambda_м = 0{,}512$	$\lambda_и = 0{,}344$	$\Delta\lambda = 0{,}168$
Меры Гудмена–Крускала	$\tau(П/Ф)_м = 0{,}354$	$\lambda(П/Ф)_и = 0{,}228$	$\Delta\tau(П/Ф) = 0{,}126$
	$\tau(Ф/П)_м = 0{,}368$	$\lambda(Ф/П)_и = 0{,}241$	$\Delta\tau(Ф/П) = 0{,}127$
	$\tau_м = 0{,}361$	$\tau_и = 0{,}234$	$\Delta\tau = 0{,}127$

В отопительные периоды 2004–2005, 2005–2006, 2006–2007 гг. успешность прогнозов достаточно велика. Однако в эти же периоды отмечается рост успешности инерционных прогнозов, что связано с большой частотой антициклонных процессов.

Каждый потребитель вправе выбрать тот природный информационный ресурс, который, как ему представляется, может быть практически полезным. Однако реальные изменения погодных условий показывают, что стратегия ориентации потребителя на исходную фактическую погоду сопряжена со значительными метеорологическими рисками и могут быть причиной как избыточного, так и недостаточного теплоснабжения со всеми вытекающими социальными и экономическими последствиями.

В целом за отопительные периоды 2003–2008 гг. (табл. 6) успешность прогнозов температуры воздуха отвечает требованиям теплоэнергетики Москвы.

Некоторые результаты оценки оптимального теплообеспечения Москвы

Используется байесовский подход минимизации потерь в теплоэнергетике. Задача любого потребителя постоянно находить такие оперативные решения и действия, которые на основе учета прогнозов могут обеспечить минимум экономических издержек в специфических условиях производства.

Выбор оптимальной стратегии решается при известном множестве состояний погоды $\Omega(Ф)$, принимаемых решений и действий $\Omega(d)$ и их последствий, определяемых функцией полезности $U = U(d, Ф)$.

Эта задача рассматривалась в работах [Хандожко, 2005; Вдовин, 1989], где представлена метеоролого-экономическая модель оптимизации использования среднесуточной температуры воздуха в теплоэнергетике.

Наиболее сложная часть решаемой задачи заключается в разработке правильной конструкции алгоритма расчета функции потерь $s = s$ (d, Ф) как модификации функции полезности. Алгоритмизация численных процедур расчета содержит региональную погодоклиматическую составляющую и теплоэнергетическую специфику теплоисточника.

Использование прогностической информации и действий потребителя (диспетчера) может сопровождаться избыточным, отражающим перерасход тепла ($Q_{\text{п}}$) и недостаточным ($Q_{\text{н}}$) теплоснабжением. Функция тепловых потерь может быть представлена в общем виде следующим образом:

$$Q_{\text{п}} = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\Pi}} \exp[-A] - Q_{\text{р}}^{t} \frac{\Delta t_{\text{пр}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{р}}} \left[\frac{1}{2} - \Phi\left(A'\right) \right], \tag{17}$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\Pi}} \exp[-B] + Q_{\text{р}}^{t} \frac{\Delta t_{\text{пр}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{р}}} \left[\frac{1}{2} - \Phi\left(B'\right) \right], \tag{18}$$

где $Q_{\text{р}}^{t}$ – тепловая мощность теплоисточника; $\sigma_{\Delta Q}$ – среднеквадратичное отклонение тепловых потерь (ΔQ) в системе теплоснабжения; $\Delta t_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} - t_{\text{ф}}$ – ошибка прогнозирования среднесуточной температуры воздуха; $t_{\text{п}}$ – необходимая температура в помещении ($t_{\text{п}} = 18$ °С); $t_{\text{р}}$ – расчетная температура воздуха – климатический показатель низких температур в данном пункте, используемый в проектировании тепловой мощности теплоисточника; A и B – показатели, отражающие тепловые потери в пределах «малых» ошибок прогнозирования; A' и B' – аналогично при условии «больших» ошибок; Ф – табулированная функция интеграла вероятностей.

Малые и большие ошибки прогнозирования рассматриваются с позиции теплотехнических допущений, т.е. имеют теплотехническую привязку.

Функция стоимостных потерь имеет вид:

$$S(\Delta t_{\text{пр}}) = \Delta\tau[c_{\text{п}} Q_{\text{п}} + c_{\text{н}} Q_{\text{н}}], \tag{19}$$

где $c_{\text{п}}$ – стоимость затрат на выработку тепла одной Гкал/ч; $c_{\text{н}}$ – масштаб потерь при недодаче тепла, принимается $c_{\text{н}} = 3\, c_{\text{п}}$.

Оценка экономической полезности возможна при расчете функции потерь $S(\Delta t_{\text{пр}})$. Расчет её выполнен для ТЭЦ-21 Москвы при $Q_{\text{р}}^{t} = 4603$ Гкал/ч (табл. 7). На этом основании определялась матрица систематических потерь $\left\| \overline{R}_{kj} \right\|$, которая позволяет установить средние байесовские потери при стратегии доверия ($\overline{R}_{\text{м}}$) и оптимальной стратегии ($\overline{R}_{\text{опт}}$), обеспечивающей минимум тепловых и топливных потерь.

Таблица 7

Функция потерь (тыс. руб./сут.) для ТЭЦ-21 при $c_п$ = 400 (руб. Гкал/ч)

$c_п$, руб./Гкал/ч	Ошибки прогноза $\Delta t_{пр}$ и функции потерь $S^{'}(\Delta t_{пр})$										
	Перерасход тепла ($\Delta t_{пр}$) < 0						Недодача тепла ($\Delta t_{пр}$) > 0				
	–15	–12	–9	–6	–3	0	3	6	9	12	15
120	4519	3616	2700	1889	1233	1472	3023	5482	8076	10 846	13 558
400	15 060	12 052	9001	6296	4111	4907	10 076	18 274	26 920	36 154	45 199

Представленные здесь функции потерь $S^{'}(\Delta t_{пр})$ записываются в матричном виде для расчета функции систематических потерь при известной матрице сопряженности прогнозов среднесуточной температуры воздуха [$n_{ij} = f(\Phi_i, \Pi_j)$].

За отопительные периоды с 2003 по 2008 г. рассчитаны показатели экономической полезности – экономический эффект (Э) и экономическая эффективность (P) (табл. 8).

Таблица 8

Показатели экономической полезности прогнозов $\bar{t}$ для ТЭЦ–21 Москвы за отопительные периоды 2003–2008 гг.

Величина $c_п$	$Э_м$, тыс. руб.	$Э_{опт}$, тыс. руб.	$P_м$	$P_{опт}$
120 руб./Гкал/ч	292 438	341 255	276	324
400 руб./Гкал/ч	805 584	1 139 230	759	1081

Как видим (табл. 8), использование прогностической информации (прогностических ресурсов) позволяет получить очень высокую экономическую полезность в работе теплоисточника (ТЭЦ-21). При оптимальной стратегии потребителя экономический эффект за отопительные периоды 2003–2008 гг. достигает более 340 млн руб. или 68 млн руб. за один отопительный период. Экономическая эффективность составляет 300 и более 1000 руб. на 1 рубль затрат на прогностическую информацию, разрабатываемую в Гидрометцентре Москвы.

Литература

1. *Кендалл М.Дж., Стьарт А.* Статистические выводы и связи. – М.: Наука, 1973. – 899 с.
2. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
3. Послание Президента России к Федеральному собранию от 05.11.2008.
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.08.2003 № 1234-р «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года».
5. *Таушанова З., Тонеева Е., Пенова Р.* Вычисление энтропийного коэффициента при малых выборках / Изобретательство, стандартизация и качество. – София, 1973, № 5.
6. *Хандожко Л.А.* Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. – 490 с.
7. *Хандожко Л.А., Вдовин В.Б.* Функции метеорологических потерь теплоэлектростанций // Труды ГГО, 1989, вып. 528, с. 49–57.
8. *Хандожко Л.А.* Методические основы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике России // Метеоспектр, 2006, № 2, с. 93–103.
9. *Heinhold J., Gaede K.W.* Jngenier statistic – Munchen: Wien, Springer Verlag, 1964. – 352 с.
10. *Чупров А.А.* Основные проблемы теории корреляции. О статистическом исследовании связи между явлениями. – М.: Госстатиздат, 1960.
11. *Юдин М.И.* Новые методы и проблемы краткосрочного прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 404 с.

Г.Г. Гогоберидзе, А.Ю. Домнина

ВОЗМОЖНЫЕ КОНФЛИКТЫ МЕЖДУ ВИДАМИ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АКВАТОРИЯХ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

G.G. Gogoberidze, A.U. Domnina

POTENTIAL CONFLICTS OF THE MARINE ACTIVITIES IN THE RUSSIAN PART OF THE SOUTH-EAST BALTIC AND RECOMMENDATIONS FOR CONFLICTS PREVENTION

Акватории российской части Юго-Восточной Балтики интенсивно используются для рыболовства, судоходства, добычи полезных ископаемых, рекреационной деятельности, а в перспективе возможно появление морской ветроэнергетики, дальнейшее развитие аквакультуры и туризма. Интенсивное использование акваторий порождает конфликты между видами деятельности в морском пространстве. В статье проводится анализ использования акваторий и возможных конфликтов, и разрабатываются меры по их предотвращению.

Ключевые слова: акватория части Юго-Восточной Балтики, конфликты, виды деятельности, меры по предотвращению.

Activity is really strong in the Russian part of the South-East Baltic. Marine water areas are used for fishery, navigation, oil and gas extraction and there is potential for further development of aquaculture, tourism and wind-power engineering. As a result of large quantity of type of use, appearance of conflicts is possible. In the paper analyze of water areas uses and potential conflicts and the prevention of real conflicts are showed.

Key words: aquatorium of the South-East Baltic Sea, conflicts, types of activity, preventive measures.

Введение

Российская часть юго-восточной Балтики включает [Схема охраны…, 2004] акваторию исключительной экономической зоны (5 000 км^2), территориального моря (2800 км^2), а также внутренние морские воды – российские части акваторий Вислинского и Куршского заливов (1800 км^2) (рис. 1). Судоходство и рыболовство являются основными отраслями промышленности в регионе, в акватории территориального моря осуществляется разработка нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6), а также имеются другие разведанные нефтегазовые месторождения, разработка которых может осуществляться в дальнейшем. Существует потенциал для возникновения ветроэнергетической отрасли и лучшего развития рекреации и туризма. Для стабильного развития всех направлений деятельности необходимо проведение мероприятий по охране окружающей природной среды и организация охраняемых природных территорий.

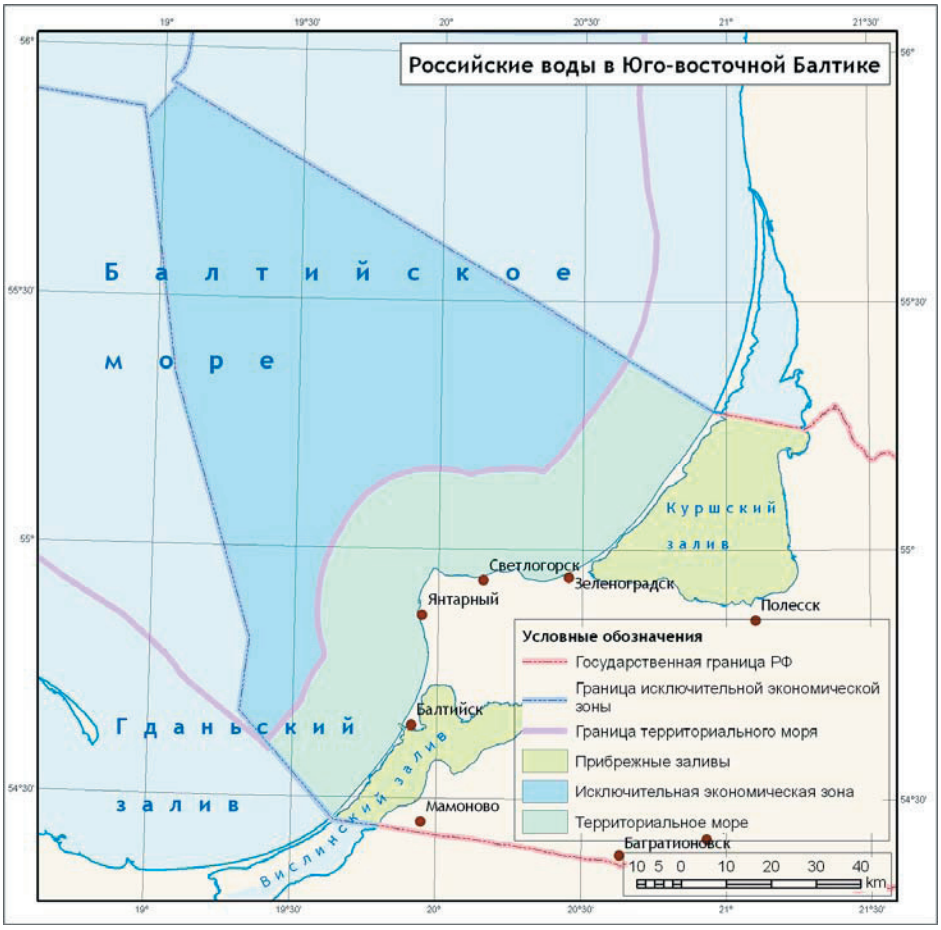


Рис. 1. Российские воды в Юго-Восточной Балтике:
исключительная экономическая зона, территориальные воды и внутренние морские воды
(российские части Куршского и Вислинского заливов)

Анализ использования акваторий

Рыболовство

Вылов рыбы в акваториях Калининградской области не превышает квоты и в основном не достигает установленных пределов [Индикаторы устойчивого развития…, 2008]. Хотя в 2002–2003 гг. происходило превышение квот, в основном квоты на вылов рыбы не используются до конца. Основная валовая продукция поступает из акватории исключительной экономической зоны Калининградской области [Индикаторы устойчивого развития…, 2008]. Основными промысловыми рыбами в исключительной экономической зоне и территориальных водах Калининградской области являются лосось и килька (в 2006 г. их вылов составил 12 и 28 тыс. т соответственно), вылов других видов суммарно не

превышает 10 тыс. т. Вся выловленная рыбная продукция в акватории Калининградской области отгружается в портах Калининград и Пионерский.

Другими важными промысловыми акваториями для Калининградской области, откуда поступает рыбная продукция, являются Вислинский и Куршский заливы, в которых вылов осуществляется, главным образом, путем постановки сетей [Осадчий, 2000; Федоров, 2002]. Промысловые виды в Вислинском заливе схожи с видами, вылавливаемыми в Куршском заливе, здесь добываются балтийская сельдь, судак, лещ, плотва, угорь, окунь, чехонь. Самым продуктивным видом является балтийская сельдь и салака [Индикаторы устойчивого развития…, 2008].

Охрана прибрежных территорий

К береговой зоне Калининградской области примыкают природоохранные территории, значимые как для охраны природы, так и для рекреации (рис. 2). Такими территориями являются национальный парк «Куршская коса» и заказники: государственный комплексный заказник «Дюнный» и государственный зоологический заказник «Заповедный» [Схема охраны…, 2004].

Рис. 2. Прибрежные охраняемые природные территории Калининградской области

На Куршской косе находится национальный парк «Куршская коса». Для него определена водоохранная зона шириной 1 км в территориальном море и 1 км в водах Куршского залива. Ситуация с Вислинской косой более сложная ввиду того, что для нее пока не определен статус природоохранной территории [Схема охраны…, 2004]. Но для пространственного планирования важно учитывать и перспективы, поэтому Вислинская коса тоже определена как национальный парк и для нее выделена водоохранная зона шириной в 1 км в море и 0,5 км в Вислинский залив.

Дноуглубление и дампинг грунта

В Калининградском морском канале постоянно ведутся дноуглубительные работы, связанные с поддержанием и улучшением проходной способности канала. Сброс чистого среднезернистого песка осуществляется в акватории Балтийского моря, мелкозернистый грунт разной степени загрязненности используется для укрепления приурезовых и внутренних участков островов защитной дамбы Калининградского морского канала [Блажчишин, 1999].

Сброс сточных вод

Сточные воды населенных пунктов и предприятий сбрасываются в водную систему рек Преголи и Немана, водосбор которых охватывает почти всю Калининградскую область и затем в составе речного стока поступает в Вислинский и Куршский заливы [Великанов, 2003].

В морские воды Балтийского моря не выходят крупные источники сточных вод. Курортные города объединены в систему очистки стоков [Великанов, 2003]. Источником сточных вод в Куршском заливе является р. Неман. На ее берегах в пределах Калининградской области находятся малые города и два целлюлозно-бумажных предприятия. Часть стока р. Преголи через р. Дейму поступает в Куршский залив.

В Вислинский залив сточные воды в значительном размере поступают от точечных источников, расположенных на побережье (Калининград, Балтийск, Светлый, Ладушкин, Мамоново, рыбообрабатывающие предприятия) [Великанов, 2003]. Механически очищенные сточные воды Калининграда по обводному открытому коллектору направляются в Приморскую бухту Вислинского залива. Кроме того, сточные воды от городов и предприятий, находящихся выше по течению, поступают в р. Преголю, впадающую в Вислинский залив. Сточные воды, поступающие в заливы, очищаются недостаточно, что указывает на необходимость модернизации всей системы водоочистки.

Биогенные стоки от сельскохозяйственной отрасли поступают в акваторию заливов повсеместно через сеть более мелких рек, ручьев и каналов.

Морской транспорт и портовый комплекс

Калининградская область имеет один порт Калининград, состоящий из 4 гаваней (Калининград, Светлый, Балтийск и Пионерский).

В последние годы Калининградский порт имеет устойчивый рост грузооборота [Индикаторы устойчивого развития…, 2008]; в период с 2000 по 2006 г. рост оборота грузов увеличился с 4,5 до 15,2 млн т. Во внутренней структуре грузооборота порта Калининград внешний экспорт в 8,5 раз преобладает над внешним импортом. Внутренний грузооборот (между портами России) составляет весьма малую долю – в 2006 г. только 70 тыс. т груза было пропущено через калининградские портовые терминалы. В целом же загруженность порта Калининград составляет только третью часть по сравнению с возможной загрузкой.

Пассажирские перевозки через порт Калининград на сегодняшний день находятся на стадии становления, и в 2006 г. пассажирским терминалом Балтийска было пропущено около 12 тыс. пассажиров в год. В целом по данным 2005–2006 гг. наблюдается медленное увеличение числа пассажирских перевозок на внутреннем маршруте между Калининградским портом и Санкт-Петербургом - около 11 %, и быстрое увеличение на международном маршруте Калининград-Любек (37 %) [Индикаторы устойчивого развития…, 2008], однако, пассажирооборот Калининграда значительно меньше соседних портов: в Клайпеде – около 240 тыс. пассажиров (2006 г.), а в Гданьске и Гдыне – почти 680 тыс. пассажиров в год.

Планируется развитие порта Пионерского, связанное с обустройством пассажирского терминала и пристани для туристических яхт.

Необходимо дальнейшее развитие портов, увеличение грузооборота и пассажирских перевозок, оборудование якорных стоянок для маломерных судов и яхт. Официальных навигационных маршрутов немного – три судоходных маршрута в акватории Балтийского моря при заходе в порты Балтийск и Калининград, а также короткие маршруты в Вислинском заливе. На сегодняшний момент отсутствуют навигационные пути в Куршском заливе, порт Пионерский пока является портом местного значения.

Рекреационный потенциал

Общее число прибывших российских и иностранных туристов в Калининградскую область в 2007 г. составило 396 700 человек [Индикаторы устойчивого развития…, 2008]. Наиболее популярные города – Калининград, Светлогорск, Зеленоградск, Янтарный, Полесск и Черняховск.

Туристический комплекс в морской и лагунных акваториях Калининградской области развит недостаточно, поэтому существует потенциал для его интенсивного развития. На сегодняшний момент в прибрежной части только курортные города Светлогорск и Зеленоградск пользуются популярностью туристов для пляжного отдыха в летний сезон [Индикаторы устойчивого развития…, 2008]. Также есть возможности для развития яхтенного туризма, кайтинга, любительского рыболовства. На сегодняшний момент практически не освоены международные маршруты по внутренним водным путям между Польшей и Литвой через территорию Калининградской области. Для развития этих видов

отдыха необходима точная оценка природных условий акваторий, а также развитие прибрежной инфраструктуры.

Берегоукрепление

Берега морской акватории Калининградской области размываются вследствие дефицита песчаных наносов [Мониторинг береговой зоны…, 2002]. Абразионно-оползневые процессы проходят практически на всем протяжении морской акватории, также частично размываются берега кос во внутренней части заливов.

Для защиты берегов на побережье Калининградской области в разных районах построены буны, опояски, волногасительные стенки, применяется также биологический метод защиты – закрепление берегов травянистой и кустарниковой растительностью. Эффективной мерой также может стать искусственный намыв пляжей, что особенно актуально для курортных районов.

Полезные ископаемые

В российской части Юго-Восточной Балтики существует довольно большое количество разведанных месторождений нефти, находящихся на сравнительно небольшом удалении от суши и имеющих запасы порядка 16 млн т [Федоров, 1999].

В настоящее время эксплуатируется только одно месторождение «Кравцовское» (Д-6). Объемы добычи составляют около 1 млн т в год [Федоров, 1999]. По предварительным расчетам добыча будет производиться до 2025 г. [Проект обустройства нефтяного месторождения…, 2002].

Песчано-гравийные смеси, пески и камень также являются важными полезными ископаемыми. В результате исследований были выявлены два основных района подводных залежей строительных материалов [Блажчишин, 1999]: 100 и 10–20 млн $м^3$. На территории Калининградской области расположены крупнейшие в мире запасы янтаря (более 90 %). В настоящее время работы по добыче янтаря проводятся на месторождении Приморское.

Ветроэнергетика

В акватории Калининградской области на сегодняшний день ветряные электростанции отсутствуют, но есть проекты по их созданию и определены возможные площадки для строительства. Так, по проекту POWER «Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и России», осуществляемому в рамках программы TACIS, выбраны участки для размещения морских ветропарков в открытой акватории. В 2005–2006 гг. в рамках похожего проекта рассматривалось выделение еще двух потенциальных участков для сооружения ветропарков в Вислинском заливе и открытой акватории.

Режимное использование акваторий

Режимные районы с ограничением для мореплавания занимают около 80 % всей морской акватории Калининградской области. Это морские районы, осво-

божденные от мин, временно закрытые и временно опасные районы учений, районы, постоянно закрытые для судоходства и районы, в которых запрещены любые донные работы. Деятельность и мореплавание в этих районах может осуществляться при согласовании с соответствующими инстанциями. В Куршском и Вислинском заливах такие ограничения отсутствуют [Режим плавания судов…, 2005].

Принципы обработки информации

Полученная информация была собрана в базу пространственных данных, которая включает тематические разделы с набором слоев для морской акватории и акваторий заливов российской части Юго-Восточной Балтики. Структура пространственный базы данных представлена на рис. 3.

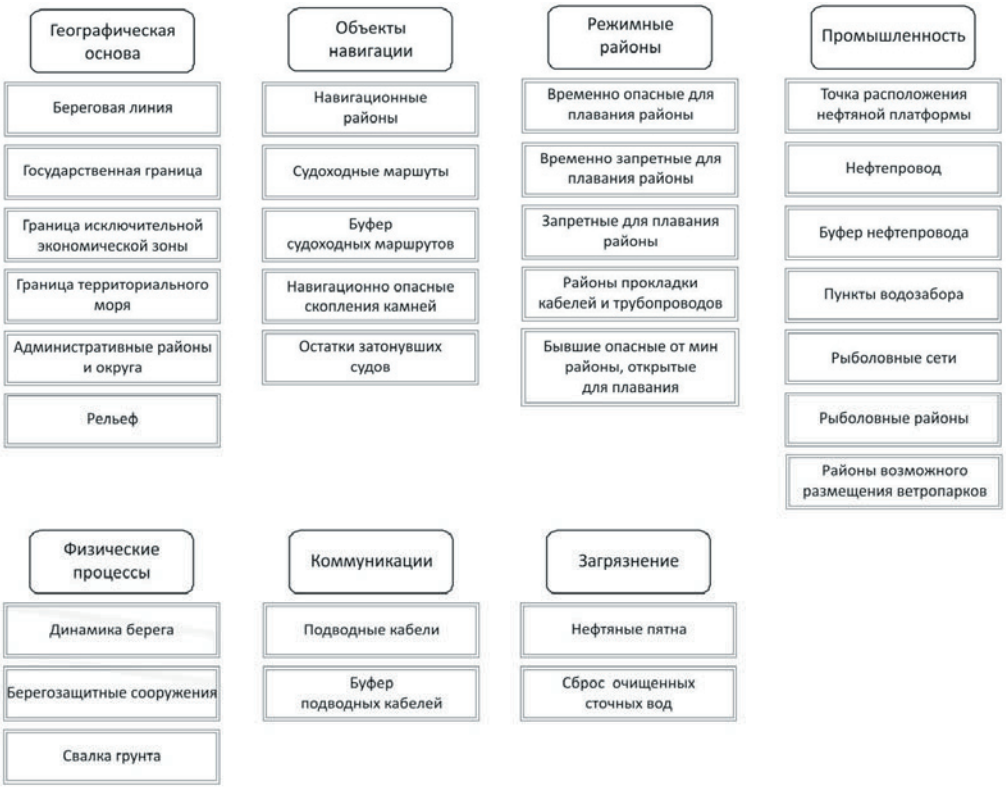


Рис. 3. Структура пространственной базы данных

Виды использования были нанесены на общие карты акваторий – российской части Юго-Восточной Балтики, Куршского и Вислинского заливов (рис. 4–6).

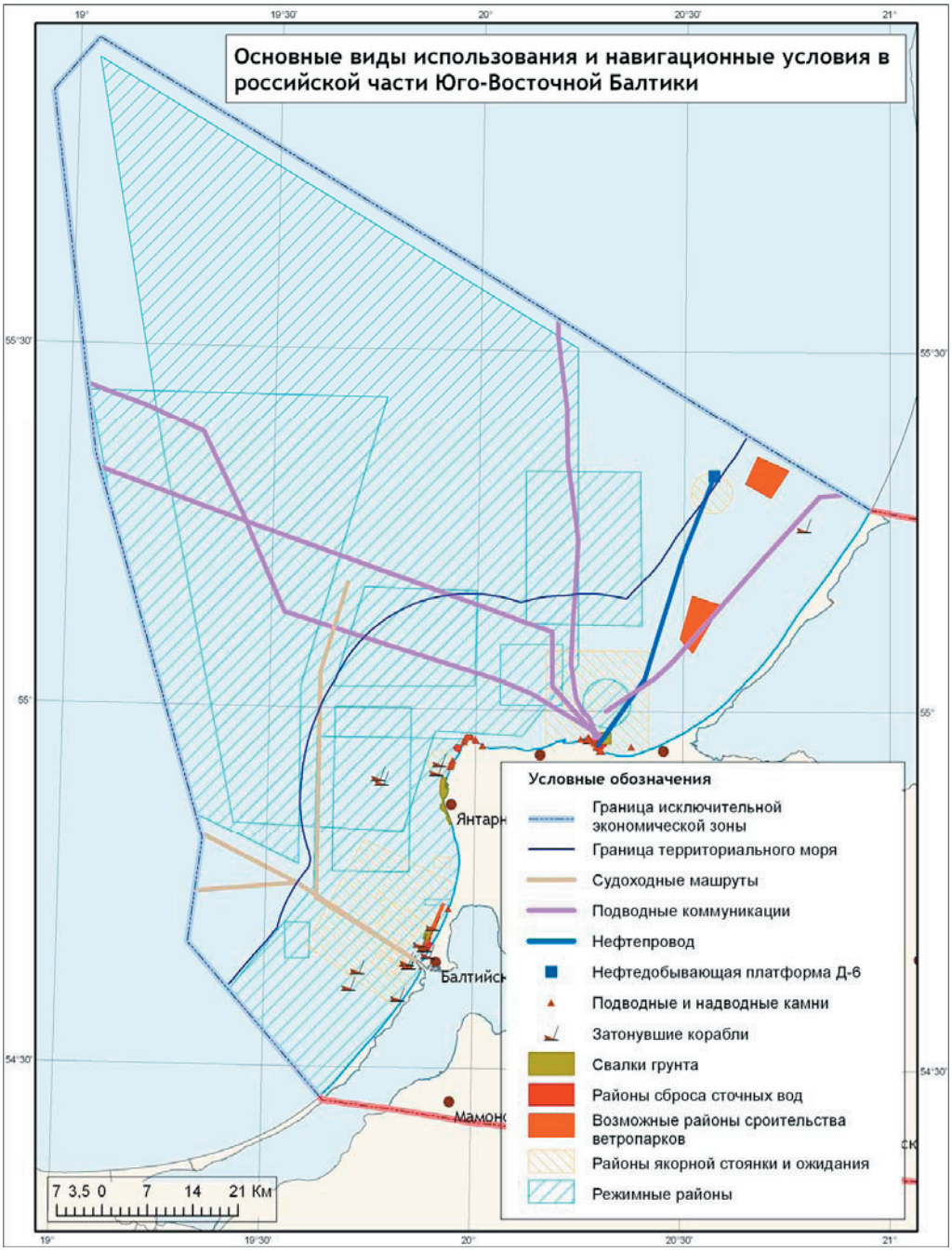


Рис. 4. Основные виды использования акватории и навигационные условия в российской части Юго-Восточной Балтики

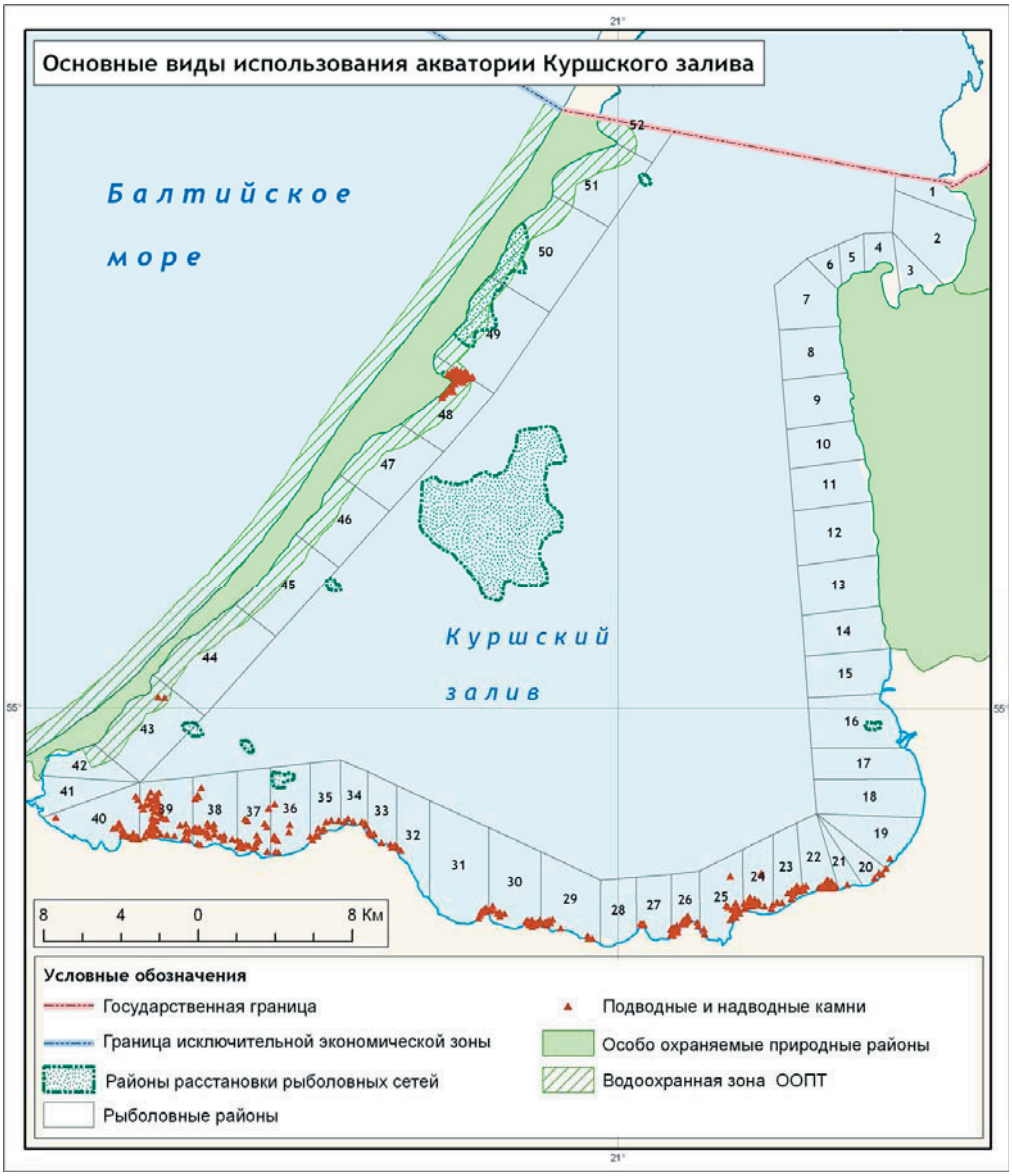


Рис. 5. Основные виды использования акватории Куршского залива

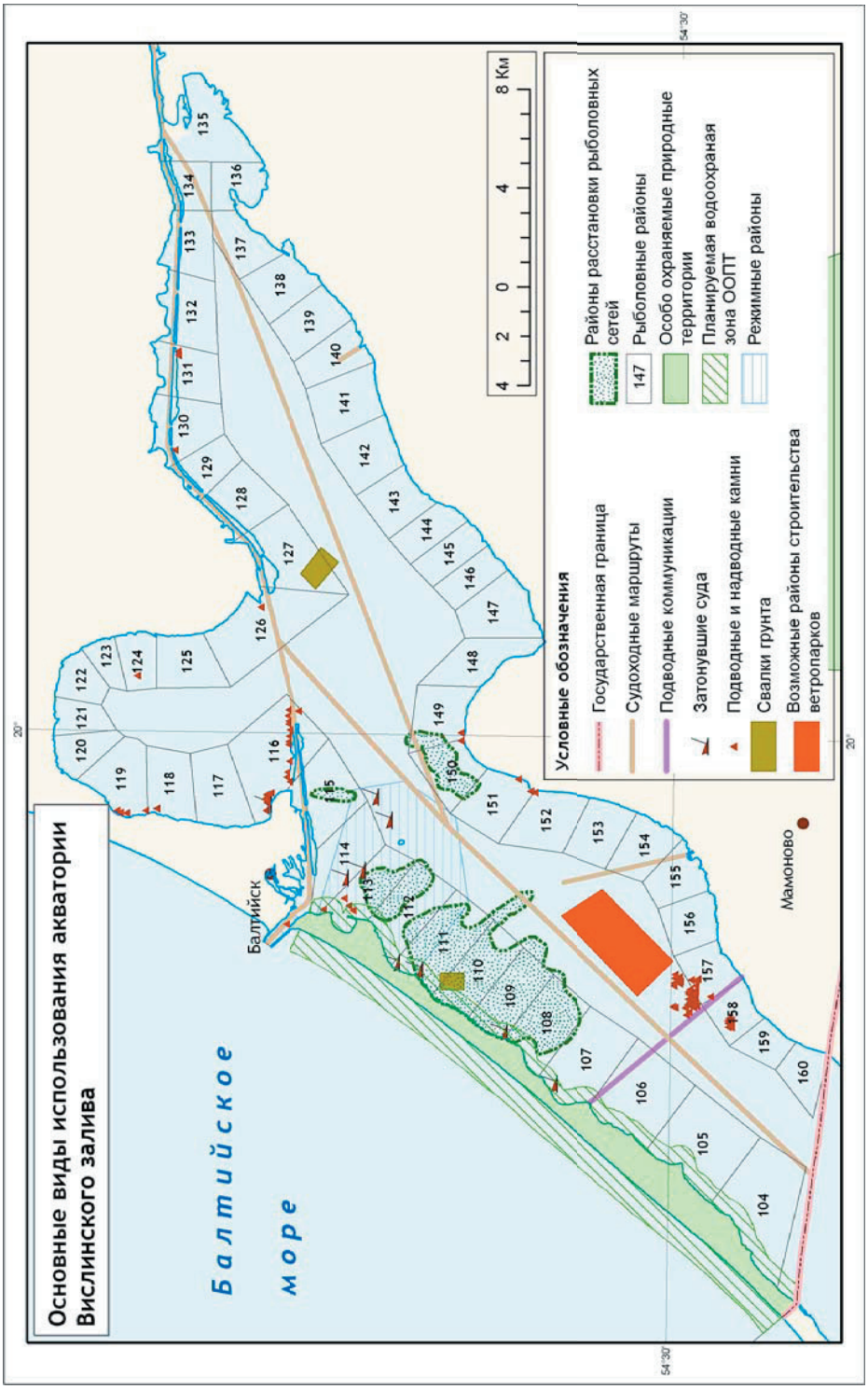


Рис. 6. Основные виды использования акватории Вислинского залива

На основе полученной информации и обобщенных карт акваторий были составлены таблицы конфликтов (рис. 7–9), сделан анализ взаимоотношений между природопользователями и выявлены возможные конфликты. Было установлено, что набор природопользователей практически одинаков во всех акваториях, но по их числу Куршский залив – наименее нагружен, а также существуют некоторые различия в характере использовании морских и прибрежных акваторий.

Для оценки выделяются три уровня конфликтности, которые отличаются степенью совместимости видов деятельности между собой или вида деятельности и условий природной среды:

– бесконфликтная совместимость, если виды деятельности не оказывают никакого негативного воздействия на развитие друг друга или на природные условия (например: «судоходство – сток с сельскохозяйственных полей [1]»);

– слабо конфликтная совместимость, когда негативное воздействие (либо прямое, либо косвенное) может проявиться только при наличии определенных условий в случае совмещения видов деятельности на всей акватории либо в ее отдельном районе, или в определенное время (например, «рыболовство – районы нереста», возможно проявление конфликта только в результате браконьерской деятельности во время нереста);

– потенциально конфликтная совместимость, когда конфликт высоко вероятен при совмещении некоторых видов деятельности, или при проведении деятельности в районе с неблагоприятными для нее условиями среды или в уязвимом районе. Конфликты этой группы приводят к более серьезному экономическому и экологическому ущербу, чем предыдущие. Избегание конфликта возможно при обязательном строгом соблюдении определенных требований и правил (например: «туризм – навигационные опасности»).

В таблице конфликтов также приводятся баллы, показывающие степень напряженности конфликтов: высокая – 3, средняя – 2, слабая – 1 и отсутствие – 0.

Все возможные конфликты в акваториях Балтийского моря и прибрежных лагунах следует разделить на три основные группы:

– конфликты между различными видами деятельности человека («туризм и сток с сельскохозяйственных угодий», «питьевое водопотребление / водозабор и сток с сельскохозяйственных полей», «рыболовство и передвижение судов»);

– конфликты между определенным видом деятельности и условиями среды («морской туризм и навигационные условия»);

– постоянно существующая потенциальная угроза (например, нефтяные разливы).

[1] *Сток с сельскохозяйственных полей* – здесь употребляется как негативное последствие сельскохозяйственной деятельности, приводящее к эвтрофикации водоемов.

	Морские ветропарки	Охраняемые территории	Рыболовство	Подводные коммуникации	Туризм	Судоходство	Гавани и порты	Сток с сельскохозяйственных полей	Добыча песка и гравия	Разработка нефтяных месторождений	Свалки грунта	Марикультура	Навигационные опасности	Водозабор	Сброс сточных вод	Защита берегов
Морские ветропарки																
Охраняемые территории			0		2	1	1	2					0			
Рыболовство					1	1	0	2					1			
Подводные коммуникации																
Туризм						0	0	3					2			
Судоходство							0	0					1			
Гавани и порты								0					0			
Сток с сельскохозяйственных полей													0	3		
Добыча песка и гравия																
Разработка нефтяных месторождений																
Свалки грунта																
Марикультура																
Навигационные опасности																
Водозабор																
Сброс сточных вод																
Защита берегов																

Бесконфликтная совместимость

Слабоконфликтная совместимость

Потенциально конфликтная совместимость

Деятельность отсутствует / нет данных

Рис. 7. Возможные конфликты пользователей в акватории Куршского залива [Андриашкина, 2008]

	Морские ветропарки	Охраняемые территории	Рыболовство	Подводные коммуникации	Туризм	Судоходство	Гавани и порты	Сток с сельскохозяйственных полей	Добыча песка и гравия	Разработка нефтяных месторождений	Свалки грунта	Марикультура	Навигационные опасности	Водозабор	Сброс сточных вод	Защита берегов
Морские ветропарки		0	2	0	1	1	0	0			0		0			0
Охраняемые территории			0	0	1	1	0	1			0		0			0
Рыболовство				1	2	3	0	1			1		1			0
Подводные коммуникации					0	0	0	0			0		0			0
Туризм						0	0	1			0		2			0
Судоходство							0	0			0		0			0
Гавани и порты								0			0		0			0
Сток с сельскохозяйственных полей											0		0	2		0
Добыча песка и гравия																
Разработка нефтяных месторождений																
Свалки грунта													0			0
Марикультура																
Навигационные опасности																0
Водозабор																
Сброс сточных вод																
Защита берегов																

Бесконфликтная совместимость
Слабоконфликтная совместимость
Потенциально конфликтная совместимость
Деятельность отсутствует / нет данных

Рис. 8. Возможные конфликты пользователей в акватории Вислинского залива [Андриашкина, 2008]

	Морские ветропарки	Охраняемые территории	Рыболовство	Подводные коммуникации	Туризм	Судоходство	Гавани и порты	Сток с сельскохозяйственных полей	Добыча песка и гравия	Разработка нефтяных месторождений	Свалкаи грунта	Марикультура	Навигационные опасности	Водозабор	Сброс сточных вод	Защита берегов
Морские ветропарки		0	2	0	1	1	0	0		0	1		0	0	0	0
Охраняемые территории			0	1	0	0	0	0		0	0		0	0	0	0
Рыболовство				2	0	0	0	0		1	0		0	0	0	0
Подводные коммуникации					0	1	0	0		0	0		0	0	0	0
Туризм						0	0	1		0	0		1	0	1	1
Судоходство							0	0		0	0		1	0	0	0
Гавани и порты								0		0	1		0	0	0	0
Сток с сельскохозяйственных полей										0	0		0	1	0	0
Добыча песка и гравия																
Разработка нефтяных месторождений											0		0	0	0	0
Свалки грунта													0	0	0	0
Марикультура																
Навигационные опасности														0	0	0
Водозабор															0	0
Сброс сточных вод																0
Защита берегов																

Бесконфликтная совместимость
Слабоконфликтная совместимость
Потенциально конфликтная совместимость
Деятельность отсутствует / нет данных

Рис. 9. Возможные конфликты пользователей в российской части Юго-Восточной Балтики [Андриашкина, 2008]

Угрозы и конфликты имеют четкую территориальную привязку в рамках вышеперечисленных акваторий, а также характеризуются определенными временными периодами. Приведенные в табл. 1 баллы были получены путем суммирования баллов из таблиц конфликтов по каждой из акваторий российской части Юго-Восточной Балтики [Андриашкина, 2008].

Таблица 1

Оценка напряженности конфликтов в акваториях российской части Юго-Восточной Балтики (в баллах)

Вид конфликта	Балтийское море	Вислинский залив	Куршский залив
«Деятельность – деятельность»	12	13	6
«Деятельность – природное состояние»	2	9	8
«Постоянная угроза» (нефтеразливы, эвтрофикация)	12	15	12

Акватория Вислинского залива характеризуется наибольшей степенью напряженности конфликтов по всем пунктам. Здесь пересекается довольно большое количество потенциально конфликтующих видов деятельности на относительно небольшой акватории, поэтому степень существующей напряженности конфликтов или угроз высока (13 баллов). В заливе также высока степень постоянной угрозы (15 баллов) в связи с эвтрофикацией акватории и возможностью нефтяного загрязнения.

Открытая акватория Балтийского моря характеризуется высокой степенью хозяйственной деятельности, но напряженность конфликтов здесь ниже, чем в Вислинском заливе (12 баллов), что связано с обширностью пространства и его большей урегулированностью. Степень постоянной угрозы в морской акватории также ниже (12 баллов). Здесь высока опасность нефтяного загрязнения, но меньше проблем, связанных с эвтрофикацией.

Акватория Куршского залива в целом используется не так интенсивно, как Вислинский залив и морская акватория, уровень конфликтности между видами деятельности невелик, а потенциально конфликтующая деятельность локализована в определенных районах – в связи с этим напряженность конфликта «деятельность – деятельность» в Куршском заливе можно оценить как низкую (6 баллов). Наибольшая постоянная проблема для Куршского залива – это гиперэвтрофикация и связанное с этим плохое качество воды (и воздуха) в летнее время, поэтому уровень постоянной угрозы идентифицируется как высокий (12 баллов). Конфликт «деятельность – природная среда» характеризуется низким уровнем напряженности во всех акваториях. Наиболее низкий балл определен для открытой части моря – 2 балла.

Рекомендации по КУПЗ и пространственному планированию морских акваторий в Юго-Восточной Балтике, 2008

Рекомендации по комплексному управлению прибрежной зоной и пространственному планированию морских акваторий в Юго-Восточной Балтике

обсуждались и были приняты на Международной конференции «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики», проходившей в Калининграде 27–28 марта 2008 г. На сегодняшний день это единственный документ в Калининградской области, в котором определены инструменты КУПЗ, сущность и принципы морского пространственного планирования, а также определены возможные проблемы и пути решения, которые могут возникнуть в процессе внедрения КУПЗ и морского планирования. Согласно Рекомендациям, пространственное планирование береговых и морских территорий является одним из основных инструментов КУПЗ наряду с [Рекомендации…, 2008]:

– межсекторальной и межрегиональной координацией;
– участием общественности;
– мониторингом состояния и оценкой изменений;
– комплексным анализом индикаторов устойчивого развития;
– финансовыми и правовыми механизмами внедрения и осуществления КУПЗ;
– согласованном принятием решений на всех уровнях от национального до местного.
– Сущность пространственного морского планирования:
– инвентаризация и планирование использования морского пространства;
– пространственный анализ потенциальных конфликтов между человеком и природой, между различными природопользователями;
– анализ нужд текущего и будущего использования морских акваторий;
– выработка природосберегающих сценариев использования морских акваторий;
– разработка планов долгосрочного всестороннего и устойчивого экономического использования морских акваторий.
– Морское планирование основывается на следующих принципах:
– межсекторальная координация и взаимодействие всех заинтересованных сторон;
– согласование стратегий развития и рационального природопользования морских акваторий, разрабатываемых на национальном, региональном и местном уровнях;
– создание всеобъемлющей информационной базы, широкое использование геоинформационных систем (ГИС), включающих информацию об экономической и социально-хозяйственной деятельности, состоянии окружающей среды;
– создание инструкций для морепользователей по устойчивому использованию ресурсов морских акваторий;
– координация принципов и действий с пространственным планированием побережья и эффективная система трансграничных консультаций.

В соответствии с указанными сущностью и принципами морского планирования и текущим состоянием КУПЗ в регионе Юго-Восточной Балтики было

определено, что «внедрение КУПЗ и пространственного планирования морских акваторий должно осуществляться в первую очередь в соответствии с законодательными решениями на национальном уровне с привлечением местных заинтересованных организаций и общественности». Также была определена необходимость «работы по развитию информационной и методологической базы КУПЗ (включая планирование морских акваторий), а также анализа институциональных условий и потенциального трансграничного влияния планов и стратегий управления [Рекомендации…, 2008].

Рекомендации по возможному разрешению или смягчению конфликтов в акваториях российской части Юго-Восточной Балтики

В процессе проведения работ по первому и второму этапам были определены основные природопользователи акваторий Куршского и Вислинского заливов и открытой акватории и определены возможные конфликты между ними. На основе полученной информации были даны примерные рекомендации по возможному разрешению и смягчению конфликтов.

Охраняемые территории – туризм

Туристическая деятельность в пределах особо охраняемых природных территорий должна проводиться с учетом жесткого соблюдения определенных природоохранных требований, однако большинство из них в той или иной мере нарушается как туристами, так и различными организациями, связанными с туристической деятельностью, что приводит к экологическим проблемам разного характера. Наибольшее влияние от ведения туристической деятельности оказывается и будет оказываться в дальнейшем на природу национального парка «Куршская коса». В настоящий момент в национальном парке существуют следующие проблемы [Куршская коса, 2008]: уменьшение популяции некоторых видов животных и растений; браконьерство; гибель животных под колесами автотранспорта на трассе «Калининград–Клайпеда»; ежегодные мощнейшие ураганы, эвтрофикация Куршского залива, застройка заповедных территорий.

Большинство перечисленных проблем связано именно с туризмом, но это не означает, что необходимо полностью исключить туристическую деятельность на территории национального парка. Достаточным условием смягчения конфликта не только на территории национального парка, но и в других ООПТ будет улучшенный контроль над соблюдением законодательства, касающегося строительства рекреационных объектов на территории парка и режима его посещения, а также соблюдение необходимых требований сохранения природы туристами. В последнем случае необходимо продвижение экологического образования на федеральном и региональном уровнях и внедрение экологической сознательности в общество посредством школьного и дошкольного образования, средств массовой информации.

Охраняемые территории – судоходство

Главную опасность для экосистем ООПТ представляют в основном разливы нефти и нефтяных вод от промывки судов. Здесь требуется соблюдение не только российских, но и международных норм, четкая система предотвращения экологических правонарушений такого рода, отлаженная система наблюдения за разливами и оперативный сбор выявленных пятен с целью предотвращения их выброса на побережье.

Охраняемые территории – гавани и порты

На территории Куршской косы существуют гавани в населенных пунктах. Возможно появление гавани для судов пассажирского сообщения, что увеличит нагрузку на природную среду в отдельном районе национального парка, но в целом, при соблюдении требований по охране окружающей среды, не будет наблюдаться серьезных последствий для природы ООПТ.

Сток с сельскохозяйственных полей – охраняемые территории, рыболовство, туризм

Сток питательных веществ способствует усилению процесса эвтрофикации, который может приводить к заморам рыбы, цветению воды, зарастанию берегов и появлению неприятного запаха в летнее время. Это может привести к смене видового состава прибрежной растительности и животного мира. Эвтрофикация - нормальный природный процесс, связанный с постоянным смывом в водоемы биогенных элементов с территории водосборного бассейна [Большой энциклопедический словарь]. Однако в последнее время на территориях с высокой плотностью населения или с интенсивно ведущимся сельским хозяйством интенсивность этого процесса увеличилась многократно из-за сброса в водоемы коммунально-бытовых стоков, стоков с животноводческих ферм и предприятий пищевой промышленности, а также из-за смыва избыточно внесенных удобрений с полей. Мелиоративные мероприятия в Калининградской области проводятся не всегда в соответствии с необходимостью [Краснов, 1999]. Кроме того, часто удобрения и отходы животноводства часто хранятся под открытым небом без соблюдения необходимых требований, что способствует загрязнению почвы и воды удобрениями.

Соответственно для уменьшения количества поступающих органических веществ от сельского хозяйства необходимо отладить систему мелиорации сельскохозяйственных полей, систему хранения удобрений, а также следить за выполнением требований по распашке земель и внесению удобрений.

Рыболовство – плавание на маломерных судах

Рыболовство в заливах осуществляется с использованием рыболовных сетей, нескольких десятков метров длиной, расставленных в основном по краям заливов. В значительной степени такая расстановка может создать трудности

для возможного развития кайтинга и яхтенного спорта. Требуется выделение определенных районов для этих видов спорта, а также определение маршрутов передвижения маломерных судов вне выделенных районов. Кроме того, в Вислинском заливе осуществляется расстановка сетей частично на обозначенном судоходном маршруте, что требует дополнительного урегулирования.

Навигационные опасности – плавание на малых и больших судах

Практически все побережье заливов, особенно Куршского залива, опасно в навигационном плане, что создает опасность для плавсредств. Здесь необходима проверка всех уже зарегистрированных навигационных опасностей, поиск новых (при необходимости) и регулирование движения по строго определенным маршрутам.

Строительство морских ветропарков – рыболовство

В районе возможного строительства ветропарков осуществляется вылов рыбы как сетями, так и с судов, который должен быть перенесен из этого района. Однако в районах размещения ветропарков разрешен проход малых плавсредств, а также рыбная ловля с удочкой, т.е. вполне возможно развитие рыбной ловли в рекреационных целях.

Заключение

В заключение можно сказать, что в акваториях российской части Юго-Восточной Балтики ведется довольно интенсивная деятельность, охватывающая практически все виды использования. Однако в прибрежной зоне Калининградской области нет реальных конфликтов между видами использования акваторий в силу урегулированности районов использования, но потенциально они возможны. Поэтому при планировании морской деятельности необходимо учитывать сочетаемость различных видов использования акваторий во избежание экологических и экономических проблем.

В 2008 г. были разработаны рекомендации по комплексному управлению прибрежной зоной и пространственному планированию акваторий для лучшей координации мероприятий между Литвой, Польшей и Калининградской областью [Рекомендации…, 2008]. На их основе, а также на основе проведенного анализа экспертным путем были разработаны примерные рекомендации по возможному разрешению конфликтов в акваториях российской части Юго-Восточной Балтики.

Литература

1. *Андриашкина А.Ю., Домнин Д.А., Чубаренко Б.В.* Потенциалы и конфликты использования морских акваторий в российской части юго-восточной Балтики // Северо-Запад России в регионе Балтийского моря: проблемы и перспективы экономического взаимодействия и сотрудничества: монография / Под ред. Я. Заухи, Г.М. Федорова, Л.Э. Лимонова, Н.Ю. Юдинг. – Калининград: изд-во РГУ им. И. Канта, 2008, с. 230-275.

2. *Блажчишин А.И., Болдырев В.Л.* Ресурсы инертных материалов на Калининградском побережье // Экологические проблемы Калининградской области и юго-восточной Балтики. – Калининград: изд-во КГУ, 1999, с. 76–79.
3. Большой энциклопедический словарь – big-enc.ru/.
4. *Великанов Н.Л., Проскурнин Е.Д.* Калининградская область: Особенности использования водных ресурсов. – Калининград: ФГУИПП «Янтар. сказ», 2003. – 128 с.
5. Индикаторы устойчивого развития для комплексного управления прибрежной зоной юго-восточной Балтики / Под ред. К. Гилберта. – Гданьск: Изд-во Drukarnia WL, 2008. – 164 с.
6. *Краснов Е.В.* Экология Калининградской области / Е.В. Краснов, А.И. Блажчишин, В.А. Шкицкий. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – 188 с.
7. Куршская коса. Культурный ландшафт / *В.И. Кулаков, В.А. Паевский, Н.С. Чернецов*. – Калининград: Янтарный сказ, 2008. – 431 с.
8. Мониторинг береговой зоны Калининградского побережья Балтики // Отчет о работах по договору № 152 от 06.06.2002 г., АО ИОРАН (рук. В.Л Болдырев). – Калининград, 2002. – 88 с.
9. *Осадчий В.М.* Регулирование рыболовства и стратегия использования рыбных ресурсов в Куршском заливе: Автореф. дис. ... к.б.н. – Калининград, 2000. – 175 с.
10. Проект обустройства нефтяного месторождения Кравцовское (Д-6) на Балтийском море // Оценка воздействия на окружающую среду. – Калининград, 2002. – 28 с.
11. Режим плавания судов в Балтийском море и Ладожском озере (Сводное описание). Гидрографическая служба Балтийского флота – СПб., 2005. – 62 с.
12. Рекомендации по комплексному управлению прибрежной зоной и пространственному планированию морских акваторий в юго-восточной Балтике / Междунар. конф. «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов юго-восточной Балтики». Калининград, 27–28 марта 2008 г. (http://corpi.ku.lt/SDI-4-SEB/results.htm).
13. Состояние окружающей среды Калининградской области в 2000 г. – Калининград, 2001. – 160 с.
14. Схема охраны природы Калининградской области / Под ред. Ю.А. Цыбина. – Калининград: Изд-во TENAX MEDIA, 2004. – 136 с.
15. *Федоров Г.М., Корнеевец В.С.* Балтийский регион: социально-экономическое развитие и сотрудничество: Монография. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – 208 с.
16. *Федоров Л.С.* Характеристика рыболовства и управление рыбными ресурсами Вислинского залива: Автореф. дис. ... к.б.н. – Калининград, 2002. – 266 с.
17. *Чубаренко Б.В., Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П.* Прогнозируемые условия измерения климата в регионе юго-восточной Балтики. Материалы межд. конф. «Динамика прибрежной зоны бесприливных морей». 30 июня–5 июля 2008 г. Балтийск, с. 171–175.

И.А. Нечитайло

ПРОБЛЕМЫ ТИПОЛОГИИ ПРОЦЕДУР ФИНАНСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЯХ

I.A. Nechitailo

PROBLEMS OF FINANCIAL MANAGEMENT PROCESSES CLASSIFICATION IN COMPANIES

В статье на основе положений общей теории управления выделяются основные различия стратегического и оперативного управления. На базе проведенных различий между этими видами управленческой деятельности с учетом специфики финансов определяются основные особенности стратегического и оперативного управления финансами, оперативного финансового планирования и контроля в организациях.

Ключевые слова: финансы, финансовый менеджмент, стратегическое планирование, оперативное управление, финансовое планирование, финансовый контроль, бюджетирование

The fundamental differences of strategic and operational management are defined in the article basing on the general theory of management. The fundamental features of strategic and operational finance management, company operational finance planning and controlling are defined basing on the above-stated differences subject to the specific character of finances.

Key words: finance, financial management, strategic planning, operational planning, financial planning, controlling, budgeting.

В экономической науке и практике принято различать стратегические и тактические (оперативные) аспекты управленческой деятельности. Очевидно, что смысл выделения стратегического и оперативного управления в отдельные разновидности управленческой деятельности обусловлен качественными отличиями явлений, обозначаемыми этими понятиями. В полной мере это относится к стратегическим и оперативным сторонам управления финансами организаций. В то же время в экономической литературе нет однозначного понимания этих терминов, а отнесение отдельных решений к стратегическим и оперативным на практике часто носит противоречивый и бессистемный характер. Отсутствие четкой непротиворечивой терминологии осложняет постановку и последовательное решение ряда важных прикладных проблем финансового управления, например, проведение оценки адекватности системы оперативного финансового управления по отношению к выбранной стратегии развития бизнеса. В связи с этим в целях создания терминологической основы для корректной постановки и решения задач финансового менеджмента представляется целесообразным уточнить содержание стратегического и оперативного управления и, основываясь на этом, раскрыть особенности основных видов управленческих процедур в области финансов организаций.

Некоторые отечественные авторы видят стратегическое управление как «процесс, определяющий последовательность действий организации по разработке и реализации стратегии» [Азоев, 2001, с. 139]. При этом под стратегией понимается «генеральный план, определяющий приоритеты стратегических задач, ресурсы и последовательность шагов по достижению стратегических целей» [там же, с. 133]. Очевидно, последнее определение представляет собой тавтологию, поскольку в нем определяемое понятие раскрывается через него самого. При этом понятие генерального плана является настолько неоднозначным, что не может быть использовано при определении такого важного понятия, как стратегия. Таким образом, это определение не показывает отличительных признаков стратегических решений и, кроме того, оставляет открытым вопрос о процедуре стратегического управления, относя к нему не только разработку, но и реализацию стратегии.

В связи с этим обращает на себя внимание описание процесса реализации стратегии, приводимого авторами другого посвященного стратегическому управлению издания. Последние считают, что «процесс реализации стратегии может быть разделен на два больших этапа: а) процесс стратегического планирования – выработка набора стратегий, начиная от базовой стратегии предприятия и кончая функциональными стратегиями и отдельными проектами; б) процесс стратегического управления – реализация определенной стратегии во времени, переформулирование стратегии в свете новых обстоятельств» [Петров, 1998, с. 6]. Однако в этом определении непонятно то, почему планирование выделяется в какой-то особый процесс, противопоставленный управлению, а «переформулирование стратегии» (формой существования которого, очевидно, также должно являться стратегическое планирование) в то же время относится уже к стратегическому управлению. Следствием принятия такого определения должно стать признание того, что процесс стратегического планирования может иметь место на предприятии только один раз – в момент его образования, поскольку все остальное – лишь «пересмотр» стратегии, который планированием уже не является. Основным же недостатком такого определения является то, что из него непонятно, какие еще виды управления существуют помимо стратегического. Очевидно, в качестве реализации определенной стратегии можно рассматривать любое управленческое действие, кроме ее разработки. Принимая во внимание, что стратегии у предприятия не может не быть (поскольку ее разработка в худшем для предприятия случае может происходить в форме так называемого «хаотического планировании», что отмечается авторами того же издания), при данных дефинициях понятие стратегического управления полностью утрачивает смысл, отождествляясь с управлением вообще. В связи с этим можно утверждать, что об исполнении и контроле исполнения планов, в том числе и стратегических, вряд ли корректно говорить как о стратегическом управлении. То же можно сказать и о подготовке большей части планов, которые представляют собой способ реализации определенного стратегического

решения и составляются, как правило, на незначительную перспективу, являясь во многих организациях основой оперативного управления.

Помимо подобных определений в литературе по стратегическому планированию можно встретить другие дефиниции, в частности, определение А. Чандлера, успевшее стать классическим, согласно которому стратегическое управление – это «определение основных долгосрочных целей и задач предприятия и утверждение курса действий и распределения ресурсов, необходимых для достижения этих целей» [Петров, 1998, с. 5]. Основной критерий, присутствующий в данном определении, по которому стратегическое управление можно отграничить от оперативного – это критерий долгосрочности последствий принимаемых решений. В то же время граница между долгосрочной и краткосрочной перспективами не представляет собой достаточно определенной величины. На это обстоятельство обращают внимание и некоторые цитируемые выше авторы, которые отмечают, что «точную границу между стратегическим и тактическим планированием провести трудно» и что «обычно стратегическое планирование охватывает в несколько раз больший промежуток времени, чем тактическое; оно имеет гораздо более отдаленные последствия, шире влияет на функционирование управляемой системы в целом и использует более мощные ресурсы, чем тактическое» [Анфилатов, 2002, с. 215–216].

Попытки введения критерия, позволяющего обоснованно проводить разграничение долгосрочной и краткосрочной перспективы, можно найти в изданиях, посвященных микроэкономической проблематике. Например, Э. Дж. Долан и Д. Линдсей долгосрочным признают «временной горизонт, величина которого достаточна для того, чтобы дать возможность измениться как постоянным, так и переменным издержкам» [Долан Э., 1992, с. 139]. Краткосрочный же интервал определяется ими как «временной горизонт, в рамках которого объем выпуска продукции может регулироваться только с помощью изменения объемов переменных затрат, в то время как постоянные затраты остаются неизменными» [там же]. Иными словами, что в первом случае в отличие от второго имелся в виду горизонт, величина которого достаточна для того, чтобы охватить последствия любых решений, в том числе связанных с изменением величины постоянных затрат. Однако сами постоянные затраты определяются этими авторами как «затраты, которые не могут быть за относительно короткий промежуток времени ни увеличены, ни уменьшены с целью увеличения или уменьшения объема выпуска продукции» [там же]. Переменные же затраты, по их мнению, «могут быть увеличены или уменьшены с целью соответствующего изменения объемов производства в рамках краткосрочных временных интервалов» [там же]. Очевидно, что данные определения заключают в себе круг, так как долгосрочный и краткосрочный интервалы определяются через переменные и постоянные затраты, а содержание последних понятий раскрывается через первые. Как правило, это затруднение разрешается постулированием определенного состава переменных и постоянных затрат.

Таким образом, обычно разграничение долгосрочного и краткосрочного периодов производиться либо с помощью выделения круга явлений, обусловливающих величину таких сроков, либо же с помощью постулирования конкретных сроков. Однако это не решает проблемы разграничения долгосрочного и краткосрочного интервалов в общем виде в связи с самой ее неверной постановкой. Представляется, что долгосрочный характер последствий большей части решений, которые многие авторы склонны относить к стратегическим, является не сутью этого типа управления (равно как и краткосрочность – сутью оперативного), но лишь следствием интуитивного применения более фундаментального критерия, позволяющего разграничить стратегическое и оперативное управление.

Для определения такого критерия и выявления особенностей стратегического и оперативного управления финансами в организациях следует обратиться к некоторым положениям трудов основоположников общей теории управления и рассмотреть возможные виды управляющих воздействий в социальных системах. В фундаментальной работе У. Росса Эшби «Введение в кибернетику» [Росс, 1959] показано, что назначение управляющего воздействия заключается в ограничении разнообразия системы, иными словами, в сведении всего множества возможных состояний управляемой системы до множества состояний, которые могут быть отнесены к допустимым для систем данного класса. В данном труде это утверждение иллюстрируется рядом схем, показывающих разные типы управляющих воздействий, которые в целях наглядности могут быть обобщены в одну схему, показанную на рис. 1.

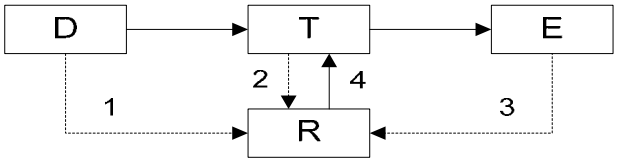


Рис. 1. Система с управлением основных типов

Здесь D – множество возмущений, возникающих в среде и влияющих на систему, R – регулятор системы, E – регулируемая система, понимаемая Эшби и другими специалистами по кибернетике и системному анализу как набор переменных, значимых при определенном рассмотрении объекта, T – некое поле (матрица) исходов, которые определяются разнообразием воздействий D и R. Иными словами, T не что иное, как среда, на которую регулятор R оказывает воздействие с целью удержания разнообразия исходов влияния, возникающих в среде возмущений D в пределах множества допустимых.

На данной схеме видно, что основным различием управляющих воздействий является тип канала информации, на основании которой регулятором вырабатывается это воздействие. Так, на схеме показано управляющее воздействие

(в виде контура 4), выработка которого основана на информации о возмущении, поступающей в регулятор R до начала действия возмущения (по контуру 1). Такое управляющее воздействие может быть охарактеризовано как основанное на предвидении действия D и в дальнейшем будет обозначаться как управляющее воздействие типа 1. Другой тип управляющего воздействия (тип 2) основан на информации, поступающей в R непосредственно в процессе действия (по контуру 2), когда исход в E в данном цикле еще не определен. Управляющее воздействие типа 3 представляет собой основную форму функционирования «следящей системы, управляемой ошибками» или, иначе, «регулятора с замкнутой петлей» с обратной связью от E к R. Выработка управляющего воздействия в последнем случае основывается на фиксации регулятором R уже осуществившегося влияния среды на E.

Временной интервал, на протяжении которого реализуется акт поступления в регулятор информации по одному из возможных каналов и реакция регулятора на эту информацию, представляет собой один шаг или цикл. Такой шаг может составлять любой, приемлемый в данном рассмотрении, промежуток времени вплоть до бесконечно малого (что приводит к рассмотрению функционирования системы как непрерывного процесса). Тем не менее изменения, происходящие в системе, при необходимости также могут быть представлены дискретными. Более того, сам Эшби отмечает, что «действительная истина заключается в том, что естественная система наблюдается в дискретных точках» [Росс Эшби У., 1959, с. 49]. Последнее чрезвычайно актуально при построении моделей финансового управления, что станет очевидно ниже. При этом продолжительность шага и соответственно скорость изменения состояния всех блоков определяется, в первую очередь, особенностями проявления комплекса возмущений D, который может включать в себя более или менее значимые для системы возмущения, а также множеством допустимых состояний системы E.

При рассмотрении вышеприведенной схемы важно помнить, что, как отмечает Эшби, «ничто в этой формулировке не препятствует тому, чтобы величины, или состояния, или элементы в D, R, T или E состояли сами из частей, связанных различными соотношениями» [там же, с. 309]. Например, в связи с усложнением регулятора R, вышеприведенная схема может быть детализирована так, как это показано на рис. 2. При этом связи вновь выделенных блоков R процедурно могут реализовываться в рамках нескольких циклов на протяжении одного цикла функционирования всей системы блоков.

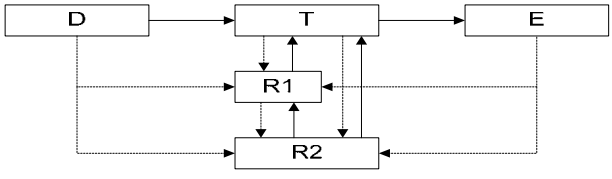


Рис. 2. Система со сложным регулятором

В то же время для понимания содержания некоторых широко используемых в научной среде понятий возникает необходимость предпринять обратную операцию, объединив два базовых блока Т и Е схемы, изображенной на рисунках 1 и 2, в один блок О. В результате схема на рис. 2 может быть преобразована в изображенную на рис. 3 схему, схожую с часто встречающимися в экономической литературе рисунками. Так синтезируется сложное понятие объекта управления, которое, с одной стороны, включает окружающую среду и инструменты противодействия ее проявлениям, а с другой – саму систему с управлением, состояния которой должны удерживаться в рамках множества допустимых. При таком представлении объекта управления становится понятным, как объект может одновременно представлять собой «предмет, явление, на который направлена какая-либо деятельность» [Азрилиян, 2001, с. 463] и «исполнительный инструмент, реализующий основную функцию системы» [Анфилатов, 2002, с. 202].

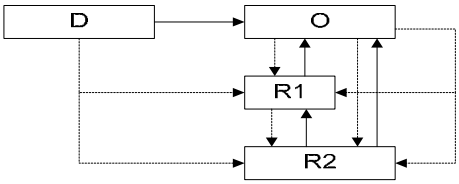


Рис. 3. Укрупненная схема системы со сложным регулятором

В некоторых сложных системах для упреждения действия особенно значимых возмущений в перспективе, охватывающей достаточно большое количество циклов, регулятор может подготовить ряд действий, выполнение которых обеспечит возможность сохранения адекватности при появлении подобных возмущений в анализируемой перспективе. В категориях диалектики значимыми могут быть признаны те возмущения и упреждающие их действия R, которые, вызывая количественные изменения, предполагают переход к изменению качества, понимаемого как «совокупность необходимых свойств предмета» [Алексеев, 1999, с. 477], и относительную необратимость их последствий. Применительно к социальным системам подобные возмущения можно назвать стратегическими, а выработку способа реагирования этих систем на них (т.е. изменение матрицы исходов) на основании их предвидения и изменение представлений о самом множестве допустимых состояний системы – стратегическим управлением, существующим в форме стратегического планирования. Реализацию же выбранной стратегии в рассмотренной пошаговой схеме управления определим как оперативное управление. Таким образом, оперативное управление в социальной системе заключается в циклических (периодически повторяющихся) воздействиях на объект, основанных на вышерассмотренных каналах поступления в регулятор информации и направленных на реализацию выбранной стратегии. При этом о типе оперативного управляющего воздействия,

основанного на контуре 1, можно говорить как об оперативном планировании, о типе 3 – как о заключительном контроле, о типе 2 – как об исполнении оперативных планов в случае их наличия и как о непосредственном выполнении ряда действий в общем случае. Кроме того, помимо контроля над состоянием всей системы можно говорить о контроле, возникающем, например, в отношениях блоков R1 и R2 системы (см. рис. 2) на этапе подготовки управляющего воздействия, основанного на контуре 1 (т.е. на этапе подготовки плана), что особенно важно при построении моделей финансового управления.

Оправданность введения предложенных определений оперативного и стратегического управления обусловливается устранением сложностей с описанием проявлений стратегического и оперативного управления в конкретных управленческих циклах и тем, что дефиниции стратегического и оперативного управления не ставятся в зависимость от условностей, необходимых для разграничения краткосрочной и долгосрочной перспектив. Бесспорно, понятие значимости, определяемое через философскую категорию качественных изменений, также не может быть признано образцом строгости и при построении конкретных моделей управления в определенной степени предполагает постулирование того, что есть качественное изменение в системе данного класса. Тем не менее это обстоятельство сложно представить источником затруднений при построении моделей, поскольку, например, в области финансов предприятий обычно достаточно легко отграничить возмущения среды и решения, сопряженные с качественными и простыми количественными изменениями системы. В то же время в случае необходимости такие дефиниции дают возможность делать обобщения, оперируя логически непротиворечивыми понятиями. При этом не вызывает сомнения, что последствия большей части решений, имеющих стратегический характер, действительно будут находить свои проявления в течение достаточно большого временного интервала. Однако при использовании таких дефиниций все сроки не будут носить аксиоматический характер, что дает возможность выбирать их в зависимости от класса принимаемых решений и объектов.

Особенности стратегического и оперативного финансового управления в организациях, помимо общих свойств стратегических и оперативных решений, в значительной степени определяются спецификой системы отношений, именуемых в экономической литературе финансами организаций. В настоящее время подавляющая часть экономистов склонна связывать финансы организаций с денежными отношениями, возникающими по поводу формирования и использования фондов денежных средств в организациях. М.В. Романовский и ряд других экономистов, говоря о финансах хозяйствующих субъектов, считают, что «это относительно самостоятельная сфера системы финансов государства, которая охватывает широкий круг денежных отношений, связанных с формированием и использованием капитала, доходов, денежных фондов в процессе кругооборота их средств и выраженных в виде различных денежных потоков» [Романовский, 2000, с. 20]. Схожим образом определяют финансы

предприятий В.В. Ковалев и некоторые другие авторы, которые считают, что «финансы предприятий представляют собой совокупность денежных отношений, возникающих у субъектов хозяйствования по поводу формирования фактических и потенциальных фондов денежных средств, их распределения и использования на нужды производства и потребления» [Ковалев, 2004, с. 245]. Таким образом, о финансах организации можно говорить как о ее подсистеме, обеспечивающей формирование и использование ее фондов денежных средств. Эти процессы находят выражение в системе финансовых показателей деятельности организации. Очевидно, об этих показателях можно говорить как об объектах финансового управления, имея в виду, что они отражают общественные отношения в рамках той подсистемы предприятия, которую мы назвали финансами организаций. Соответственно, комплекс управляющих воздействий на эти общественные отношения, проводимых в процессе формирования и использования фондов денежных средств организаций, представляет собой финансовое управление в организациях.

Особое внимание следует уделить тому обстоятельству, что непосредственное влияние на многие финансовые показатели организации оказывается деятельностью практически всех ее служб как составных частей аппарата управления (т.е. регулятора) организации. Однако очевидно, что такое влияние является следствием выполнения большей частью этих служб своих функций как регуляторов других подсистем организации (например, производства), а значение того или иного связанного с их деятельностью финансового показателя является для них «сопутствующим или даже побочным продуктом». Соответственно, сами по себе финансовые показатели не могут рассматриваться как объекты регулирования этих служб, а подавляющая часть их деятельности – как финансовое управление. В то же время можно говорить о целенаправленной корректировке влияния таких служб на финансовые показатели со стороны специально создаваемых для этого в организации финансовых служб, обеспечивающих финансовую дисциплину в организации. Именно система таких упорядочивающих ответственность и вознаграждения воздействий в полной мере позволяет включить все подразделения предприятия в систему финансовых отношений. В связи с этим целенаправленные корректировки деятельности других (нефинансовых) служб, проводимые в процессе формирования и использования фондов денежных средств, можно считать важной составляющей финансового управления, а нефинансовые службы следует рассматривать как объекты финансового управления, существующие в форме центров ответственности за обоснованность фактических значений финансовых показателей. Несмотря на это, как составные части аппарата управления деятельностью организации, нефинансовые службы могут целенаправленно вовлекаться финансовыми службами в процесс финансового управления и также быть активными участниками этого процесса, т.е. быть не только объектами, но и его субъектами (например, при подготовке финансовых планов). Таким образом, говоря о финансовом

управлении в организациях, необходимо иметь в виду сложную систему отношений между разными частями аппарата управления организации, а также отдельными частями этого аппарата и окружающей средой по поводу формирования и использования фондов денежных средств организации.

Как и в других сферах управления в социальных системах, весь комплекс управляющих воздействий финансовых служб организации может быть подразделен на стратегическое и оперативное финансовое управление. На основании ранее проведенных рассуждений можно утверждать, что стратегическое финансовое управление заключается в проработке финансовых аспектов любого значимого для организации решения. Согласно принятому ранее критерию значимости такое решение должно иметь своими последствиями существенное изменение величины и структуры всех ключевых финансовых показателей, которыми характеризуется деятельность организации, поскольку существенное изменение этих показателей будет означать изменение (как правило, необратимое) качественных особенностей, «свойств» организации. В частности, для коммерческой организации необратимый характер находит выражение в возможности потери всей или значительной части активов при изменении особенностей ее деятельности и, таким образом, связан с понесенными ранее затратами, которые с определенной вероятностью не будут возмещены в процессе кругооборота капитала при изменении стратегии развития организации.

Подготовка финансовых аспектов таких решений заключается в предварительном контроле обоснованности готовящихся нефинансовыми службами решений и в выборе источников финансирования планируемых мероприятий. Наиболее ярким примером стратегического финансового планирования является проведение финансовой службой коммерческой организации расчетов показателей эффективности требуемых производственными службами капитальных вложений, которые являются основанием для принятия или отклонения проектов этих служб, а также проведение выбора источников их финансирования (т.е. формирование долгосрочных пассивов). Другими примерами стратегического финансового управления может быть участие финансовой службы в подготовке проектов изменений схемы отношений с поставщиками наиболее значимых ресурсов, сопряженных с изменением уровней запасов и риска срыва поставок, а также в подготовке проектов изменений в кредитной и дивидендной политике и т.п. Таким образом, решения стратегического характера в коммерческой организации было бы неправильно связывать с изменением величины только лишь внеоборотных активов и долгосрочных пассивов.

Очевидно, что большая часть таких решений для конкретной организации имеет уникальный характер, связанный с существенными изменениями среды организации, их принятие не повторяется с определенной периодичностью, равно как и стимулирующие их принятие воздействия окружающей среды. В связи с этим важной особенностью стратегического управления финансами организаций является затруднительность создания универсальных и при этом

высокодетализированных методик и строгого регламента подготовки обоснований связанных с ним решений даже в рамках одной организации. Общие же необходимые связи экономических показателей, которые следует принимать во внимание при подготовке таких решений, нашли отражение в ряде финансовых теорий и моделей идеальных типов, таких как модели дисконтирования денежных потоков, теории структуры капитала и выплаты дивидендов, модель нахождения оптимального складского запаса и т.п. Несмотря на это мониторинг таких воздействий (в том числе маркетинговые исследования и анализ применяемых в отрасли технологий) с целью выявления потенциальных конкурентных преимуществ должен носить постоянный характер.

Оперативное финансовое управление справедливо рассматривать в качестве формы реализации стратегических решений. В отличие от стратегического оперативное финансовое управление в организации представляет собой комплекс процедур подготовки типовых управляющих воздействий, генерируемых финансовыми службами в ответ на не предполагающие значительного изменения величины и структуры финансовых показателей действия других служб организации, а также на незначительные изменения окружающей организацию среды. Руководствуясь показанными на рис. 1 различиями в каналах поступления информации в аппарат управления системы, можно выделить три типа оперативных управляющих воздействий, генерируемых финансовыми службами организаций:

– воздействия, основанные на предвидении и прогнозировании финансовыми службами развития ситуации (т.е. на поступающей по контуру 1 информации) и существующие в форме оперативного финансового планирования;

– воздействия, основанные на поступающей в финансовые службы информации непосредственно в процессе выполнения регулируемых действий (на поступающей по контуру 2 информации);

– воздействия, основанные на оценке финансовой службой данных об уже выполненных другими службами действиях (т.е. на поступающей по контуру 3 информации).

Оперативное финансовое планирование в организации представляет собой механизм приведения в единую систему решений руководителей различных подразделений, сопряженных с финансовыми последствиями и принимаемых в порядке подготовки на ближайшую перспективу проектов действий в установленных выбранной стратегией рамках. Величины, установленные в процессе оперативного финансового планирования, находят отражение в системе оперативных финансовых планов организации, называемых также бюджетами. При этом в процессе оперативного планирования финансовая служба может оказывать опосредованное или непосредственное воздействие на многие важные финансовые показатели, в том числе:

– на величину ожидаемых поступлений денежных средств, принимая участие в ценообразовании и корректировке параметров кредитной политики в установленных стратегией рамках;

– на величину предстоящих платежей, инициируемых различными службами, проводя предварительный контроль их обоснованности, под которой следует понимать соответствие действий целям деятельности организации или более частным задачам, поставленным в связи с достижением этих целей;

– на распределение во времени в допустимых пределах прошедших контроль обоснованности предстоящих платежей, а также на величину краткосрочных займов и размещаемых в форме краткосрочных финансовых вложений свободных денежных средств (и связанных с ними величин финансовых показателей), проводя операции на финансовом рынке.

Основными особенностями оперативного финансового планирования можно считать возможность стандартизации большей части расчетов и процедур подготовки оперативных финансовых планов, а также незначительную перспективу (горизонт) планирования и необходимость ее унификации для всех оперативных планов. Первая особенность определяется тем, что в силу заданности основных свойств системы ранее принятой стратегией в рамках оперативного финансового планирования на определенную перспективу происходит упорядочивание потока, главным образом, стандартных воздействий среды и принимаемых исходя из них типовых решений. Поэтому процедура оперативного финансового планирования предполагает возможность и необходимость использования заранее утвержденных высокодетализированных алгоритмов расчетов экономических показателей и процедур составления, согласования и утверждения подобных планов. При этом алгоритмы расчета показателей представляют собой комплекс нормативно установленных и унифицированных в организации методик плановых расчетов экономических показателей. Процедуры же составления, согласования и утверждения подобных планов должны находить выражение в организационной документации организации (например, в бюджетном регламенте), которой устанавливаются сроки и порядок проведения этих административных процедур ответственными исполнителями.

Перспектива планирования должна быть одинакова для всех составляемых в организации оперативных финансовых планов. Иными словами, все проводимые в рамках системы оперативного финансового планирования расчеты должны выполняться на одну и ту же перспективу. Эта особенность определяется требованием системности проводимых расчетов, которая находит выражение в том, что многочисленные оперативные решения служб, принимаемые в течение относительно незначительного промежутка времени и существующие в форме их оперативных планов, не должны противоречить друг другу. В связи с этим возникает необходимость приведения всех оперативных планов различных служб, в том числе и финансовой службы, в единую систему, которая позволила бы финансовой службе проводить периодический предварительный

контроль обоснованности инициируемых различными службами платежей и на базе планируемых другими службами платежей и поступлений проводить балансирование денежных потоков. Очевидно, что оперативные решения разных служб организации могут быть приведены в единую систему только в условиях выполнения связанных с ними расчетов на унифицированную перспективу.

Перспектива оперативного финансового планирования не должна быть велика и, как правило, не превышает одного года. Отсутствие необходимости в проведении расчетов на значительную перспективу при выработке управляющих воздействий рассматриваемого типа связано с тем, что оперативные решения – всего лишь форма реализации стратегии и сами по себе не имеют значимых долгосрочных последствий. К тому же необходимо принимать во внимание, что содержанием оперативного реагирования является варьирование показателей в пределах относительно небольших диапазонов. Это предполагает высокий уровень точности расчетов, проводимых в системе оперативного финансового планирования. В связи с этим расчеты на перспективу, превышающую год, даже в условиях незначительной неопределенности становятся лишенными смысла.

С другой стороны, перспектива оперативного финансового планирования не должна быть слишком мала и обычно составляет несколько равных периодов, перед началом каждого из которых может производиться корректировка оперативных финансовых планов. Каждый из этих периодов можно назвать шагом оперативного финансового планирования. Необходимость выполнения финансовых расчетов на перспективу, равную нескольким шагам планирования, предопределяется тем, что для принятия обоснованных оперативных решений на первый предстоящий шаг следует принимать во внимание развитие ситуации в нескольких ближайших периодах после первого шага. Например, на следующем шаге может прогнозироваться необходимость в проведении ряда действий по регулированию денежных потоков, в частности, в привлечении банковского кредита для покрытия кассового разрыва или, наоборот, в переводе свободных денежных средств на депозит. В то же время при определении допустимой величины переводимых на депозит средств и корректного выбора его срока или необходимой величины банковских кредитов и приемлемых сроков их погашения может возникнуть необходимость в проведении расчетов предстоящих поступлений денежных средств и предстоящих платежей на перспективу, в несколько раз превышающую величину одного такого шага.

Содержание управляющих воздействий финансовой службы, основанных на контуре 2 входящей информации, при наличии в организации развитой системы планирования заключается в исполнении ранее утвержденных финансовых планов. В общем случае (независимо от практики подготовки в системе управляющих воздействий, основанных на контурах 1 и 3) данный тип воздействий финансовой службы проявляется:

– в текущем контроле обоснованности уровня дебиторской задолженности покупателей и авансов, выданных поставщикам;

– в текущем контроле обоснованности инициируемых другими службами платежей;

– в непосредственном осуществлении этих платежей с банковских счетов и из кассы, а также в совершении заимствований и размещении свободных денежных средств на финансовом рынке.

Текущий контроль обоснованности платежей при наличии на предприятии развитой системы планирования в течение шага оперативного финансового планирования находит выражение в сверке параметров подаваемых на оплату разными службами счетов с показателями бюджета с последующим принятием или отклонением первых. В случае отсутствия ранее принятых четких плановых ориентиров правила проведения этой процедуры могут заметно отличаться друг от друга и в одном из своих вариантов заключаются в сверке параметров счетов с условиями ранее заключенных договоров, которые перед этим также должны проходить финансовый контроль. Циклом, в котором вырабатываются управляющие воздействия этого типа, может быть любой нестандартный временной отрезок, составляющий от нескольких минут или часов до нескольких дней. При наличии на предприятии системы планирования и соответственно установленного шага оперативного финансового планирования вышеуказанный временной отрезок должен находиться внутри этого цикла и быть значительно меньше него. Данный вид управляющих воздействий финансовых служб является неотъемлемой частью любой системы оперативного финансового управления и иногда даже некорректно отождествляется с самим оперативным финансовым управлением.

Содержание управляющих воздействий финансовой службы, основанных на контуре 3 входящей информации, при наличии на предприятии развитой системы планирования состоит в проведении заключительного контроля исполнения финансовых планов по истечению одного или нескольких шагов оперативного финансового планирования, составляющих шаг заключительного финансового контроля. В общем случае (независимо от практики выработки в системе управляющих воздействий типа 1) данный тип воздействий проявляется, в первую очередь, в контроле обоснованности величины произведенных платежей, а для коммерческих организаций – также и фактических затрат и запасов посредством проведения их факторного анализа по окончанию шага финансового контроля. При этом было бы ошибочным сводить этот тип управляющих воздействий к сверке фактических значений показателей с их плановыми значениями. Степень соответствия плановых величин фактическим является всего лишь одной из форм проверки обоснованности, к тому же не самой совершенной. В идеале базой для сравнения должны быть не плановые значения показателей, но их фактические значения в пересчете на условия работы системы при идеальной работе аппарата управления системы (т.е. администрации предпри-

ятия, цехов и т.п.). В этом случае сравнение фактических значений показателей с последними давало бы возможность оценить степень выполнения работниками аппарата управления своих функций и на основании этой оценки воздействовать на виновных лиц, мотивируя их не допускать выявленных нарушений в будущем. В идеальном случае проведение таких мероприятий и составляет основное содержание заключительного контроля обоснованности финансовых показателей со стороны финансовых служб.

Данный подход к осуществлению контроля в коммерческих организациях находит выражение в практике использования так называемых гибких бюджетов, представляющих собой результат перерасчета контролируемых величин исходя из фактических значений ряда факторных показателей и элиминирования влияния разных групп факторов на контролируемые финансовые показатели. В фундаментальной литературе по бюджетированию, например, в трудах К. Друри, Ч.Т. Хорнгрена, Дж. Фостера [Друри, 1998, Хорнгрен, 2000], рассматриваются гибкие бюджеты, различающиеся перечнем элиминируемых факторов. Наиболее простой пример гибкого бюджета представляет собой результат пересчета нормативных переменных затрат на фактический выпуск. При этом в экономической литературе и в практике финансового контроля максимальным уровнем факторного разложения обычно является уровень норм и нормативов затрат в натуральном измерителе на единицу носителя затрат. Тем не менее данные величины могут отражать действие не одного, а целой группы разнородных факторов. В связи с этим обычно предполагается, что условия протекания всех хозяйственных процессов, из которых исходили при разработке нормативов, полностью соответствуют существовавшим на протяжении всего шага финансового контроля условиям. Таким образом, предполагается, что сопоставление нормативного значения этого показателя с его фактическим значением дает возможность количественно выразить воздействие на хозяйственные процессы человеческого фактора, являющегося объектом финансового контроля. В то же время указанное предположение о тождественности условий, за исключением действия человеческого фактора, не всегда бывает корректным. Однако в случае отказа от этого предположения возникла бы необходимость в процессе заключительного контроля проводить корректировку нормативов (которые могли до этого использоваться в планировании) и рассчитывать их уточненные значения, что представляет собой довольно трудоемкую, а иногда и невыполнимую с требуемой оперативностью процедуру. Поэтому финансовые аналитики при заключительном контроле уровня затрат обычно исходят из данного предположения и ограничиваются пересчетом плановых значений результирующих финансовых показателей на фактические цены расходуемых ресурсов, выпуск и реализацию, которые являются важнейшими затратообразующими факторами. Указанное обстоятельство необходимо принимать во внимание при анализе показателей по центрам финансовой ответственности.

Периодическая последовательная подготовка и реализация финансовой службой управляющих воздействий всех рассмотренных выше типов представляет собой полный цикл оперативного финансового управления в организации. Тем не менее не во всех системах оперативного финансового управления в равной степени практикуется выработка воздействий всех указанных типов, поскольку, как было показано выше, каждый тип может существовать относительно обособленно от других. Таким образом, организацию подготовки разных типов воздействий финансовыми службами можно рассматривать как разные, но, тем не менее, связанные в рамках одного полного цикла задачи.

Предложенная типология процессов финансового управления в организациях, бесспорно, представляет собой лишь один из возможных подходов к управлению финансами. В то же время предложенный подход позволяет оперировать системой непротиворечивых понятий, что создает основу для последовательного решения теоретических и прикладных задач управления финансами.

Литература

1. *Азоев Г.Л.* Управление организацией: Учебник / Под ред. А.Г. Поршнева, З.П. Румянцевой, Н.А. Саломатина. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: ИНФРА-М, 2001. – 669 с.
2. *Азрилиян А.Н.* Краткий экономический словарь / Под ред. Азрилияна. – М.: Институт новой экономики, 2001. – 1088 с.
3. *Алексеев П.В., Панин А.В.* Философия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 1999. – 576 с.
4. *Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А.* Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
5. *Долан Э. Дж, Линдсей Д.* Рынок: микроэкономическая модель: Пер. с англ. / Под общ. ред. Б. Лисовика и В. Лукашевича. – СПб., 1992. – 496 с.
6. *Друри К.* Введение в управленческий и производственный учет: Учебн. Пособие для вузов: Пер с англ. / Под ред. Н.Д. Эриашвили. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 783 с.
7. *Ковалев В.В.* Финансы: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.В. Ковалева. – М.: ТК Велби, изд-во «Проспект», 2004. – 512 с.
8. *Петров А.Н.* Стратегическое планирование и управление. Ч. 1: Учеб. пособие / Под ред. А.Н. Петрова. – 2-е изд., доп. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1998. – 142 с.
9. *Романовский М.В.* Финансы предприятий: Учебник / Под ред. М.В. Романовского. – СПб.: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000.
10. *Росс Эшби У.* Введение в кибернетику. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. – 432 с.
11. *Хорнгрен Ч.Т., Фостер Дж.* Бухгалтерский учет: управленческий аспект: Пер. с англ. / Под ред. Я.В. Соколова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 416 с.

СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

М.Г. Лазар

СОЦИОЛОГИЯ НАУКИ В РОССИИ: 20–30-е ГОДЫ XX ВЕКА

M.G. Lazar

SOCIOLOGY OF SCIENCE IN RUSSIA: 20–30 YEARS OF XX CENTURY

Статья раскрывает малоизвестные, но значительные достижения российско-советской социологии науки и науковедения 20–30-х годов XX в. и их влияние на формирование этих новых научных направлений за рубежом. Этот вклад не получил еще должной оценки в России и нуждается в дальнейшем изучении.

Ключевые слова: наука, история науки, социология науки, науковедение, социальный институт науки.

The article considers the little-known but significant achievements of the Russian and Soviet sociology of science and science of science in the 1920–30s and their impact on formation of those new research trends abroad. Their contribution has not been given due regard, and its further study is necessary.

Key words: science, history of science, sociology of science, science of science, social institute of science.

Ряд особенностей развития российской науки после распада СССР, такие как исчезновение заводской науки, сокращение финансирования государством фундаментальной науки и образования, кадровые потери отраслевой науки и резкое сокращение численности ученых всей отечественной науки при их ощутимом устаревании, заставляют задуматься над ее будущем, над осуществляемой властями ее реорганизации и финансировании на западный манер, над проблемами регуляции и саморегуляции науки, в частности, над проблемами идеалов, норм и этоса науки. Но это предполагает знание и опору на опыт прошлого (как своего, так и зарубежного) в организации и самоорганизаци науки, знание ее истории. Начавшаяся в 90-е годы реформа российской постсоветской науки сводится пока к переходу на грантовую систему финансовой поддержки при значительном сокращении ее бюджетного финансирования, к сокращению количества научных работников и научных организаций, что еще больше обостряет внутринаучные и внешненаучные социальные и этические проблемы нау-

ки. За последние годы в ряде публикаций нами были затронуты некоторые аспекты развития советской и российской науки, связанные с реорганизацией и финансированием науки через систему грантов, с проблемами подготовки кадров для науки и вхождением российских университетов в Болонский процесс [Лазар, 2002, 2008, 2009].

По этим актуальным проблемам истории и социологии науки существует значительная литература – книги, сборники, статьи. Но учитывая состояние библиотеки РГГМУ и другие обстоятельства, автор пришел к выводу, что для более успешной подготовки магистров и аспирантов по курсу «История и методология науки» и для всех интересующихся наукой целесообразно опубликовать цикл статей, посвященных этим проблемам современного науковедения, объединенных общим названием «Социологические проблемы науки».

В наши дни воспринимается как аксиома мысль о том, что наука является основой и условием всякого технического и технологического прогресса, всей современной цивилизации. Обозначается это как «инновационное развитие», «общество знаний», «информационное общество» и иными терминами, указывающими на решающую роль научных и технических знаний в современной жизни общества. Действительно, изменение места и роли науки в современной культуре и цивилизации привело в XX в. к возникновению **социологии науки,** являющейся составной частью более интегральной науки – **науковедения.** Как форма самопознания науки, как комплексное изучение науки средствами разных наук, науковедение включает: теорию (философию и методологию) науки, социологию науки, психологию и социальную психологию науки, экономику и организацию науки, историю науки, этику науки, политику науки, наукометрию и другие дисциплины, каждая из которых исследует науку с позиций своего специфического подхода.

Социология науки изучает науку как специфический социальный институт по производству, сохранению и трансляции теоретических знаний об окружающем мире. Она рассматривает науку как форму деятельности специализированной группы людей – ученых, между которыми возникают информационные по сути отношения, формы коммуникаций. Их деятельность регулируется специфическими идеалами, нормами, образующими этос науки.

Пик развития социологии науки в СССР приходится на 60–80-е годы XX в., но она активно развивается и сегодня в рамках науковедения, у которого в России – особая история и судьба. В России сегодня существуют специальные подразделения по изучению социологических проблем науки (сектора социологии науки) в Институте социологии и Институте истории естествознания и техники РАН (Москва), в Социологическом институте РАН (Санкт-Петербург), а в Санкт-Петербургском филиале ИИЕТ РАН с 1993 г. существует Центр социолого-науковедческих исследований, руководимый до 2007 г. известным социологом науки проф. С.А. Кугелем, являющимся с 1968 г. организатором Всесоюзной конференции «Проблемы деятельности ученого и научных коллекти-

вов», а с 1994 г. организатором и руководителем Международной школы социологии науки и техники, издающего Международный ежегодник «Проблемы деятельности ученого и научных коллективов», XXV выпуск которого вышел в 2009 г.

В России науковедение реально возникло в конце 20-х – начале 30-х годов XX в., а применение этого термина впервые осуществил ленинградский исследователь И.А.Боричевский в своем выступлении на объединенном заседании научного общества марксистов и психоневрологической академии 11 апреля 1926 г., предложивший тогда создать специальный науковедческий институт [Винклер, 1998, с. 6]. Как самостоятельная научная дисциплина социология науки, подменяющая в некоторых странах Запада все науковедение (термин, который в целом не был принят многими западными исследователями, возможно, потому, что он зародился в СССР), утвердилась в Европе и Америке в 1960-е годы, о чем писал один из ее основателей, английский историк науки Дж.Д. Бернал. В статье «Двадцать лет спустя», опубликованной и на русском языке в сборнике «Наука о науке», он писал: «Наука о науке или, как я ее называю в других местах, самопознание науки является великим начинанием второй половины двадцатого века» [Бернал, 1968, с. 266].

Однако, на наш взгляд, основы социологии науки, как и науковедения, *были заложены раньше других стран в Советской России и СССР в первые мирные годы после гражданской войны, в 20-е годы XX в.* В этом мы солидарны с мнением, выраженном в «Введении» к хрестоматии «У истоков формирования социологии науки (Россия и Советский Союз – первая треть XX в.)» ее составителем, немецким исследователем Розой-Луизой Винклер, доказавшей это опубликованными ею работами советских авторов. На базе исследований архивов РАН и других учреждений она утверждает: «Сейчас очевидно, что основы социологии науки закладывались именно в первой половине столетия и прежде всего в 1920-е годы. В это время почти во всех развитых странах Европы и в США возникло проблемное поле изучения социальных аспектов развития науки, что привело к появлению социологии науки» [Винклер, 1998, с. 6]. Однако этот же исследователь в указанном введении раскрывает очевидную роль именно российско-советских ученых 20–30-х годов: И.А. Боричевского, Н.И. Бухарина, С.Ф. Ольденбурга, Т.И. Райнина, Б.М. Гессена, Ю.А. Филипченко и др., в качестве пионеров становления социологии науки как нового научного направления в рамках науковедения. Вот что пишет по этому поводу **в 1926 г. И.А.Боричевский в статье «Науковедение как точная наука»:** «Современные теоретики тонкого знания не раз уже отмечали любопытное противоречие в развитии новой науки. С одной стороны, в той же мастерской современной науки не существует никакого объединяющего центра, никакой организации науки как целого. До сих пор ни в одной из культурных стран ... не существует ни одного учреждения, которое занималось бы изучением самой науки, как целого – теорией науки... Разрешение этого важного вопроса, большей ча-

стью, предоставляется философам. Но философский туман, обычно поднимаемый вокруг этих «мировых вопросов», заслоняет иногда действительность... Не иначе обстоит дело и с другим важным вопросом науки. Он гласит: какое место занимает научное познание среди других видов деятельности общественного человека, какова действенная роль науки в обществе в целом? Само собой разумеется, решение этого важного вопроса невозможно без привлечения общественной науки – *социологии*. Но столь же ясно и другое: прежде чем рассуждать об общественной роли науки, необходимо уяснить, что такое сама наука, раскрыть внутреннюю ее природу» [Боричевский, 1998, с. 19]. Раскрывая в дальнейшем эту природу науки, он в конце статьи приходит к выводу: «Теперь мы имеем достаточно данных для того, чтобы ответить на вопрос, чем должна быть наука о науке – теория науки?... Самым подходящим, как нам кажется, было бы такое: теория науки или *науковедение*» [там же, с. 23].

Остается констатировать, что после 1922 г., окончания гражданской войны и образования СССР, года принудительной высылки из Советской России группы либерально мыслящей интеллигенции (в их числе П.А. Сорокин, Н.А. Бердяев и др.), классическая социология в СССР уже постепенно оттесняется. Она подменяется марксистской философией – историческим материализмом, благодаря работам и усилиям видного идеолога большевизма и партийного деятеля, крупного организатора советской науки Н.И. Бухарина, ставшего в 1929 г. (после сильного сопротивления большинства академиков) первым академиком Российской Академии наук по общественным наукам. В том же 1929 г. и, видимо, по этой же причине «вся социология в целом была признана «буржуазной наукой», а на термин «социология» был наложен запрет» [Ащеулова, 2006, с. 3]. Однако Бухарин претворил в жизнь мечту И.А. Боричевского, являясь организатором и директором созданного в 1932 г. в рамках Академии наук Института истории науки и техники. Институт просуществовал до 1938 г., года расстрела Бухарина, после инсценированного Сталиным процесса над «право-троцкистским блоком». Но его сотрудники успели оставить впечатляющие результаты, которые были долгие годы закрыты в архивах. Институт воссоздан в 1954 г. и успешно функционирует и сегодня как ИИЕТ РАН.

Тем не менее есть все основания утверждать, что именно исследования советских ученых по истории, организации и социологии науки в 20–30-х годах оказали ощутимое влияние на развитие социологии науки в Англии, Германии и США, подталкивая некоторые направления исследований. Мы имеем в виду в первую очередь тот резонанс, который имели в этих странах доклады членов советской делегации на втором международном конгрессе по истории науки в Лондоне в 1931 г., опубликованные к конгрессу в виде отдельного сборника на английском языке под названием «Наука на перепутье». В частности – доклад Б.М. Гессена «Социально-экономические корни механики Ньютона» [см.: У истоков формирования…, 1998, с. 78–115], который вызвал тогда и впоследствии, вплоть до конца 70-х годов XX в., широкий отклик и оживленные дис-

куссии среди зарубежных исследователей, как марксистов, так и немарксистов, что отметила цитированная выше Роза-Луиза Винклер: «Считается, что он послужил исходным импульсом в возникновении современных экстернальных интерпретаций развития науки в зарубежной социологии и истории науки. Его влияние на левый круг ученых во главе с Дж. Берналом в Англии и на раннюю работу Роберта Мертона широко известно» [Винклер, 1998, с. 9–10]. Кстати, эти доклады стали широко доступными для российско-советских ученых лишь благодаря усилиям цитированного немецкого исследователя советской социологии науки этого периода [мы имеем в виду хрестоматию «У истоков формирования социологии науки (Россия и Советский Союз первая треть XX в.)», 1998 г.], поскольку, как она отмечает, «предложение ученых ГДР в 1972 г. об издании советских работ 20–30-х годов по науковедению, включая и работу Гессена, в то время не нашло поддержки со стороны Института истории естествознания и техники АН СССР (предложение находится в личном архиве автора). Американское издание готовится (Harvard University)» [там же, с. 9]. (Выражение «не нашло поддержки» – весьма вежливая формулировка для обозначения той зависимости руководителей академических учреждений от властей и идеологии, которая существовала в советское время.) До начала 80-х годов этот научный и исторический факт – наличие значительных исследований в области науковедения и социологии науки 20–30-х годов и их влияние на зарубежное науковедение – не нашел признания в СССР, а по некоторым причинам, о которых пойдет речь ниже – и в Англии и США. Что касается СССР, то это не удивительно, поскольку даже при М.С. Горбачеве не были полностью раскрыты архивы страны, академические в том числе. А отношение к Н.И. Бухарину в СССР не изменилось впредь до 1988 г., года его полной политической реабилитации. Если говорить об отношении советских властей к Н. Бухарину, вспоминается один факт из своей личной жизни: в 1980 г., когда я перешел на работу в РГГМУ (тогда ЛГМИ), мой предшественник по кафедре марксизма-ленинизма, преподаватель-женщина, была уволена по настоянию Красногвардейского РК КПСС г. Ленинграда за то, что она рекомендовала студентам ЛГМИ читать... работы Н.И. Бухарина. Отношение к нему к описанному здесь периоду развития советской науки, несмотря на так называемую «хрущевскую оттепель», на самом деле при Брежневе не изменилось. По этой причине окончательное признание вклада соотечественников пришло в СССР благодаря усилиям иностранки. Даже сейчас в Академии наук – а я могу судить об этом со знанием дела – этот вклад малоизвестен и признан скрепя сердце, хотя в 70–80-х гг. появились статьи А.П. Огурцова, М.Г. Ярошевского и др. о вкладе некоторых отмеченных ученых того периода, например Т.И. Райнова.

Таким образом, можно констатировать, что в период 20–30-х годов в СССР социология науки имела ощутимые результаты, что и проявилось на отмеченном выше Лондонском конгрессе по истории науки, который оказал реальное влияние на дальнейшее развитие как зарубежной, так и отечественной социо-

логии и истории науки, на организацию российской науки во главе с Академией наук. Концентрация научных исследований в рамках Академии наук, полностью и обильно финансируемой государством, стала особенностью развития всей науки в советский период ее истории. В постсоветский период, благодаря полной публикации работ Н.И.Бухарина, стало очевидным, что он сыграл решающую роль вслед за В.И.Вернадским и С.Ф. Ольденбургом в этом процессе.

Знакомство западных ученых с работами советских исследователей науки (Бухарина, Гессена, Райнова и др.) дало импульс и англо-американской социологии науки и науковедению. Признаться в этом тогда было невозможно по многим причинам, главная из которых – преобладающее тогда отрицательное отношение к Советской России, к коммунизму в целом. Что касается Дж. Бернала, то он, как ученый, придерживающийся марксистской методологии и левых взглядов, последовательно раскрывал связь между развитием науки и социальными условиями («социальным заказом») в виде бурного развития капиталистических отношений. Его статьи по истории науки, и особенно его капитальный труд «Наука в развитии общества» (Лондон, 1952), переведенный на русский язык в 1956 г. [Бернал, 1956], подтолкнули не только американских исследователей науки, но и советских науковедов в 50–60-е годы. После упомянутого конгресса в Лондоне группа английских ученых во главе с Берналом посетила Академию наук СССР и ее институты, в том числе познакомилась с вновь созданным Институтом истории науки и техники АН в Москве. В 1939 г. появляется его статья «Социальные функции науки», которая, вместе с работами российских ученых Б. Гессена, Н. Бухарина, Т. Райнова и др., сыграла определенную роль в становлении социологии науки в США, в частности, оказала влияние на будущего лидера американской социологии науки, молодого тогда Р.К. Мертона (1910–2002). В личном письме цитированному нами немецкому автору от 11.12.1995 г. Р. Мертон сообщает, что был знаком с двумя работами Н. Бухарина в английском переводе: его учебником «Исторический материализм. Популярный учебник марксистской социологии» (1922 г.) и его докладом на Лондонском конгрессе «Теория и практика с точки зрения диалектического материализма», а также с докладом Б.М. Гессена «Социально-экономические корни механики Ньютона» и работой Т.И. Райнова в ISIS (1929) [Винклер, 1998, с. 14].

Возможно, по этой причине (из-за проявленного Мертоном интереса к советским исследованиям науки, в частности, Н.И. Бухарина, Б.М. Гессена, Т.И. Райнова) не складывались в дальнейшем его отношения со своим учителем по факультету социологии Гарвардского университета, профессором П. Сорокиным, основателем этого факультета и его деканом в течение почти трех десятилетий. В силу личных обид на советские власти или по другим причинам, П. Сорокин не воспринял формирующийся в те годы в России науковедческий подход, в то время как Р. Мертон определенно воспринял идею воздействия социальных условий на развитие науки, что отразилось позже и на направленно-

сти его работ, и на содержании сформулированных им норм этоса науки (см. его работу «Нормативная система науки» 1942 г., которая вместе с другими, более поздними его работами была объединена в объемистый труд «Социология науки) [Merton, 1973].

Так или иначе, но в СССР влоть до конца 80-х годов остались неосмысленными глубокие теоретические концепции, разработанные авторами этого периода. Расформирование в 1938 г. вновь созданного Института истории науки и техники АН, где работали не только историки науки разных специальностей, но и большая группа ученых науковедческого профиля, нанесло большой ущерб развитию науковедения и социоогии науки и явилось одной из причин пренебрежения к науковедению и социологии науки в СССР вплоть до конца 50-х годов, когда начинается возрождение запрещенной Сталиным социологии, объявленной буржуазной наукой. Поэтому *институциализация социологии науки в СССР, развивающейся в рамках науковедения, происходила также с некоторым опозданием по сравнению со странами Запада*. Это запаздывание признания происходило также и в отношении социологии (в дооктябрьском периоде, в силу отрицательного отношения к ней царских властей). Классическая социология в России получила официальное признание (т.е. завершила свою институционализацию) лишь после 1917 г., благодаря усилиям многих ученых, в первую очередь, П. Сорокина, ставшего приват-доцентом Петроградского университета в 1918 г. и организовавшего там первый в России факультет (отделение) социологии на факультете общественных наук, откуда и был выслан Лениным и Дзержинским заграницу в 1922 г. Именно с этого года начинается новый этап в развитии социологии в России: ее содержание, получившее признание во всем мире как теоретическая и эмпирическая наука, постепенно подменяется марксистско-ленинской философией, в частности – историческим материализмом, т.е. теорией. В этом процессе, как мы уже отметили, видную роль сыграл Н.И. Бухарин, его работы, поэтому его вклад в социологию науки становится весьма противоречивым, дискуссионным.

Но достижения науковедения и социологии науки в 20–30-е годы сегодня неоспоримы. Отметим некоторые имена и направления исследований. Это многоплановые работы Н.И. Бухарина, посвященные, в частности, социальному институту науки, ее организации и планированию [Бухарин, 1989]. Проблемам изучения научных кадров и учету научных сил страны были посвящены работы С.Ф. Ольденбурга, И.С. Тайцлина и И.С. Самохвалова, Ю.А. Филипченко и В.И. Вернадского [Хрестоматия, 1998, с. 19–203]. Особое место в изучении социологических проблем науки в 20–30-е годы принадлежит Т.И. Райнову, применившему статистические методы при анализе количественного роста науки и ее содержательной стороны, волнообразных колебаний творческой продуктивности в западноевропейской физике XVIII–XIX вв. (работы 1929, 1935 гг.), изучившему впервые проблему разносторонности ученого [Винклер, 1998, с. 15–16]. Именно в эти годы (1932–1935) в США декан факультета социологии Гар-

вардского университета П. Сорокин привлек молодого Р. Мертона к своей работе «Социальная и культурная динамика», поручил ему разработать темы, касающиеся науки, в которых Мертон тоже применяет количественные методы. В 1935 г. Р. Мертон опубликовал свою работу о флуктуации восприятия промышленностью научных открытий на основе изучения патентов. Но Райнов был первым, кто использовал количественные методы в изучении науки, он первый также выдвинул понятие социальной организации науки, первым исследовал влияние научной специальности на положение ученого. Об этом, однако, мы узнали спустя 50 лет, в начале 1980-х. Многие годы оставался неизвестным вклад акад. С.Г. Струмилина, выдающегося ученого экономиста, утверждавшего впервые в СССР деятельностный подход к изучению науки, изучавшего проблему определения продуктивности, творчества в науке. К чести составителя указанной хрестоматии, в ней опубликованы не только малоизвестные статьи И.А. Боричевского, С.Ф. Ольденбурга, В.И. Вернадского, К.Р. Мекрелидзе, С.Г. Струмилина, Т.И. Райнова, Б.М. Гессена, Н.И. Бухарина, И.С. Тайцлина, И.С. Самохвалова, Ю.А. Филипченко (порядок перечисления фамилий дан как у автора хрестоматии), но и подробные биографические справки, что для репрессированных ученых – второе признание их жизни.

Подводя итоги изучению и оценкам вклада отмеченных российских ученых в становление социологии науки, Р.-Л. Винклер отмечает, что наиболее важными для развития социологии науки в России и Советском Союзе теоретико-методологическими подходами в изучении науки являются: «1) институциональный подход, т.е. рассмотрение развития науки как социального института, 2) социально-структурный подход к субъекту науки, статистические методы анализа, 3) историко-социологическая ориентация, 4) социолого-демографическая направленность исследований, 5) наукометрическая ориентация, 6) тенденция использования методов и подходов социологии знания к социологии науки, 7) социально-политическая ориентация в социологии науки» [Виклер, 1998, с. 14].

Такова теоретическая, методологическая и эмпирическая база, на которую могли бы опираться возникшие «вновь» в СССР в 60-е годы социология науки и науковедение. В силу специфики тоталитарного политического режима, сформировавшегося в России в начале 20-х годов XX в., эти достижения повлияли, скорее, на развитие западноевропейской и американской социологии науки, знакомство с которой советских социологов и историков науки косвенно оказывало некоторое влияние и на содержание и направления российско-советской социологии науки в 60–80-е годы. О ее содержании речь пойдет в следующей статье.

Литература

1. *Ащеулова Н.А.* История социологии науки в Ленинграде – Санкт-Петербурге: Автореф. дис. … канд. социолог. наук. – СПб., 2006. (Это – пока единственная работа по истории социологии в СССР, в которой упоминается вклад анализируемых авторов).
2. *Боричевский И.А.* Науковедение как точная наука. – В кн.: У истоков формирования социологии науки (Россия и Советский Союз – первая треть XX в.): Хрестоматия. – Тюмень: изд. Тюмен. госун-та, 1998, с. 19–23.

3. *Бернал Дж.Д.* Двадцать лет спустя // Наука о науке. – М.: Наука, 1968.
4. *Бернал Дж.* Наука в истории общества. – М., 1956.
5. *Бухарин Н.И.* Методология и планирование науки и техники. – М., 1989.
6. *Винклер Р.-Л.* Введение. У истоков формирования социологии науки (Россия и Советский Союз – первая треть XX в.). Хрестоматия. – Тюмень: изд. Тюмен. гос. ун-та, 1998.
7. *Лазар М.Г.* Нравственность и организационные формы российской науки // Науковедение и организация научных исследований в России в переходный период., ч. П / Под ред. С.А. Кугеля. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002.
8. *Лазар М.Г.* Университеты, академии и развитие науки: исторические типы взаимоотношений // Ученые записки РГГМУ, 2008, № 7.
9. *Лазар М.Г.* Вхождение России в Болонский процесс: мечты и реальность // Ученые записки РГГМУ, 2009, № 9.
10. У истоков формирования социологии науки (Россия и Советский Союз – первая треть XX в.).: Хрестоматия. – Тюмень: изд. Тюмен. гос. ун-та, 1998. – 262 с.
11. *Merton R.K.* The sociology of science. Theoretical and empirical investigation. N.Y., 1973.

Н.Л. Гагулина

ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ В ВУЗЕ

N.L. Gagulina

PROBLEMS OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN UNIVERSITY EDUCATION

В условиях перехода современной экономики на принципиально новый этап развития, который характеризуется усилением веса информационных технологий, особая роль отводится модернизации системы образования и, в первую очередь управления образованием. Понимание этого факта привело к внедрению в процесс управления образованием международных принципов оценки качества интеллектуальных ресурсов. Политика в области менеджмента качества направлена на внедрение известных принципов и технологий менеджмента качества, в основе которых лежат принципы ИСО:9000 и Европейской ассоциации гарантии качества в высшем образовании.

Ключевые слова: управление, качество, образование, вуз, информационные технологии.

With modern economy transition to principally new development stage, which is characterized by increasing role of information technology, education system and first of all education management modernization are given the highest priority. Understanding the fact lead to inculcation of international principles in intellectual resources quality assessment within the education management process. Quality policy is to implement well-known quality management principles and technologies, based on ISO:9000 and the European Association for Quality Assurance in Higher Education recommendations.

Key words: Management, Quality, Education, University Education, Information Technology.

Масштабность и темпы преобразований в современной экономике таковы, что общество все больше основывается на знаниях, а высшее образование и научные исследования выступают в качестве важнейших компонентов устойчивого развития [*ED-98/CONF*.202/3]. Это способствует как увеличению количества студентов во всех странах мира (с 1960 по 1995 г. численность студентов во всех странах мира возросла с 13 до 82 млн чел.), так и широкой диверсификации высшего образования.

Расширение рынка образовательных услуг естественным образом оживляет интерес к качеству образовательных услуг со стороны заинтересованных лиц: государства, бизнеса, общественных организаций и рядовых граждан. Зачастую оценки, которые дают СМИ, или оценки, получаемые в ходе проведения опросов общественного мнения, имеют негативный оттенок. Например, по данным опроса, проведенного Фондом общественного мнения (ФОМ) в 2007 г., только 7 % россиян считают, что наши вузы – лучшие в мире. При этом 41 % граждан РФ считают, что российское высшее образование не дотягивает до общемиро-

вого уровня, а 53 % россиян абсолютно уверены в том, что в стране мало вузов, дающих поистине высоко качественное образование. Среди людей с институтскими и университетскими дипломами такой точки зрения придерживались 73 %. Результаты опроса, проводимого аналитической компанией «Левада-Центр» в 2008 г., показали, что для 70 % россиян качественное высшее образование представляется недоступным. Причем 36 % из них говорят о недоступности хорошего высшего образования, а 34 % считают сам факт учебы в вузе невозможным.

Подобные оценки нельзя считать единственно правдивым отражением сложившейся ситуации в российской системе высшего образования, но и игнорировать их было бы неразумно, поскольку они наносят серьезный ущерб деловой репутации образовательных учреждений. Поэтому число вузов, заинтересованных в формировании адекватных оценок качества предоставляемых ими образовательных услуг, растет из года в год. Значительная роль при этом отводится созданию системы гарантии или системы менеджмента качества (СМК) образования, которая нацелена на решение задачи оценки и повышения эффективности образовательной деятельности вуза и донесение результатов этой оценки до заинтересованных лиц.

Правовые основы системы менеджмента качества образовательных учреждений РФ заложены в таких законодательных и нормативных документах, как:

- Закон РФ «Об образовании» от 10.07.1992 г. № 3266-1;
- Закон РФ «О высшем и послевузовском образовании» от 29 августа 1996 года № 125-ФЗ;
- Положение «О государственной аккредитации образовательных учреждений и научных организаций» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 14.07.2008 № 522);
- Положение «О лицензировании образовательной деятельности» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 31.03.2009 № 277);
- Приказ Минобрнауки № 304 «О разработке и внедрении внутривузовской системы управления качеством образования в высших учебных заведениях» (2004 г.).

Систематизация различных подходов к оценке эффективности образовательной деятельности привела к формированию единого подхода, согласно которому важнейшими функциями системы менеджмента качества вуза является проведение внутренней и внешней оценки качества предоставляемых услуг.

Внутренняя оценка (самооценка) может проводиться разными методами, но в любом случае ее основу составляет сбор и анализ значимой информации о вузе. Внешняя оценка обычно проводится сертифицирующими организациями и нацелена на подтверждение заявленного вузом качества обучения со стороны компетентных организаций. Данный подход находит отражение в моделях, на основе которых может быть реализована СМК образовательного учреждения. Сюда относится:

- классическая модель самоуправления вуза;

– модель, соответствующая требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ИСО 9001-2008);

– типовая модель системы управления качеством образования для вузов и ссузов, разработанная при участии ЛЭТИ, МИСиС, Станкин и ТПУ;

– модель премии правительства РФ в области качества;

– модель, разработанная Европейской ассоциацией по гарантии качества высшего образования (*ENQA*);

– модель делового совершенства *EFQM* Европейского фонда по управлению качеством.

Кроме того, вуз может самостоятельно разработать приемлемую для себя модель системы управления качеством образования.

В общем виде последовательность действий по формированию СМК можно свести к следующим основным этапам. На первом этапе построения СМК определяются потребности и ожидания заинтересованных лиц. На втором – вырабатывается политика и устанавливаются стратегические цели в области качества. Далее определяются бизнес-процессы и методы, необходимые для реализации стратегии, формируется база критериальных показателей, необходимых для проведения оценки эффективности данных бизнес-процессов. Таким образом, происходит измерение по заданным показателям. В ходе проводимых проверок выявляются несоответствия и принимаются меры по их устранению или разрабатывается комплекс мероприятий по повышению показателей эффективности системы управления качеством. Завершающим этапом является построение и запуск процесса постоянного совершенствования СМК.

Конечным результатом внедрения и использования модели СМК вуза является:

1) усовершенствование системы управления вузом через ориентацию ее на потребности заинтересованных лиц;

2) оптимизация бизнес-процессов вуза.

Несмотря на очевидные преимущества, которые дает внедрение и использование СМК в системе управления вузом (возможность привести в соответствие процессы жизненного цикла вуза функциональному предназначению сотрудников; выявление "узких" мест в процессе управления, приводящих к потерям времени и ресурсов; создание предпосылок к внедрению новых технологий в процесс обучения; разработка подходов к автоматизации документооборота в вузе и т.д.), данный процесс сопровождается некоторыми проблемами. В их числе можно выделить проблемы общего, системного характера и проблемы, присущие именно вузам. Например, это:

1) сопротивление изменениям, которые необходимо внести в сложившуюся систему управления;

2) недостаточное использование современных информационных технологий (*IT*-технологий) в текущей деятельности вуза;

3) увеличение документооборота вуза.

Первая из перечисленных проблем не обусловлена спецификой вуза. Она скорее относится к категории системных проблем, поскольку связана с внесением изменений в уже сложившуюся систему отношений, связей и процессов. Чем больше и сложнее система, тем более затруднено решение данной проблемы. Вуз – большая иерархическая система, которая к тому же давно функционирует, поэтому нельзя надеяться на быстрое и единственно правильное решение данной проблемы.

Вторая проблема, по сути, является центральной из перечисленных. Ее нельзя считать только системной проблемой, хотя этот момент также присутствует: активное использование информационных технологий находит все более широкое применение в процессе управления, обеспечивая повышение конкурентоспособности организаций.

Для вуза данная проблема обладает своей спецификой, обусловленной инновационной ролью вузов на современном этапе общественного развития. Одна из ключевых задач, которая ставится сегодня в системе высшего образования – подготовка выпускников, которые не только смогут работать здесь и сейчас, но и таких, которые обеспечат научно-технологическое развитие страны в будущем. Изменение информационной обеспеченности общества, которое произошло в результате широкого развития ИТ-технологий, предопределило их ведущую роль на ближайшие десятилетия. Информации стало много, она стала более доступна, в ряде случаев – менее достоверна, изменились способы ее передачи и обработки.

Широкое использование современных *IT* -технологий в текущей деятельности предполагает не только хорошую обеспеченность современными материально-техническими средствами, но и наличие персонала, способного и желающего работать в данной среде.

Проведение анализа данной проблемы показало, что от ее решения непосредственным образом зависит качество образования и соответственно эффективность работы СМК вуза, начиная от ее проектирования и заканчивая процессом постоянного совершенствования. Например, на этапе проектирования СМК одним из ключевых моментов является выбор методологии описания бизнес-процессов вуза [Филиппов, 2005]. Наиболее широко распространенными в описании бизнес-процессов на сегодняшний день являются методологии *IDEF* и *EPC*, основанные на использовании методологии информационных технологий.

Методология *IDEF* (*Integrated DEFinition language*) обеспечивает универсальность описания, простоту детализации описания вширь и вглубь процессов на каждом уровне иерархии описания, что позволяет применить ее для структуризации процессов в системах управления. Методология *EPC* (*event-driven process chain*) построена на блок-схемной идеологии (*flowchart*). Она предполагает реализацию событийно-управляемой процессной цепочки и реализуется в программном комплексе.

В функционалах этих двух систем и соответственно в разумной практике их применения имеется существенное различие: продукты, основанные на технологии *IDEF*, целиком и полностью должны соответствовать требованиям, прописанным в стандартах, а *EPC*-технология – это самостоятельная технология по методическому описанию процессов, которая предполагает построение событийно-функциональной диаграммы.

Покажем, как можно смоделировать деятельность по построению СМК вуза на основе процессного подхода с использованием данных инструментов.

IDEF-диаграмма процесса «Построение СМК» представлена на рис. 1.

Как видно из рисунка, в результате декомпозиции процесса построения СМК получается четыре этапа, или подпроцесса:

1) планирование работ по созданию СМК;
2) разработка СМК;
3) внедрение СМК;
4) сертификация.

Данные процессы в дальнейшем распадаются на совокупность подпроцессов, которые также описываются на основе *IDEF*-диаграмм. Вид потоков функций в *IDEF*-диаграммах связан с их направлением. Поток «управление» направлен сверху вниз в блок, «ресурсы» – снизу вверх, «входы» – слева направо в блок, а «выходы» – слева направо из блока.

Событийно-функциональная диаграмма, построенная на основе использования *EPC*-технологии, имеет вид блок-схемы и приведена на рис. 2. Выбор той или иной технологии для описания бизнес-процессов вуза определяется его потребностями и возможностями реализации технологии в данной ситуации.

Какую бы из предложенных технологий мы ни выбрали, в ракурсе СМК необходимы люди, способные использовать ту или иную методологию на практике, поэтому вырисовывается еще одна проблема внедрения СМК в вузе – недостаток обученного персонала. Решить данную проблему можно, лишь обучив персонал вуза соответствующей методике, поскольку построение СМК предполагает максимальную вовлеченность персонала данной организации.

Следующая проблема, с которой мы сталкиваемся при обсуждении проблем системы управления качеством образования в вузе, связана с проведением оценки эффективности бизнес-процессов вуза. Как было замечено, эффективность бизнес-процессов вуза оценивается на основе использования критериальной технологии.

На сегодняшний день системно представлены так называемые аккредитационные показатели деятельности вуза, массив которых сформирован Росаккредагентством. Они являются основой для проведения внешней оценки, в ходе которой определяется статус вуза и подтверждается заявленная им сфера деятельности.

В целях проведения внутренней оценки вуз самостоятельно формирует массив оценочных показателей.

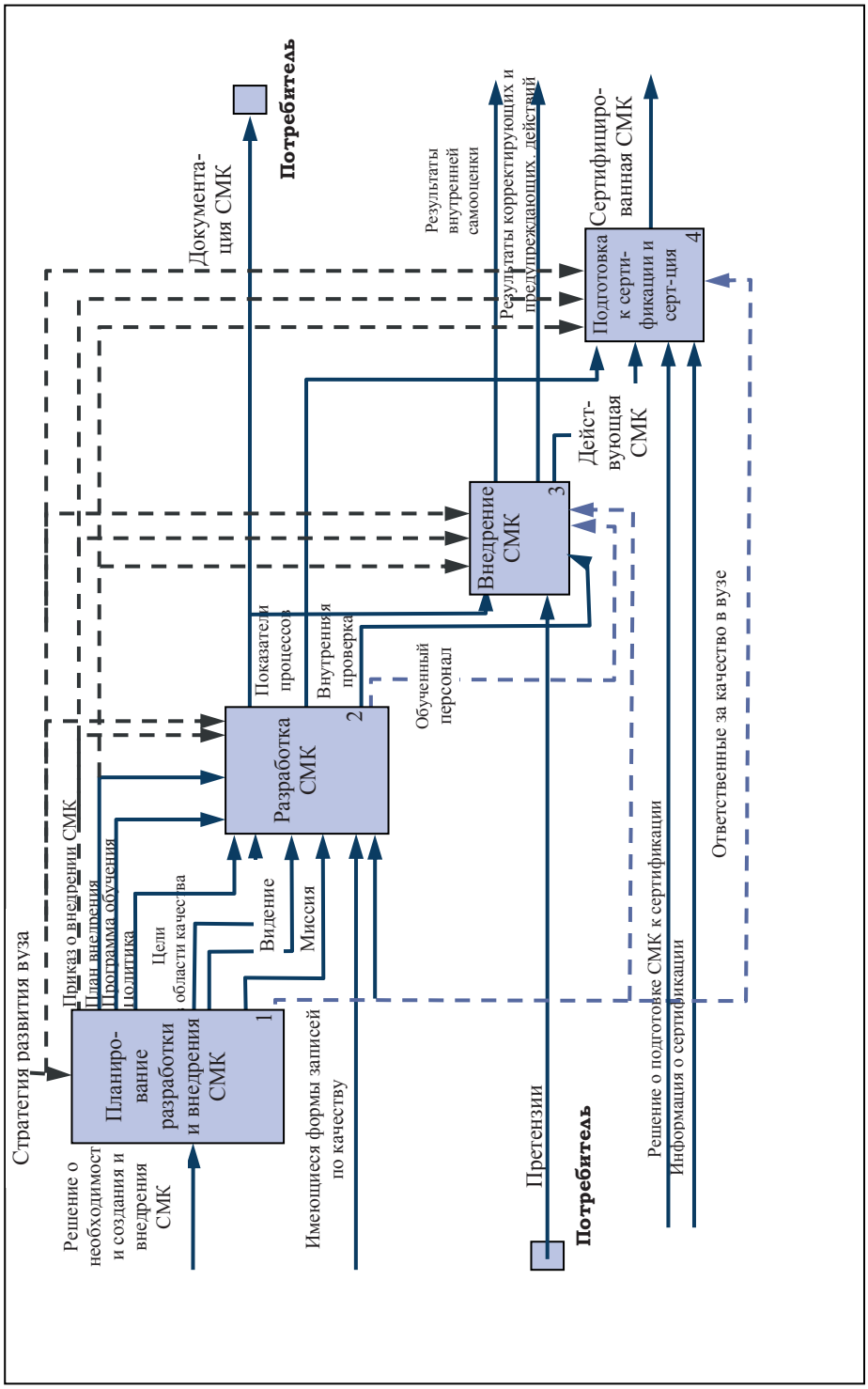


Рис. 1. Процесс «Построение системы гарантии качества в вузе» на основе методологии IDEF

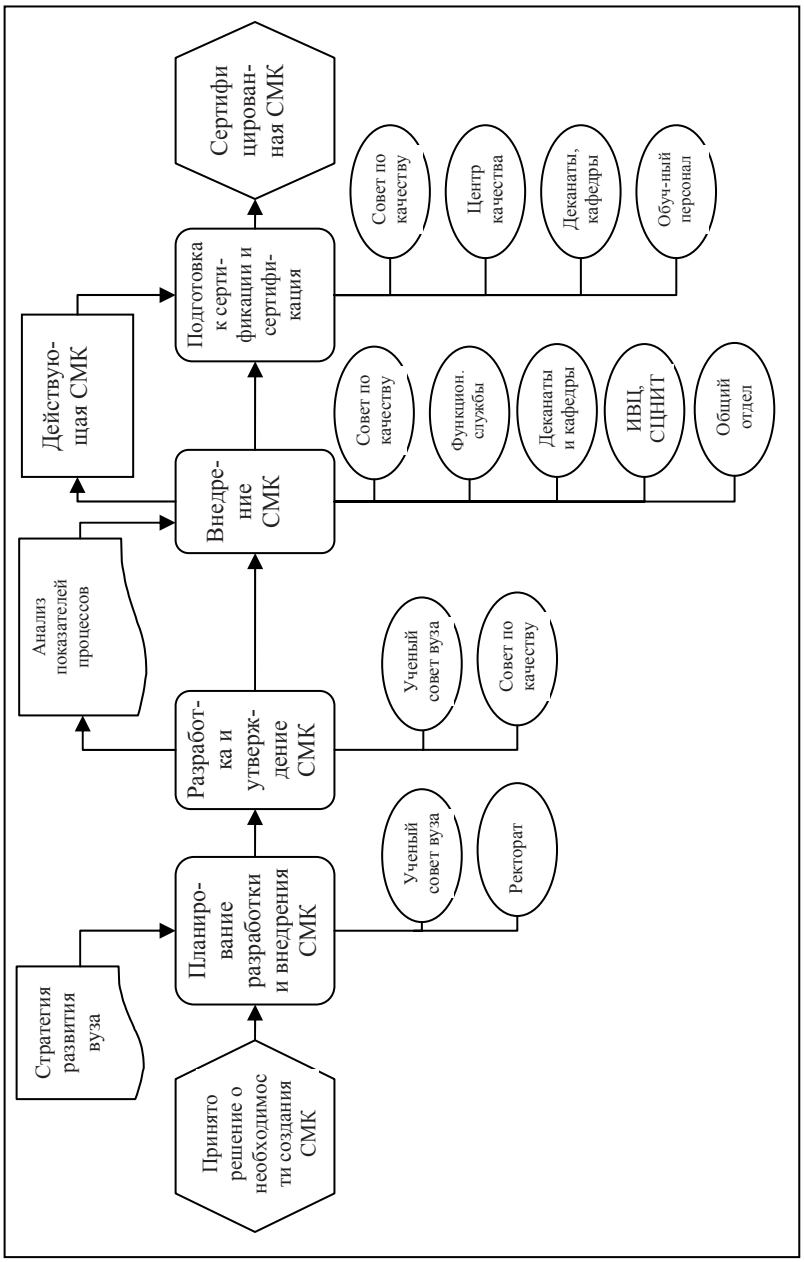


Рис. 2. Процесс «Построение системы гарантии качества в вузе» на основе методологии ЕРС

Если исходить из того, что в основе оценки качества образования лежит качество образованности и качество образовательного процесса, то массив оценочных показателей вуза, которые предназначены для проведения внутренней оценки, соответственно будет содержать две укрупненные группы. При этом качество образовательного процесса может рассматриваться как совокупность характеристик качества самой образовательной программы, качества потенциала абитуриентов, обучающихся и выпускников, качества материально-технических средств и информационного обеспечения образовательного процесса, качества научно-педагогического состава и качества управленческих технологий вуза. А качество образованности можно рассматривать в контексте соответствия фактической структуры образованности студентов и выпускников требованиям заинтересованных лиц.

Необходимым условием совмещения процессной и критериальной технологий в рамках системы управления является совершенствование существующей в вузе системы мониторинга качества образования. Наличие в вузе грамотно построенной, хорошо отлаженной, современной системы мониторинга качества образования является необходимым условием построения и развития СМК, так как именно в системе мониторинга концентрируется информация, которая затем систематизируется и структурируется СМК, а также лежит в основе принятия управленческих решений на всех уровнях.

Система мониторинга ориентирована на получение численной оценки перечня основных критериев оценки качества образования, что значительно повышает уровень объективности решений, принимаемых в вузе. Решение, принятое на основе численных значений известных критериев, становится понятным и очевидным не только для тех, кто его принимает, но и для тех, кого непосредственно оно затрагивает. Таким образом, данные системы мониторинга можно использовать в СМК не только для выявления несоответствий, но и для обоснования мер, принимаемых по устранению несоответствий. Это особенно актуально, поскольку зачастую принятие мер по устранению несоответствий является более серьезной проблемой, нежели выявление самих несоответствий.

Проблема увеличения документооборота – характерная проблема, которая часто возникает на начальном этапе формирования СМК. По мере внедрения СМК в систему управления вузом данная проблема решается за счет перевода части документов в электронную форму (на стадии их использования) и более рациональной организации бумажного документооборота.

Подводя итог, следует отметить, что решение всех перечисленных выше проблем возможно лишь при активном участии представителей структурных подразделений вуза, ответственных за качество образования.

Литература

1. Всемирная декларация о высшем образовании для XXI века: подходы и практические меры. ED-98/CONF.202/3 // Научно-практический журнал "Открытое образование", 1999, № 4.
2. Управление в высшей школе: опыт, тенденции, перспективы. Аналитический доклад / Рук. авт. колл. В.М. Филиппов. – М.: Логос, 2005. – 540 с.

И.Б. Шумакова

МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАУЧНОГО КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

I.B. Shumakova

A MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF THE SCIENTIFIC PERSONNEL POTENTIAL OF SAINT PETERSBURG

Рассматриваются закономерности межгодовых изменений показателей научного кадрового потенциала вузов, учреждений Академии наук и отраслевых институтов за период 1999–2004 гг. с помощью методов факторного и кластерного анализа. Выявлены квазиоднородные группы и репрезентативные показатели, наилучшим образом характеризующие современное состояние кадрового потенциала научных организаций города.

Ключевые слова: высшее образование, научный потенциал, мониторинг, факторный анализ, кластерный анализ, классификация.

Regularities of interannual changes in parameters of the scientific personnel potential of higher educational institutions, establishments of the Academy of Sciences and sectoral institutes are considered with the help of factor and cluster analyses for the period 1999–2004. Quasihomogeneous groups and representative parameters describing the modern state of the personnel potential of the city's scientific organizations in the best way are revealed.

Keywords: higher education, scientific potential, monitoring, factor analysis, cluster analysis, classification.

В течение ряда лет под руководством Комитета по науке и высшей школе Правительства СПб осуществляется мониторинг научного и научно-технического потенциала научных организаций города с целью получения объективной информации о текущем состоянии его научно-технической сферы [Научный…, 1999-2003]. Эта информация может быть использована для принятия управленческих решений и разработке мероприятий, направленных на ее развитие. Отметим, что проведение мониторинга является весьма сложной и трудоемкой задачей, ибо в городе работают 50 государственных и 60 негосударственных высших учебных заведений (вузов), 44 научных учреждения Российской академии наук, 19 научных учреждений Российской медицинской академии, Российской сельскохозяйственной академии и Российской академии образования, а также более 500 отраслевых научных учреждений, включая 12 государственных научных центров.

Мониторинг проводится по нескольким направлениям:

– кадровый потенциал научных организаций;
– научное оборудование;
– финансирование;
– результативность научных исследований и разработок.

Каждое из этих направлений, в свою очередь, было разделено на следующие группы:

- государственные вузы;
- негосударственные вузы;
- учреждения Академии наук;
- отраслевые институты.

При этом кадровый потенциал состоял из 70 показателей, научное оборудование – из 8 показателей, финансирование – из 64 показателей, результативность научных исследований и разработок – из 120 показателей. В сумме получается 262 показателя, по которым осуществлялось их осреднение. Понятно, что прогноз такого количества показателей вряд ли возможен, да и, по-видимому, не нужен. К тому же, не все показатели являются равноценными. Однако «взвесить» их, то есть каждому придать тот или иной вес, чрезвычайно сложно. Ибо данная задача в значительной степени носит неформальный характер. Действительно, в зависимости от поставленной цели каждый из показателей может представлять определенный интерес.

Поэтому разделим задачу выделения наиболее «значимых» показателей на две части: формальную, когда их определение осуществляется тем или иным статистическим способом, и экспертную, когда приоритетные показатели выделяются непосредственно группой экспертов. В рамках данной работы ограничимся анализом кадрового потенциала научно-педагогических организаций города.

Исходной информацией послужили результаты мониторинга за 1999–2004 гг., приведенные в работе [научный, 1999-2003] по тем организациям, которые приняли участие в заполнении анкет в виде формы 3-НК. В табл. 1 приводятся оценки наиболее важных показателей кадрового потенциала научных организаций города за указанные годы. Общая численность научных работников в городе на 2004 г. составила: докторов наук – 5224 чел., в том числе по вузам 3231 чел., или 62 %, кандидатов наук – 17 038 чел., в том числе по вузам 10 502 чел., или 62 %, аспирантов – 12 685 чел., в том числе по вузам 11 344 чел., или 89 %. Следовательно, основной научный потенциал города сосредоточен в вузах, причем эта тенденция в последние годы усиливается.

Из табл. 1 следует, что некоторые показатели имеют прямо противоположные тенденции своих изменений. Так, общее число докторов наук в городе за рассматриваемое шестилетие заметно уменьшилось, что обусловлено аналогичным уменьшением их численности в вузах. Однако одновременно отмечался рост числа докторов наук в отраслевых институтах города. Общая численность кандидатов наук в городе уменьшалась еще более быстрыми темпами. Это также обусловлено главным образом уменьшением численности кандидатов наук в вузах. Если уменьшение числа докторов в значительной степени связано с естественными причинами, т.е. их смертностью, то уменьшение числа кандидатов наук означает в основном их переход в другие сферы деятельности, прежде всего в коммерческие структуры. Отметим также, что в течение 1999–2001 гг. от-

мечалось заметное уменьшение численности докторов и кандидатов наук, но начиная с 2002 г. происходит их стабилизация.

Таблица 1

Числовые данные кадрового потенциала научных организаций города за 1999–2004 гг., чел.

	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Доктора наук: всего	5778	5633	5383	5248	5239	5224
Доктора наук: вузы	3833	3499	3062	2812	2923	3231
Доктора наук: РАН	1136	1059	1124	1321	850	878
Доктора наук: отрасл. ин-ты	809	1075	1197	1115	1466	1115
Кандидаты наук: всего	22433	20844	18256	17693	18506	17038
Кандидаты наук вузы	14572	12836	10125	9630	10744	10502
Кандидаты наук: РАН	2845	2822	2807	3087	2398	2075
Кандидаты наук: отрасл. ин-ты	5016	5186	5324	4976	5364	4461
Аспиранты: всего	12292	13746	13204	12745	14309	12685
Аспиранты: вузы	12256	12987	11554	11184	12610	11344
Аспиранты: РАН	746	769	810	777	319	435
Аспиранты: отрасл. ин-ты	787	805	848	784	1380	906
Доктора наук: госвузы	3567	3270	2795	2670	2658	3073
Кандидаты наук: госвузы	13567	12285	9530	9197	10077	10018
Аспиранты: госвузы	11944	11928	10864	11074	12100	11209
Докторов наук: негосвузы	266	229	267	142	265	158
Кандидаты наук: негосвузы	1005	551	595	433	667	484
Аспиранты: негосвузы	312	370	690	110	510	135
Диссоветы: всего	457	449	404	389	408	366
Диссоветы: вузы	346	329	278	281	294	267
Диссоветы: РАН	40	44	44	49	30	30
Диссоветы: отрасл. ин-ты	71	76	82	59	84	69

Естественно, что для отдельных групп организаций наблюдаются разнонаправленные изменения численности научных работников. К сожалению, выявление их закономерностей стандартными статистическими методами затруднено по двум причинам: во-первых, из-за короткой продолжительности временных рядов, а во-вторых, вследствие того, что выборка в определенной степени не является однородной. Это связано с тем, что количество организаций, принимавших участие в заполнении формы 3-НК, не оставалось строго постоянным год от года. Однако указанные изменения касались в основном малочисленных учреждений, поэтому они не могли существенно сказаться на оценках показателей кадрового потенциала.

Тем не менее, данное обстоятельство следует учитывать и при обработке данных табл. 1 желательно исключить мелкомасштабные шумы, характеризующие, в основном, случайные колебания характеристик, что в результате может позволить выделить некоторые латентные (скрытые) от взгляда исследователя закономерности. Очевидно, наиболее адекватным аппаратом решения данной задачи является метод факторного анализа (ФА). Основная формула факторного анализа в матричном виде записывается следующим образом:

$$\mathbf{X} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{A}' + \mathbf{E}, \quad (1)$$

где X – матрица исходных данных размером m×n (m – число столбцов, n – число строк); **F** – матрица значений общих факторов размером k×n (k ≤ m/2); **A′** – матрица коэффициентов связи общих факторов и исходных переменных размером k×n, называемых факторными нагрузками; **E** – матрица остатков или характерных факторов (k×n).

В настоящее время известно большое число методов факторного анализа [Айвазян, 1998; Афифи, 1982; Болч, 1979; Дубров, 1998; Иберла, 1980]. Наиболее широкое распространение получил *метод главных факторов*, включенный в большинство современных пакетов прикладных статистических программ. Основой его служит метод главных компонент (МГК), с помощью которого решается задача расчета неких вторичных признаков (или функций) в m-мерном пространстве, более эффективно описывающих структурные закономерности, содержащиеся в матрице исходных данных по сравнению с заданными переменными. Вторичные признаки являются линейными комбинациями от исходных переменных и имеют существенно различную дисперсию. Из геометрической интерпретации МГК следует, что переход из исходного пространства признаков в новую систему координат осуществляется простым ортогональным поворотом координатных осей на угол α против часовой стрелки, причем такое вращение происходит без искажения геометрической структуры облака наблюдений в пространстве главных компонент [Айвазян, 1998].

После этого происходит переход из *m*-мерного пространства в *k*-мерное пространство общих факторов, вследствие чего удаляются те оси, вдоль которых наблюдаемая изменчивость не выходит за рамки принятых ошибок.

Затем проводится вторичное вращение осей уже в пространстве *k* общих факторов таким образом, чтобы как можно большее число факторных нагрузок оказалось близким к нулю, а остальные факторные нагрузки, наоборот, были бы максимально приближены к ± 1. Такая процедура получила название *принципа простой структуры*. В результате этого происходит перераспределение дисперсии наблюдений и одновременно искажение геометрической структуры исходных данных. В тех случаях, когда достигается лучшая интерпретируемость полученных результатов, использование ФА можно считать оправданным.

Таким образом, общая структурная схема вычисления общих факторов может быть представлена следующим образом (рис. 1):

X – матрица исходных данных размером m×n;

Z – стандартизованная матрица того же размера;

R – корреляционная матрица размером m×m;

R^h – редуцированная корреляционная матрица размером m×m;

λ – вектор-столбец собственных чисел матрицы R^h длиной m;

A_0 – матрица первоначальных факторных нагрузок размером m×m;

λ^k – вектор-столбец собственных чисел матрицы R^h длиной k;

A – матрица окончательных факторных нагрузок размером k×m;
F – матрица главных факторов размером k×n.

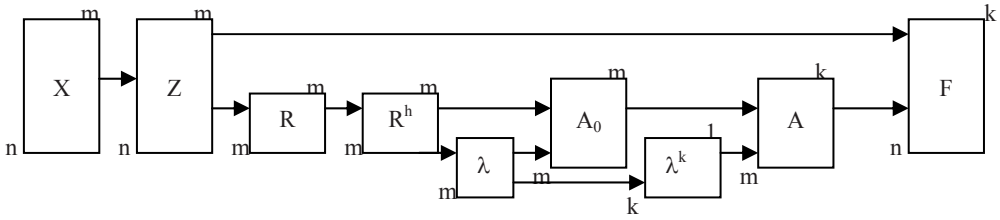


Рис. 1. Структурная схема расчета общих факторов [6]

Переход от обычной корреляционной матрицы к редуцированной состоит в том, что на главной диагонали последней вместо единиц стоят общности. Напомним, *общность* представляет собой долю дисперсии переменных, которая поддается объяснению через общие факторы. Итак, величина общности может быть записана в виде $h^2 = 1 – u^2$, где u^2 – дисперсия характерности. Для определения общности используются несколько способов: метод наибольшей корреляции, метод Барта, метод триад, метод малого центроида, метод множественного коэффициента корреляции [Иберла, 1980; Многомерный …, 1999]. Наиболее часто по умолчанию в пакетах прикладных программ используется последний способ, в соответствии с которым для каждой переменной рассчитывается величина *R* со всеми другими переменными и подставляется на главную диагональ вместо единицы.

Принципиальным моментом ФА является то, что осуществляется процедура вторичного вращения общих факторов с целью улучшения их интерпретируемости. В соответствии с принципом простой структуры ее главная задача, состоящая в оценке достаточности числа поворотов, обычно решается на основе специальных критериев, которые базируются на представлении величины дисперсии факторных нагрузок как меры сложности структуры факторов. С этой целью используются различные критерии, из которых наиболее широкое распространение получил критерий *варимакс Кайзера*. Рассчитанные в результате такого ортогонального вращения значения a_{ij} принимаются в качестве окончательных факторных нагрузок.

Если же при использовании ФА не достигается содержательной интерпретации факторных нагрузок, то применение данного метода теряет смысл. Очевидно, в этом случае следует ограничиться разложением исходной матрицы на главные компоненты, не требующим обязательной интерпретации результатов.

Итак, исходная матрица показателей кадрового потенциала имела размер 6×22 (табл. 1). Нетрудно видеть, что оценки некоторых показателей отличаются друг от друга на несколько порядков. Кроме того, ряды показателей для отдельных лет (n = 22) имеют хорошо выраженное многомодальное распределение. При этих условиях расчет корреляционной матрицы размером 6×6 непосредст-

венно по их исходным значениям теряет смысл. Поэтому предварительно был осуществлен переход к стандартизованным переменным во времени, т.е. по строкам, по формуле вида

$$z = (x - \bar{x})/\sigma,$$

которая обладает тем важным свойством, что при любом распределении случайной величины X среднее значение стандартизованной переменной равно нулю, а дисперсия ее равна единице. Хотя новые ряды стандартизованных показателей по-прежнему носят резко выраженный ассиметричный характер, однако для них уже достаточно корректно может быть осуществлен расчет ранговых коэффициентов корреляции, которые не требуют соответствия исходных данных нормальному распределению. Нами использовались коэффициенты Спирмена, на основе которых вычислялась корреляционная матрица и затем проведен факторный анализ. В табл. 2 приводятся оценки собственных чисел и скорости их сходимости, отражающие вклад в дисперсию исходной матрицы.

Таблица 2

Оценки собственных чисел λ_j и скорости их сходимости, %

Общий фактор	Факторный анализ до вращения (МГК)		Факторный анализ после вращения	
	λ_j	Скорость сходимости, %	λ_j	Скорость сходимости, %
1	2,36	39	2,17	36
2	1,56	26	1,64	27
3	0,62	10	,73	12

Как видно из табл. 2, первые три общих фактора в сумме описывают 75 % дисперсии исходного поля, однако величина третьего фактора меньше единицы. Поэтому, исходя из рекомендации Кайзера, его можно исключить из анализа. Таким образом, ограничимся первыми двумя факторами, которые описывают две трети дисперсии исходной матрицы и, следовательно, наиболее крупномасштабные ее закономерности. В результате фильтруются мелкомасштабные особенности, обусловленные, в том числе неоднородностью выборки.

Факторные нагрузки матрицы показателей кадрового потенциала даны в табл. 3. Смысл их заключается в том, что они показывают степень однородности межгодовых колебаний показателей относительно той доли дисперсии, которую они описывают. Из табл. 3 видно, что если период с 1999 по 2001 г. полностью описываются первым фактором, то период с 2002 по 2004 г. уже вторым фактором. Очевидно, главной тенденцией рассматриваемой совокупности показателей является противоположный характер изменений показателей кадрового состава 1999–2000 гг. и 2001 г. Другими словами, если эти показатели за период с 1999 по 2000 гг. были выше среднего, то в 2001 г. они стали меньше нормы. Второй фактор, как известно, ортогонален (некоррелирован) с первым. Он отражает противоположный характер изменений показателей кадрового состава между 2002 и 2003–2004 гг. Правда, данная тенденция выражена несколько слабее. Итак, имеем 4 типа межгодовых изменений показателей. Близкие по харак-

теру колебаний 1999–2000 и 2003–2004 гг. и резко отличающиеся от них 2001 и 2002 гг. При этом два последних года практически не связаны друг с другом.

Таблица 3

Распределение первых двух факторных нагрузок матрицы показателей кадрового потенциала

Факторная нагрузка	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
1	-0,857	-0,668	0,682	0,219	0,551	-0,123
2	-0,084	-0,072	-0.342	-0,768	0,691	0,650

Подтверждение сказанному следует из корреляционной матрицы 6×6, приведенной ниже (табл. 4). Действительно, значимая обратная корреляция отмечается для показателей 1999 и 2000 гг. с показателями 2001 г., а также между показателями 2002 и 2003 гг. Если теперь обратиться к исходной матрице (табл. 1), то мы видим, что действительно, в 2001 г. произошло существенное уменьшение количества докторов и кандидатов наук в вузах и в целом по городу, а также уменьшение числа диссоветов в вузах и в целом по городу. Именно этими показателями, очевидно, обусловлена отрицательная корреляция. Положительная корреляция отмечается между 2003 и 2004 гг. и отрицательная этих лет с 2002 г., что также соответствует результатам табл. 3. Однако оценки коэффициентов корреляция в табл. 4 не настолько высоки, чтобы по ним делать однозначные выводы, как это оказалось возможным по оценкам факторных нагрузок в табл. 3 после их второго вращения.

Таблица 4

Распределение выборочных коэффициентов корреляции Спирмена между показателями кадрового состава научных организаций города (n = 22) за отдельные годы периода с 1999 по 2004 г.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1999	1,000	0,390	-0,572	-0,293	-0,518	0,121
2000	0,390	1,000	-0,598	-0,091	-0,207	-0,076
2001	-0,572	-0,598	1,000	0,137	0,054	-0,455
2002	-0,293	-0,091	0,137	1,000	-0,461	-0,408
2003	-0,518	-0,207	0,054	-0,461	1,000	0,386
2004	0,121	-0,076	-0,455	-0,408	0,386	1,000

Принимая во внимание большое число показателей большой интерес представляет задача выделения квазиоднородных групп показателей и минимального числа «центральных» показателей, которые бы наилучшим образом характеризовали всю совокупность исходных данных в целом. Очевидно, данная задача может быть решена в рамках *кластерного анализа*, позволяющего осуществить разбиение множества объектов (характеристик, показателей и т.д.) на ряд однородных подмножеств по степени их сходства. При этом однородность может трактоваться как максимальная идентичность («похожесть») межгодовых колебаний показателей внутри группы. Для каждой такой группы вначале находится

центр «тяжести», наилучшим образом характеризующий колебания группы в целом, а затем показатель, наиболее близкий к центру «тяжести». Этот показатель мы будем считать основным, прогноз которого необходим в первую очередь, ибо он наилучшим образом характеризует всю группу.

В кластерном анализе (КА) понятие однородности двух или нескольких объектов означает близость их физических состояний, которая трактуется как геометрическая близость в многомерном пространстве признаков [Айвазян, 1998]. Данное положение можно рассматривать как основной постулат КА. Менее важным является знание числа выделяемых классов, которое в общем случае до начала классификации может быть и неизвестно. В качестве метрики близости в классическом КА обычно используется какая-либо разновидность расстояния Минковского, наиболее часто – евклидова метрика, имеющая четкий геометрический смысл: геометрическое расстояние в многомерном пространстве признаков.

В данной работе использован алгоритм иерархической агломеративной классификации, суть которой состоит в последовательном объединении объектов (признаков, показателей и т.д.) до тех пор, пока все они не соединятся в единый кластер. Результаты такого объединения представляются в виде дендрограммы. Из иерархических процедур наибольшего предпочтения заслуживает алгоритм Уорда [Малинин, 2003]. Данный алгоритм отличается от других процедур тем, что использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Он минимизирует сумму квадратов расстояний для двух кластеров, формирование которых происходит на каждом шаге.

Данный метод приводит к образованию кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой дисперсией [Многомерный …, 1999]. Этим он близок к эвристическим алгоритмам, минимизирующим внутриклассовую дисперсию (расстояния) и максимизирующим межклассовую дисперсию (расстояния). В целом алгоритм Уорда весьма эффективен, но он стремится создавать кластеры малого размера, что практически не сказывается на качестве классификации при относительно небольших размерах исходной выборки.

Принципиальный недостаток большинства иерархических процедур, в том числе и алгоритма Уорда, заключается в невозможности автоматического выбора оптимального числа классов. Считается, что исследователь должен сам выполнять эту операцию, исходя из каких-либо априорных физических представлений, либо задавая тем или иным способом пороговое (критическое) расстояние. В последнем случае при выполнении численных расчетов довольно часто возникает ситуация неопределенности, когда возможно несколько вариантов определения оптимального числа классов.

На рис. 2 представлена рассчитанная методом Уорда дендрограмма исходных показателей из табл. 1, визуальный анализ которой показывает, что исследуемая совокупность является довольно однородной. От нее отделяются лишь два показателя (кандидаты наук и аспиранты), характеризующие учреждения

Академии наук. Естественно, что подобный результат вряд ли можно признать заслуживающим внимания. Очевидно, содержащиеся в исходных данных закономерности скрыты от наблюдателя и для их нахождения необходимы преобразования, позволяющие выявить латентные факторы, описывающие исходную совокупность.

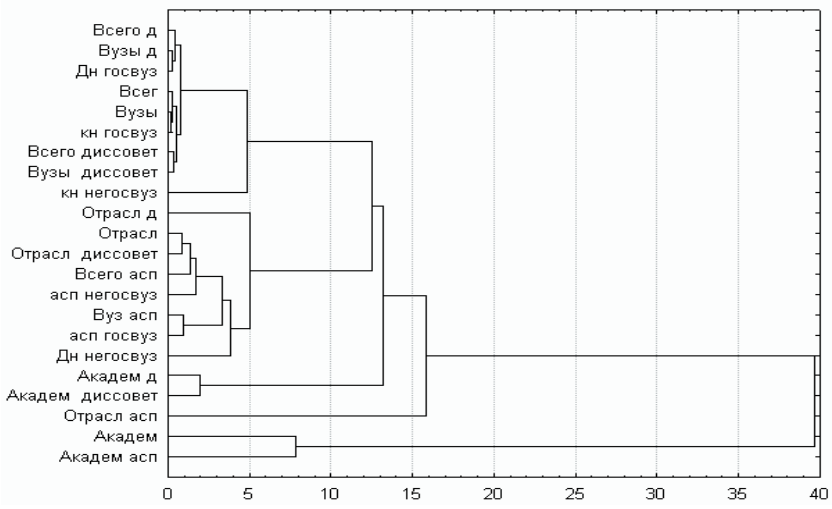


Рис. 2. Дендрограмма показателей кадрового потенциала города, построенная методом Уорда в исходном пространстве признаков

Обратимся теперь к рис. 3, на котором представлена дендрограмма тех же показателей кадрового потенциала в пространстве первых двух факторов. Нетрудно видеть, что она принципиально отличается от дендрограммы, построенной по исходным данным. Даже визуально легко выделить три класса. В данном случае использование критериев качества классификации представляется уже излишним. Дополнительно на рис. 4 приводится распределение показателей кадрового потенциала непосредственно в пространстве первых двух факторов, которое подтверждает, что рассматриваемая совокупность разделяется на три компактных групп точек, отделенные друг от друга значительными (межгрупповыми) расстояниями, превосходящими расстояния внутри групп точек.

В первый класс (нижняя группа на рис. 3) вошли все показатели отраслевой науки, представленной более чем 500 научными учреждениями, а также дополнительно показатели негосударственных вузов, включающих данные 60 учебных заведений. Данный факт представляется весьма любопытным и означает, что показатели кадрового состава негосударственных вузов и отраслевых учреждений в течение шести рассматриваемых лет изменяются близким образом. Однако причины этого требуют дополнительного осмысления. Второй класс (центральная группа на рис. 3) составляют показатели академической науки, представляющей 44 учреждения РАН и 19 учреждений других академий. Нако-

нец, третья группа состоит из показателей 49 государственных вузов, а также показателей, характеризующих итоговые суммы для всего города. Это означает, что именно *государственные вузы*, несмотря на то, что их число значительно уступает научным учреждениям других типов, в конечном счете, дают *решающий вклад в итоговые показатели научного кадрового потенциала города*. Действительно, в вузах работает почти две трети докторов и кандидатов наук, сосредоточено 73 % диссертационных советов от суммарного количества в городе.

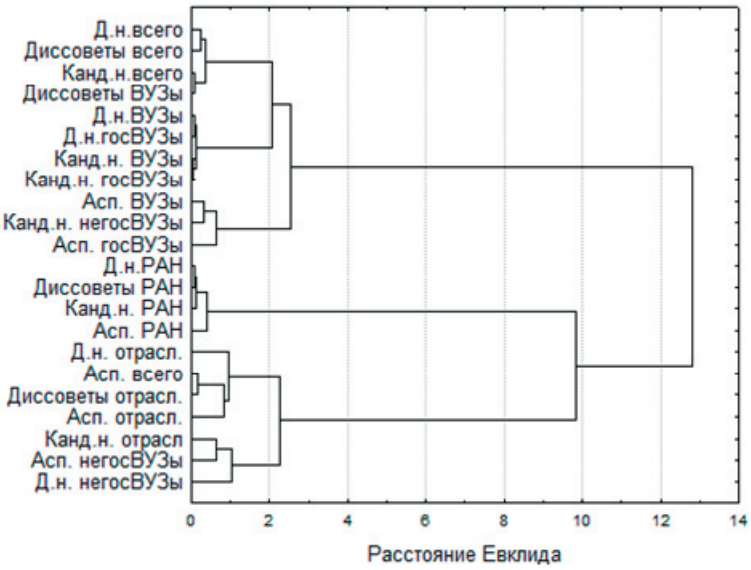


Рис. 3. Дендрограмма показателей кадрового потенциала города, построенная методом Уорда в пространстве первых двух факторов

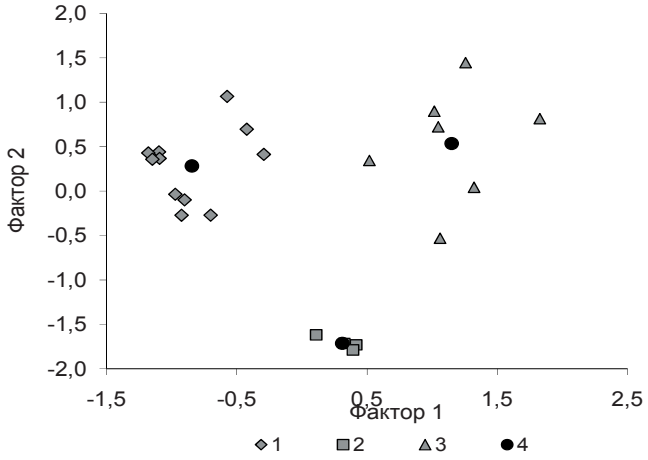


Рис. 4. Распределение показателей кадрового потенциала научных организаций города в пространстве первых двух факторов

Итак, совместное применение факторного анализа и иерархической классификации позволяет однозначно выделить три однородные структуры показателей кадрового потенциала: государственные вузы, академические учреждения, отраслевые организации и негосударственные вузы. На первый взгляд данные результаты, исключая последнюю группировку, достаточно очевидные и тривиальные. Однако это не совсем так. Во-первых, они стали «достаточно очевидными» только в факторном пространстве. Во-вторых, соответствие полученных результатов реально существующим научным структурам повышает степень доверия к использованному нами подходу анализа данных. В-третьих, может быть сформулирован целый ряд новых результатов, непосредственно вытекающих из методологии ФА и КА.

Один их них касается уже рассмотренного выше анализа межгодовой изменчивости показателей кадрового потенциала, невозможной не только в рамках традиционного одномерного статистического анализа, но даже и в рамках теории малых выборок. Кроме того, достаточно очевидным является то, что 1-й фактор описывает преимущественно первую и третью группировки показателей, причем связь между ними противофазная, а 2-й фактор описывает главным образом вторую группировку.

Одновременно с этим представляется возможным получение дополнительных результатов, направленных на оптимизацию системы мониторинга кадрового потенциала. Естественно, для этого необходимо выполнить ранжирование показателей, определить те из них, которые наиболее точно отражают все выделенные группировки в факторном пространстве. Очевидно, с этой целью, прежде всего, следует рассчитать центры тяжести каждой группировки. Хотя это может быть осуществлено несколькими способами, но воспользуемся самым простым – арифметическим осреднением факторов для каждой однородной группировки. После этого определяем расстояние от каждого показателя до центра группы при помощи эвклидовой метрики по формуле

$$D(x_j, x_{j+1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} (x_{i,j} - x_{i,j+1})^2} \to \min, \qquad (2)$$

где m – число признаков ($m = 2$).

Очевидно, тот показатель, для которого отмечается минимальное значение эвклидовой метрики до центра тяжести, можно принять в качестве центрального. Для первой группы это отраслевые диссоветы, для второй – академические диссоветы, для третьей группы очень близкие значения евклидовой метрики имеют количество кандидатов наук всех вузов и число диссоветов в вузах. Последний показатель примем в качестве центрального. Итак, *именно число диссертационных советов следует считать, очевидно, самым репрезентативным показателем кадрового потенциала города за период с 1999 по 2004 г., который является интегральным параметром, наилучшим образом, отражающим современное состояние научных организаций города.*

В заключение подчеркнем, что данные результаты следует рассматривать как ориентировочные и относительные, ибо получены по довольно короткой выборке. Вполне возможно, что с увеличением объема выборки взаимосвязи между показателями могут измениться.

Литература

1. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
2. *Афифи А., Эйзен С.* Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
3. *Болч Б., Хуань К.* Многомерные статистические методы экономики. – М.: Статистика, 1979. – 317 с.
4. *Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И.* Многомерные статистические методы. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 350 с.
5. *Иберла К.* Факторный анализ. – М.: Статистика, 1980. – 398 с.
6. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик. – Мурманск: изд. ПИНРО, 2003. – 164 с.
7. Многомерный статистический анализ в экономике / Под ред. В.Н. Тамашевича. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
8. Научный и научно-технический потенциал Санкт-Петербурга. 1999–2003 гг. – СПб., с.

ХРОНИКА

В РГГМУ с 27 по 30 апреля 2010 г. состоится Международная конференция «50 лет развития образования и просвещения для формирования будущего океанов и прибрежных территорий».

Цель конференции – обмен знаниями и опытом, предложение новых путей и вклад в новые цели развития планеты и в задачи декады ООН по образованию для устойчивого развития.

В РГГМУ с 28 по 30 апреля в соответствии с Приказом Минобрнауки № 199 от 12 марта 2010 г. будет проходить традиционный III тур Всероссийской студенческой Олимпиады (ВСО) по направлению «Гидрометеорология» (для студентов 3–4 курсов) и конкурсы по специальностям «Метеорология», «Гидрология», «Океанология» (для студентов-специалистов 5 курсов и магистров 1-го года обучения). В олимпиаде принимают участие студенты из Казанского, Пермского, Томского, Саратовского, Московского, Санкт-Петербургского государственных университетов и Государственной морской академии им. С.О. Макарова, Московского им. М.И. Ломоносова, Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Воронежского высшего авиационного училища.

Список авторов

1. *Атласкин Евгений Михайлович*, кафедра метеорологических прогнозов РГГМУ (812) 444-81-55
2. *Алдашкина Елена Сергеевна*, асп. каф. ЭФА РГГМУ (812) 444-81-55
3. *Барышников Н.Б.* , д-р геогр. н., проф., зав. каф. гидрометрии РГГМУ, 8-921-432-51-29
4. *Блакидная Полина Александровна*, к.ф-м.н., мл. научн. сотр. РГГМУ, 8-921-096-09-60
5. *Воякина Екатерина Юрьевна*, инженер каф. прикладной экологии РГГМУ (812) 224-06-97
6. *Гагулина Наталья Львовна*, к.ф-м.н. , доц. каф. экономики РГГМУ 8-921-988-57-09
7. *Гогоберидзе Геприй Гививич*, к.ф.-м.н., доц каф. КУПЗ РГГМУ (812) 2243061
8. *Гниловской Евгений Владимирович*, к.ф-м. н., ст. науч. сотр лаборатории голографии СПб ГМУ (812) 233-26-33
9. *Геворгян Артур Мигранович*, аспирант каф. метеопрогнозов РГГМУ (812) 233-26-33
10. *Демидова Юлия Александровна*, аспирант каф. гидрометрии РГГМУ, 8-951-671-95-75
11. *Домнина Анастасия Юрьевна,* инженер-исследователь. Атлантическое отд. Института океанологии им. П.П.Ширшова, Калининград (4012)35-95-89
12. *Дроздов В.В*. к.б.н., доц. каф. экологии РГГМУ (812) 224-16-59
13. *Дурягина Елена Георгиевна*, ст. преп. каф. химии природной среды РГГМУ
14. *Исаев Дмитрий Игоревич*, к.г.н., доц. каф. гидрометрии РГГМУ 8-911-254-18-32
15. *Канухина Анна Юрьевна*, к.ф.-м.н., сотр. Управления международных связей РГГМУ (812) 444-56-36
16. *Коробков А.В.*, специалист геогеолог, капитан танкера «Амур» ЭКО Феникс
17. *Лазар Михай Гаврилович*, д.ф.н., проф. каф. соц.-гум. н. РГГМУ (812) 444-5947
18. *Нечитайло Игорь Алексеевич*, к.э.н., доц. каф. экономики предприятия, (812) 348-50-95
19. *Осечкин Всеволод Владимирович*, к.г.н., доц. СПб ГУЭиФ
20. *Пагин Алексей Олегович*, к.т.н., ст. преп. каф. гидрометрии РГГМУ, 8-921-987-44-89
21. *Потемкин Владимир Евгеньевич*, ст. науч. сотр. НПО «ОПГЭК»
22. *Селина Татьяна Сергеевна*, аспирант каф. гидрометрии РГГМУ, 8-921-771-68-16
23. *Субботина Елена Сергеевна*, к.г.н., доц. каф. гидрометрии РГГМУ, (812) 272-82-66
24. *Соболенв Максим Викторович*, аспирант каф. гидрометрии РГГМУ, 8-911-279-81-58
25. *Смышляев Сергей Павлович*, д.ф.-м.н., проф. каф. метеопрогнозов РГГМУ (812) 444-81-55
26. *Снегуров Виктор Сергеевич*, д.т.н., ведущий научн. сотр. ГГО им. А.И. Воейкова (812) 297-43-90
27. *Снегуров Александр Викторович*, к.т.н., ведущий инженер-программист ГГО им. А.И. Воейкова (812) 297-43-90
28. *Степанова Анастасия Борисовна*, к.б.н., доц. каф. прикладной экологии РГГМУ (812) 224-06-97
29. *Твердохлебов Андрей Владимирович*, магистр каф. гидрометрии, 8-921-382-81-23
30. *Тимофеева А.Г.* науч. сотр. ГОУ ИПК Росгидромет
31. *Хандожко Леонид Андреевич*, д.г.н., проф. каф. экономики РГГМУ, (812) 444-81-55
32. *Чукин Владимир Владимирович*, к.ф.-м. н., доц. каф. ЭФА РГГМУ (812) 444-81-55
33. *Шаарийбуу Г.,* аспирант каф. метеоролог. прогнозов (812) 444-81-55
34. *Шарафутдинова Г.Ф.* аспирант каф. метеоролог. прогнозов РГГМУ (812) 444-81-55
35. *Шумакова Ирина Борисовна,* соискатель, гл. бух. РГГМУ (812) 444-41-70
36. *Щукин Георгий Георгиевич*, д.ф-м.н., проф., директор ГУ ГГО им. А.И. Воейкова – НИЦ ДЗА (812) 974-67-63

Требования к представлению и оформлению рукописей для авторов журнала

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен являться оригинальным, неопубликованным ранее в других печатных изданиях. Объем статьи может составлять до 1,5 авторских листов (1 а.л. равен 40 тыс. знаков), в исключительных случаях по решению редколлегии – до 2 авторских листов.
2. На отдельной странице приводятся сведения об авторе (авторах) на русском и английских языках: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и место работы, контактные телефоны, адрес электронной почты.
   Плата за опубликование рукописей с аспирантов не взимается.
3. Аннотация статьи объемом до 7 строк на русском и английском языках не должна содержать ссылок на разделы, формулы, рисунки, номера цитируемой литературы.
4. Список литературы должен содержать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок.
5. Пронумерованный список литературы (в алфавитном порядке, сначала на русском, затем на иностранных языках) приводится в конце статьи на отдельной странице с обязательным указанием следующих данных: для книг – фамилия и инициалы автора (редактора), название книги, место издания (город), год издания; для журнальных статей – фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год издания, том, номер, выпуск, страницы (первая и последняя). Разрешается делать ссылки на электронные публикации и адреса Интернет с указанием всех данных.
6. Оформление ссылок в тексте: [Иванов, 1995]. Если при цитировании делается ссылка на конкретную цитату, формулу, теорему и т.п., следует указывать номер страницы: [Иванов, 1995, с. 23]. При наличии ссылок на несколько работ одного автора, опубликованных в одном году, рядом с годом издания указывается буква русского алфавита, показывающая порядок данного издания в списке литературы: [Иванов, 1995а, с. 23].
7. Сноски помещаются на соответствующей странице текста.
8. Таблицы и другие цифровые данные должны быть тщательно проверены и снабжены ссылками на источники. Таблицы приводятся в тексте статьи, номер и название указываются над таблицей.
9. Названия зарубежных компаний приводятся в тексте без кавычек и выделений латинскими буквами. После упоминания в тексте фамилий зарубежных ученых, руководителей компаний и т.д. на русском языке, в полукруглых скобках приводится написание имени и фамилии латинскими буквами, если за этим не следует ссылка на работу зарубежного автора.

Рекомендации по форматированию
для подачи рукописи в редакционно-издательский отдел

Формат А5 (148×210) книжный.
Поля: верхнее – 1,8 см; нижнее – 2,3 см; левое – 1,8 см; правое – 1,8 см.
От края до верхнего колонтитула – 0 см, до нижнего колонтитула – 1,8 см.
Колонцифры внизу в зеркальном положении – 10, обычным шрифтом, начинать с титульного листа.
Набрать текст шрифтом Times New Roman, обычный.
Межстрочный интервал – одинарный.
Абзацный отступ – 0,75 см.
Интервал до заголовка – 24 пункта, после – 6.
Размер шрифта: основной текст – 11, таблицы – 9.
Лежачие таблицы поместить в отдельный файл на формат А5 альбомный, поля: верхнее, нижнее и правое – 1,8 см, левое – 2,3 см, шрифт – 9.
Рисунки располагать по тексту в соответствии со ссылкой.
Подрисуночную 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 № 12

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакторы: И.Г. Максимова, Л.В. Ковель
Компьютерная верстка Н.И. Афанасьевой

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 20.04.10. Формат 70×100 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 14. Усл. печ. л. 14. Тираж 500 экз. Заказ № 09/10.
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
Отпечатано: ЗАО «НПП «Система», 197045, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., 17/1.

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