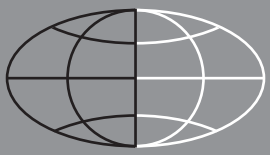


РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

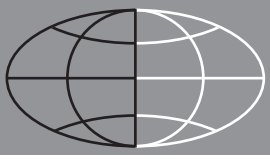


PROBLEMS OF GEOGRAPHY

The collected scientific works were founded in 1946 at the initiative and under the guidance of N.N. Baranskiy at the Moscow branch of Geographical Society of USSR. Publication of the series was resumed in 2009 as the Russian Geographical Society edition

EDITORIAL BOARD:

V Kotlyakov
N Kasimov
P. Baklanov
V. Rumyantsev
A. Chibilyov
S. Dobrolyubov
K. Dyakonov
A. Shmakin
K. Chistyakov
V. Razumovsky
A. Tishkov
A. Postnikov
L. Ovchinnikova

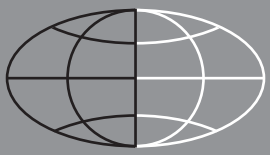


ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Научные сборники, основанные в 1946 г. по инициативе и под руководством Н.Н. Баранского в Московском филиале Географического общества СССР. Серия возобновлена в 2009 г. как издание Русского географического общества

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик *В.М. Котляков* (председатель)
академик *Н.С. Касимов* (заместитель председателя)
академик *П.Я. Бакланов*
академик *В.А. Румянцев*
член-корреспондент РАН *А.А. Чибилёв*
член-корреспондент РАН *С.А. Добролюбов*
член-корреспондент РАН *К.Н. Дьяконов*
член-корреспондент РАН *А.Б. Шмакин*
член-корреспондент РАЕН *К.В. Чистяков*
доктор географических наук *В.М. Разумовский*
доктор географических наук *А.А. Тишков*
доктор технических наук *А.В. Постников*
Л.Е. Овчинникова



PROBLEMS
OF GEOGRAPHY

Volume **133**

To the 60th anniversary of Hydrological Commission of the Russian Geographical Society's Moscow Centre

Geographical-Hydrological Studies

Executive editors
N.I. Koronkevich
E.A. Barabanova

MOSCOW
«Kodeks» Publishing House
2012



ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Сборник **133**

60-летнему юбилею
Гидрологической комиссии
Московского отделения
Русского географического общества
посвящается

Географо-гидрологические исследования

Ответственные редакторы:
доктор географических наук Н.И. Коронкевич
кандидат географических наук Е.А. Барабанова

МОСКВА
Издательский дом «Кодекс»
2012

УДК 910
ББК 26.8
В 74

Рекомендовано Ученым советом Русского географического общества

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук И.С. Зекцер,
доктор географических наук Н.М. Новикова

Вопросы географии / Моск. отделение Русского геогр. о-ва. – М., 1946 – 2012 г.
Сб. 133: Географо-гидрологические исследования / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2012.

Сборник посвящен 60-летнему юбилею Гидрологической комиссии Московского центра Русского географического общества. В сборнике более 30 статей по актуальным вопросам географо-гидрологических, в т.ч. ландшафтно-гидрологических, исследований. Среди авторов представители ведущих организаций, в которых проводятся рассматриваемые исследования – Института географии РАН, Института водных проблем РАН, кафедры гидрологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Государственного гидрологического института Росгидромета, Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.

Для географов, гидрологов, работников водного хозяйства, широкой географической общественности.

ISBN 978-5-904280-24-6 © Русское географическое общество, 2012

Problems of Geography / Russian Geographical Society Moscow Center. – Moscow, 1946 – 2012.
Vol. 133: Geographical-hydrological Studies / Responsible editors N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova. – Moscow. «Kodeks» Publishing House, 2012.

The book is dedicated to the 60th anniversary of Hydrological Commission of the Russian Geographical Society Moscow Center. The collection contains more than 20 articles on actual problems of geography-hydrological, including landscape-hydrological, researches, grouped in 3 sections. The first - The history and development of the theory and methods of geography-hydrological studies, the second - Investigation of the regularities of the hydrological systems formation and operation and their changes under the influence of anthropogenic factors, the third - Assessment of the condition and after-effects of water resources changes, proposals on protection water and related natural resources. The authors include representatives of leading organizations investigating problems under consideration – Institute of Geography RAS, Institute of Water Problems RAS, Department of Hydrology at geographical faculty in M.V. Lomonosov Moscow State University, State Hydrological Institute, Institute of Global Climate and Ecology, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS.

For geographers, hydrologists, water management professionals, broad geographic community.

ISBN 978-5-904280-24-6 © Russian Geographical Society, 2012

Оглавление

Предисловие *(В.М. Котляков)*..... 12

Раздел I. История и развитие теории и методов географо-гидрологических исследований..... 13

Н.И. Коронкевич, Г.М. Черногаева. Юбилей Гидрологической комиссии Московского центра Русского географического общества..... 13

Н.И. Коронкевич. Географо-гидрологические исследования в Институте географии РАН..... 21

А.Н. Антипов, *Л.М. Корытный.* Сибирская школа ландшафтной гидрологии..... 32

Н.И. Алексеевский. Речной сток: географическая роль и индикационные свойства..... 48

Р.С. Чалов. Географическое направление в изучении русловых процессов (основы географического русловедения)..... 72

В.Н. Федоров, *И.И. Терентьев.* Ландшафтно-гидрологический подход к исследованию структуры водного баланса и стока и оценки его характеристик с угодий малых водосборов и речных бассейнов..... 95

С.И. Шапоренко. Гипотеза двухслойности гидросферы: обоснование и основные результаты новой концепции..... 117

Д.Я. Фащук. Морская экологическая география – новое направление конструктивной географии..... 140

Раздел II. Исследование закономерностей формирования и функционирования гидрологических систем и их изменений под влиянием природных и антропогенных факторов..... 159

К.К. Эдельштейн. Географическая типизация структуры материковых гидрологических циклов и тенденции их антропогенного преобразования..... 159

М.А. Лукьянович. Структура речного стока в гидрографической сети континентов..... 181

С.В. Долгов. Пространственные и временные изменения вертикальной структуры речного стока в Европейской части России..... 189

Н.И. Сенцова. Гидрологическое районирование речных бассейнов по сезонной изменчивости характеристик речного стока..... 211

А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова. Сценарная оценка изменений стока рек Волги и Дона, возможных в первой трети XXI века..... 224

А.Г. Георгиади, Е.А. Кашутина. Изменение гидрологического цикла вегетационного периода Центральной лесостепи в XXI столетии при реализации различных климатических сценариев..... 237

Е.С. Кузенкова. Водный баланс и водообеспеченность штатов США..... 259

И.С. Зайцева. Антропогенные воздействия на водные ресурсы стран «Большой восьмерки»..... 266

Т.С. Бибикова. Динамика водопотребления в России, Украине и Белоруссии в постсоветский период..... 274

Н.В. Поповнин. Изменение водных ресурсов Северного Кавказа ко времени наибольшего антропогенного воздействия..... 289

Е.А. Барабанова. Глобально-региональные особенности регулирования стока рек под влиянием водохранилищ (по косвенным данным)..... 297

М.Б. Заславская, М.Г. Ершова, К.К. Эдельштейн. Роль водохранилищ в трансформации химического состава речных вод России..... 312

Л.К. Малик. Географо-гидрологическая оценка последствий создания крупных гидроэлектростанций на Севере Российской Федерации..... 334

Г.М. Черногаева, А.С. Зеленов, М.С. Зеленова. Динамика макрокомпонентной атмосферной нагрузки на речные водосборы Севера ЕТС..... 350

Раздел III. Оценка состояния и последствий изменения водных ресурсов. Предложения по охране водных и связанных с ними природных ресурсов..... 361

А.Л. Чепалыга. История Всемирного потопа (эпоха экстремальных затоплений) на основе палеогидрологических реконструкций и анализа библейских текстов..... 361
Е.А. Барабанова, А.Ф. Бумакова, И.С. Зайцева, Н.И. Коронкевич. К оценке опасности гидрологических ситуаций на территории Российской Федерации..... 383
С.В. Ясинский. Современное гидроэкологическое состояние малых равнинных рек..... 394
Н.А. Лемешко. Современные изменения уровня крупнейших озер России..... 406
Г.С. Шилькрот, Т.М. Кудерина. Геохимия речных и озерных вод разных географических ландшафтов..... 418
И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров. Особенности формирования и характеристика химического состава водоемов Тверской области..... 431
А.Е. Шаповалов, Л.И. Эльпинер. Влияние качества потребляемой воды на здоровье детского населения Смоленской области..... 446
Н.Л. Фролова. Гидрологические ограничения природопользования..... 456
А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева, С.Н. Шашков. Нормирование допустимого воздействия антропогенного загрязнения водных объектов для обеспечения экологического благополучия..... 479
Об авторах..... 489

Contents

Introduction *(V.M. Kotlyakov)*..... 12

Section I. History and development of the theory and methods of geographical-hydrological studies..... 13

N.I. Koronkevich, G.M. Tchernogaeva. Anniversary of the hydrological commission of the Moscow center of the Russian geographical socie-ty..... 13

N.I. Koronkevich. Geographical-hydrological studies in the Institute of Geography RAN..... 21

A.N. Antipov, *L.M. Korytny.* Siberian school of the landscape hydrology..... 32

N.I. Alekseevskiy. River runoff: geographical role and indicative propert ies..... 48

R.S. Chalov. Geographical Direction in the Study of Channel Processes (the Basis of Geographical Fluvial Processes Science)..... 72

V. N. Fedorov, *I.I. Terentev* The landscape-hydrological approach in the research of the water balance structure and the river runoff and in estimation of its characteristics from small watershed grounds and river basins..... 95

S.I. Shaporenko. The hypothesis of a two-layer hydrosphere: basis and main results of the new concept..... 117

D.Y. Fashchuk. Sea Ecological Geography – New Direction of the Constructive Geography..... 140

Section II. Investigation of the regularities of the hydrological systems formation and operation and their changes under the influence of natural and anthropogenic factors..... 159

K.K. Edelstein. Geographical Typification of the Continental Hydrological Cycle Structures and Tendency to their Anthropogenic Transformati on..... 159

M.A. Lukyanovich. River runoff structure in the hydrographic net of con tinents..... 181

S.V. Dolgov. Spatial and Temporal Changes in the Vertical Structure of the River Flow in the European Part of Russia..... 189

N.I. Sentsova. Hydrological regionalization of the river basins according to seasonal variability of river runoff characteristics..... 211

A.G. Georgiadi, I.P. Milyukova. Scenario estimation of river runoff changes in Volga and Don river basins projected for first third of XXI..... 224

A.G. Georgiadi, E.A. Kashutina. Hydrological cycle change for vegetation season in the central forest-steppe in XXI century at realization of different climatic scenarios..... 237

E.S. Kuzenkova. Water balance and water supply of territories of the USA..... 259

I.S. Zaitseva. Anthropogenic Impact on Water Resources of Russia and Countries of G7..... 266

T.S. Bibikova. Dynamics of water consumption in Russia, Ukraine and Belarus in the post-Soviet period..... 274

N.V. Popovnin. The change of water resources in the Northern Caucuses by the time of the highest anthropogenic impact..... 289

E.A. Barabanova. Global-regional special features of the flow regulation under the reservoirs impact (by indirect data)..... 297

M.B. Zaslavskaya, M.G. Ershova, K.K. Edelstein. The Role of Reservoirs in the Chemical Transformation of the River Waters in Russia..... 312

L.K. Malik. Geography-hydrological estimation of consequences of creation large-scale hydroelectric power projects in the north of the Russian Federation..... 334

G.M. Chernogaeva, A.S. Zelenov, M.S. Zelenova. Dynamics of macrocomponental atmospheric loading on river catchments in the North of European territory of Russia..... 350

Section III. Assessment of the condition and after-effects of water resources changes, proposals on protection water and related natural resources..... 361

A.L. Chepalyga. History of Noah's Flood (Extreme Inundation Epoch) on the basis of paleohydrologocal reconstructions and Bible texts..... 361

E.A. Barabanova, A.F. Bumakova, I.S. Zajtseva, N.I. Koronkevich. To an estimation of danger of hydrological situations on the territory of the Russian Federation..... 383

S.V. Yasinsky. Contemporary Hydro-Ecological State of Small Plains Rivers..... 394

N.A. Lemeshko. Contemporary changes in the level of water of the largest lakes of Russia..... 406

G.S.Shilkrot, T.M. Kuderina. Geochemistry of the river and lake water in different geographical landscapes..... 418

I.L. Grigorieva, A.B. Komissarov. Special Features of Formation and Characteristics of the Chemical Structure of Water Objects in the Tver Region..... 431

A.E. Shapovalov, L.I. Elpiner. Groundwater quality influence on children's health in Smolensk oblast..... 446

N.L. Frolova. Hydrological Limits for Environmental Management..... 456

A.G. Kochyaryan, I.P. Lebedeva, S.N. Shashkov. Standardization of the level of acceptable anthropogenic water body pollution to ensure its ecological well-being..... 479

Предисловие

После долгого перерыва возобновляется выпуск «Вопросов географии». И один из первых сборников вполне обоснованно отводится географо-гидрологическим исследованиям, поскольку изучение закономерностей формирования и функционирования гидрологических систем, их изменения под влиянием антропогенных факторов и климатических трансформаций в условиях нарастающей остроты водных проблем приобретает все большую актуальность. Есть и формальный предлог – 60-летие гидрологической комиссии Московского центра Русского географического общества. Первая статья сборника и посвящена этому событию.

В статье к 150-летию Русского географического общества[1] мы попытались обрисовать основные черты географического направления в гидрологии. Уже тогда было отмечено, что это направление охватывает тематику, далеко выходящую за рамки традиционного выявления пространственных закономерностей формирования гидрологического режима территории. Настоящий сборник является убедительным подтверждением этого. Значительное внимание в нем уделяется ретроспективному анализу развития теории, методов и направлений географо-гидрологических исследований. Наряду с выявлением пространственных и пространственно-временных закономерностей формирования элементов водного баланса, водных ресурсов в ряде статей рассматриваются использование водных ресурсов и его последствия, в т. ч. для качества вод, для других элементов окружающей среды и хозяйства, экстремальные гидрологические ситуации, природо- и водоохранные мероприятия и т. д.

Круг авторов статей в сборнике охватывает ведущие российские учреждения в этой области науки: Институт географии РАН и Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт водных проблем РАН, Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, Государственный гидрологический институт Росгидромета.

Надеюсь, что сборник будет интересен не только гидрологам, но и широкому кругу читателей, интересующихся географической тематикой.

В.М. Котляков

[1] Котляков В.М., Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М. Географо-гидрологические исследования // Географические направления в гидрологии. М.: Московский центр РГО, 1995. С. 5–10.

РАЗДЕЛ I. ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.И. Коронкевич, Г.М. Черногаева

ЮБИЛЕЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ КОМИССИИ МОСКОВСКОГО ЦЕНТРА РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Рассматриваются основные этапы деятельности гидрологической комиссии Московского центра РГО, начиная с ее организации в декабре 1948 г.

14 декабря 2008 г. исполнилось 60 лет со дня образования гидрологической комиссии Московского центра Русского географического общества (МЦ РГО). Образование гидрологической комиссии датируется 14 декабря 1948 г., когда Евгений Варфоломеевич Близняк выступил на заседании Президиума Московского филиала Всесоюзного географического общества (так ранее назывался МЦ РГО) с докладом «Об организации и задачах гидрологической комиссии Московского центра». Он же был первым председателем комиссии, занимая этот пост до своей кончины в 1958 г.

Е.В. Близняк (1881–1958) – один из ведущих гидрологов и гидротехников страны, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РСФСР. В 1928–1930 гг. – директор организованного им в Москве Гидролого-гидротехнического института. С 1950 г., после смерти С.Д. Муравейского, заведовал кафедрой гидрологии геофака МГУ. В числе основных работ: «Водные исследования» (Близняк, 1927–1952), «Гидротехнические изыскания» (Близняк, 1956).

Первым ученым секретарем комиссии стал известный гидролог, д. г. н., профессор Давид Иосифович Абрамович (1904–1966), работавший тогда в Институте географии АН СССР. Основное внимание в своей научной деятельности он уделял гидрологии Западной Сибири. Вместе с тем он автор книги о подмосковной р. Пахре (Абрамович, 1946).

С 1949 г. ученым секретарем комиссии на многие годы стала Валентина Ефимовна Иогансон (1912–?), к. г. н., специалист в области гидрографии и твердого стока. С 1936 по 1970 г. работала в Институте географии АН СССР. Один из соавторов монографий «Очерки по гидрографии рек СССР» (1953), «Сели в СССР и меры борьбы с ними» (1964).

После Е.В. Близняка некоторое время председателем гидрологической комиссии был исследователь водохранилищ Николай Михайлович Бочков, работавший в Водгео. К сожалению, более полных сведений о нем не удалось обнаружить, как и о точных датах «правления» ряда последующих руководителей комиссии.

В 1960-х гг. гидрологическую комиссию возглавил один из ведущих гидрологов страны Геннадий Павлович Калинин (1916–1975), д. г. н., профессор, член-корр. АН СССР (с 1970 г.), зав. кафедрой гидрологии геофака МГУ, автор широко известной монографии «Проблемы глобальной гидрологии» (Калинин, 1968).

После трагической гибели Г.П. Калинина во главе комиссии встал Олег Павлович Чижов, а затем Анатолий Иванович Субботин.

О.П. Чижов (1905–2003) – известный гляциолог и гидролог, д. г. н., в 1956-1991 гг. сотрудник Института географии АН. Большая часть его работ посвящена колебаниям баланса массы ледников. Основные публикации: «Оледенение Новой Земли» (1968, в соавторстве) и «Оледенение северной полярной области» (Чижов, 1976).

А.И. Субботин (1921–1985), д. г. н., один из ведущих специалистов в области ландшафтной гидрологии. Его научная деятельность тесно связана с Центральным институтом прогнозов (ныне Гидрометцентр РФ), в котором он работал с 1944 по 1981 г. Автор нескольких монографий, в т. ч.: «Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным)» (Субботин, 1966), «Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР» (Субботин, 1978), «Экспериментальные исследования в бассейне реки Москвы» (Субботин, 1991, в соавторстве с В.С. Дыгало).

Значительную помощь А.И. Субботину в качестве ученого секретаря комиссии оказала д. г. н. Елена Степановна Змиева, также сотрудница Центрального института прогнозов и крупный специалист в области ландшафтной гидрологии.

После смерти А.И. Субботина в 1985 г. председателем гидрологической комиссии стал Николай Иванович Коронкевич (д. г. н., профессор, зав. лабораторией региональных географических прогнозов, в последующем – лабораторией гидрологии ИГАН СССР, ныне ИГ РАН), а ученым секретарем – Галина Михайловна Черногаева (ныне д. г. н., проф., замдиректора Института глобального климата и экологии). Эти функции они выполняли вплоть до по-

следнего времени. С 2010 г. Г.М. Черногаева стала зампредседателя гидрологической комиссии, а ученым секретарем – Елена Алексеевна Барабанова (лаборатория гидрологии ИГ РАН).

В первые годы существования комиссии тематика заседаний характеризовалась большим разнообразием – рассматривались вопросы формирования речного стока и химизма вод, эрозионные процессы, гидрологические явления в озерах, водохранилищах, морях, ледовые явления, проблемы океанологии и гидрологии и т. д. С докладами выступали Б.А. Аполлов, Н.М. Бочков, М.А. Великанов, С.Л. Вендров, В.Е. Иогансон, Г.П. Калинин, В.Д. Комаров, Б.И. Куделин, М.И. Львович, Н.И. Маккавеев, П.И. Милюков и другие ведущие гидрологи, специалисты водного хозяйства, а также океанологи и гляциологи. Лишь во второй половине 1979 г. океанологи выделились в самостоятельное отделение океанологии, а в декабре 1984 г. была организована гляциологическая комиссия.

Значительное место в тематике заседаний гидрологической комиссии занимали вопросы, актуальные для народного хозяйства. Символично в этой связи заседание 29.02.1952 г., посвященное «исследованию и использованию водохранилищ в связи с великими стройками коммунизма».

В 1951 г. вышел 26-й сборник «Вопросы географии» – «Гидрология» под ред. И.В. Самойлова, посвященный памяти С.Д. Муравейского. В статье В.Д. Быкова в этом сборнике рассматривается роль Муравейского как автора учения о стоке как географическом факторе. Статья будущего директора ГГИ (1968–1981) А.А. Соколова была посвящена весьма актуальному и в наше время соотношению географического и геофизического направлений в гидрологии. Автор убеждает в больших перспективах географического направления, считая, что «значение географического подхода к гидрологическим явлениям и процессам состоит в том, что он позволяет по неизбежно неполным и немногочисленным данным, основываясь на анализе явления и установленных географических закономерностей, делать широкие научные обобщения, позволяющие судить о свойствах вод еще слабо изученных территорий» (Соколов, 1951, с. 41). И далее: «Географический и геофизический методы исследования в гидрологии не исключают, а взаимно дополняют друг друга и представляют как бы две стороны единого диалектического метода» (Соколов, 1951, с. 39). Он отмечает, что

«географо-гидрологическому методу» (автора которого, В.Г. Глушкова, репрессированного в 1930-е гг., тогда нельзя было назвать) значительный ущерб был нанесен неумелым применением рядом исследователей.

В 1960-е гг. гидрологическая комиссия подготовила два сборника в «Вопросах географии» по актуальным проблемам: № 60 под редакцией В.Е. Иогансон «Лес и воды (лесная гидрология)» (1963) и № 73 «Водные ресурсы и их комплексное использование» (1968, отв. ред. А.М. Грин).

Широта тематики в докладах на комиссии сохранилась и в последующие годы. Но постепенно все большее место занимали доклады, посвященные развитию идеи В.Г. Глушкова о географо-гидрологическом методе, географическому направлению в гидрологии, гидрологической роли отдельных ландшафтов, ее трансформации под влиянием различных видов хозяйственной деятельности, проблемам малых рек. Наибольшего развития эти направления работы комиссии достигли в 1970–1980-е гг. В этот период состоялись: совместное заседание гидрологической комиссии и гидрологического семинара Гидрометцентра СССР на тему «Экспериментальные гидрологические исследования на малых водосборах» (14.01.1970), выездное заседание гидрологической комиссии на Подмосковной водно-балансовой станции (15.10.1976), Всесоюзное совещание гидрологической комиссии и секции гидрологии Межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР «Гидрологические аспекты урбанизации» (22–23.11.1976), совещание «Проблемы малых рек» (24.02.1978), семинар (совместно с отделом гляциологии Института географии АН СССР) «Современные проблемы гляциологии» (несколько заседаний в феврале–марте 1979 г.), заседание гидрологической комиссии и Центральной высотной гидрометеорологической обсерватории «Гидрологические исследования и водное хозяйство в бассейне р. Москвы» (10–11.02.1983), а также целый ряд других заседаний, в том числе с другими комиссиями Московского филиала Географического общества. Инициатором многих начинаний был А.И. Субботин. Помимо него, в числе наиболее активно в это время участвовавших в работе комиссии: Н.А. Воронков, А.А. Дрейер, В.С. Дыгало, Е.С. Змиева, Н.И. Коронкевич, Ю.Н. Куликов, Ю.А. Кумачев, Л.К. Малик, Г.М. Черногаева, Е.П. Чернышев, О.П. Чижов.

Гидрологическая комиссия многое сделала, особенно усилиями А.И. Субботина и А.А. Дрейера, для создания Совета по координации исследований бассейна р. Москвы и установления контактов с Межреспубликанским комитетом по проблемам бассейна р. Десны.

Гидрологической комиссией был подготовлен и опубликован ряд сборников. Среди них «Ландшафт и воды» под ред. А.И. Субботина (1976), «Малые реки» под ред. Н.И. Коронкевича, А.И. Субботина (1981).

Параллельно с ландшафтной гидрологией усилиями А.Б. Авакяна, С.Л. Вендрова и других исследователей активно развивалось в рамках комиссии и направление, связанное с оценкой последствий гидротехнических преобразований водных ресурсов. Так, 12.04.1976 г. в присутствии более 60 человек состоялось заседание, посвященное проблемам использования водохранилищ, на котором выступили С.Л. Вендров, А.Б. Авакян, Л.Н. Шапиро, С.М. Успенский, А.Ю. Ретеюм, К.Н. Дьяконов. Еще больший интерес вызвал круглый стол гидрологической комиссии и Семинара по мелиорации отделения физической географии «Вопросы переброски части стока северных рек в бассейн реки Волги и мелиорация земель» (16.12.1982) с выступлениями Н.П. Айдарова, А.С. Березнера, С.Л. Вендрова, М.И. Львовича, А.М. Шульгина и др.

Под редакцией С.Л. Вендрова и Н.И. Коронкевича опубликован сборник «Географические аспекты переброски стока» (1984).

После смерти А.И. Субботина (май 1985 г.) было предпринято все, чтобы сохранить географо-гидрологическую направленность работы гидрологической комиссии. Символично, что ее заседание 28 мая 1986 г., посвященное памяти А.И. Субботина, названо «Достижения и проблемы ландшафтной гидрологии». Этой теме по-прежнему посвящалась большая часть докладов. Под редакцией Н.И. Коронкевича, Г.М. Черногаевой издан ряд сборников. Среди них «Географо-гидрологические исследования» (1992). В 1994 г. вышел в свет подготовленный совместно с Институтом географии РАН сборник «Малые реки России». К 150-летию Русского географического общества также совместно с Институтом географии РАН изданы «Географические направления в гидрологии» (1995). В заглавной статье В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Г.М. Черногаевой «Географо-гидрологические исследования» значительное внимание уделено особенностям географического направления в гидрологии.

Под географическим направлением в гидрологии понимается прежде всего повышенное внимание к пространственным и пространственно-временным закономерностям круговорота воды и отдельных его звеньев, к гидрологической роли различных ландшафтов.

Во многом следствием анализа неравномерности распределения гидрологических явлений и процессов в пространстве является акцент на объяснении ее причин, генезиса. Другая предпосылка генетической направленности – необходимость выявления взаимосвязи различных составляющих природных вод между собой, с другими компонентами природы, с деятельностью человека.

В результате такого системного рассмотрения вод именно географическому направлению в наибольшей степени присущи интеграционные подходы к анализу всего многообразия причин и следствий гидрологических явлений и процессов, прослеживающихся в том числе и в выявлении роли воды в функционировании природы и общества, в изыскании путей наиболее экологичного использования водных ресурсов.

Широта географо-гидрологического охвата предполагает и соответствующий набор методов исследований. В последнее время в них широко используются методы математической статистики, моделирования, геофизические подходы. Но приоритетными остаются разновидности общегеографического метода сравнения, в частности географо-гидрологических аналогий, интерполяции. Заполнение «белых пятен» на гидрологических картах предполагает широкое привлечение косвенных географических показателей, по которым имеется более обширная информация. Комплексный характер географо-гидрологических исследований предусматривает и особое внимание к балансовым подходам.

Географическое направление остается главным в работе Гидрологической комиссии и во все последующие годы. В его рамках большое место в докладах заняли вопросы оценки гидрологических последствий распада СССР и сопровождающего его социально-экономического кризиса в России и сопредельных государствах, гидроэкологии, экстремальных гидрологических ситуаций, прогноза гидрологических последствий возможных изменений климата, мониторинга состояния водных объектов.

Представители Гидрологической комиссии приняли активное участие в работе географических и гидрологических съездов. Всего за 60 лет существования Комиссии заслушано примерно 400 докладов, подготовлено около 20 тематических сборников.

Трудные 1990-е гг. не могли не сказаться негативно на деятельности Гидрологической комиссии. Интенсивность ее работы снизилась, уменьшилась посещаемость заседаний, очень трудно стало с изданием сборников. Однако кадровый костяк в основном сохранился, пополняется и есть основания полагать, что самый трудный период позади. Настоящий сборник – одно из подтверждений этого.

Дополнительную информацию по теме данной статьи можно получить в работах Б.А. Аполлова (1963), В.Е. Иогансон (1963), А.В. Краснопольского (1993), К.Г. Тихоцкого (1982), а также в книге «Институт географии…» (2008).

Литература

1. *Абрамович Д.И.* Река Пахра как пример малых рек Московской области. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 52 с.
2. *Аполлов Б.А.* Евгений Варфоломеевич Близняк // Вопросы географии. №60. М.: Географгиз, 1963. С. 7–10.
3. *Близняк Е.В.* Водные исследования. М.: Речиздат, 1927–1952.
4. *Близняк Е.В.* Гидротехнические изыскания. М.: Госстройиздат, 1956.
5. Водные ресурсы и их комплексное использование // Вопросы географии. №73 / Отв. ред. А.М. Грин. М.: Мысль, 1968. 183 с.
6. Географические аспекты переброски стока. М.: МФ ГО СССР, 1984. 103 с.
7. Географические направления в гидрологии. М.: Московский центр РГО, 1995. 224 с.
8. Географо-гидрологические исследования. М.: Московский центр РГО, 1992. 196 с.
9. Гидрология // Вопросы географии. Сб. 26 / Отв. ред. И.В. Самойлов. М.: Географгиз, 1951. 328 с.
10. Институт географии и его люди // К 90-летию со дня образования. М.: Наука, 2008. 678 с.
11. *Иогансон В.Е.* Обзор деятельности гидрологической комиссии за 1948–1961 гг. // Вопросы географии. №60. М.: Географгиз, 1963. С. 149–155.
12. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 377 с.

13. *Краснопольский А.В.* Отечественные географы (1927–1992). Библиографический справочник (в 3-х томах). Т. 1. А–К. СПб., 1993. 492 с.
14. Ландшафт и воды // Вопросы географии. Сб. 102 / Отв. ред. А.И. Субботин. М.: Мысль, 1976. 208 с.
15. Лес и воды (лесная гидрология) // Вопросы географии. №60 / Отв. ред. В.Е. Иогансон. М.: Географгиз, 1963. 192 с.
16. Малые реки // Вопросы географии. Сб. 118. М.: Мысль, 1981. 223 с.
17. Малые реки России. М.: Ин-т географии РАН, МЦ ГО РФ, 1994. 250 с.
18. Оледенение Новой Земли. (Результаты исследований по программе международного геофизического года. IX раздел: Гляциология, №18). М.: Наука, 1968. 337 с.
19. Очерки по гидрографии рек СССР. М., 1953. 324 с.
20. Сели в СССР и меры борьбы с ними. М.: Наука, 1964. 282 с.
21. *Соколов А.А.* О географическом и геофизическом направлениях в гидрологии // Вопросы географии. Сб. 26. М.: Географгиз, 1951. С. 35–45.
22. *Субботин А.И.* Сток талых и дождевых вод (по экспериментальным данным). М.: Московское отделение Гидрометеоиздата, 1966. 376 с.
23. *Субботин А.И.* Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 98 с.
24. *Субботин А.И., Дыгало В.С.* Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне реки Москвы. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 264 с.
25. *Тихоцкий К.Г.* Роль Е.В. Близняка и его идей в становлении и развитии гидрологии суши и водохозяйственного проектирования // Географические аспекты исследований и использование водных ресурсов в СССР. М.: МЦ ГО СССР, 1982. С. 18–29.
26. *Чижов О.П.* Оледенение северной полярной области. М.: Наука, 1976. 240 с.

N.I. Koronkevich, G.M. Tchernogaeva

ANNIVERSARY OF THE HYDROLOGICAL COMMISSION OF THE MOSCOW CENTER OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

The basic stages of activity of the hydrological commission of the Moscow centre RGS, since its organisation in December, 1948 are considered.

Н.И. Коронкевич

ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ГЕОГРАФИИ РАН[1]

Дан обзор географо-гидрологических исследований в Институте географии РАН (ранее ИГАН СССР), выполненных различными его подразделениями, в основном лабораторией (отделом) гидрологии, за 90-летний период существования Института. Выделена роль М.И. Львовича, руководившего отделом гидрологии с 1962 по 1988 г.

Идея организации гидрологических исследований в Институте географии зрела с первых лет его существования. В 1936 г. М.А. Великановым была создана лаборатория русловых процессов, которой он руководил до 1952 г. Еще ранее, в 1934 г., планировалось создать отдел гидрогеографии, но реализован этот проект был лишь в 1946–1950 гг. Тем не менее и до его организации в составе других подразделений выполнялись различные гидрологические исследования, в основном гидрографического характера. В 1930–1940 гг. их проводили Д.И. Абрамович и В.Е. Иогансон, в дальнейшем В.А. Арефьева, Н.Т. Кузнецов и ряд других сотрудников ИГАН СССР.

В числе основных публикаций первого периода гидрологических исследований в области гидрографии можно назвать работы: Д.И. Абрамович «Река Пахра как пример малых рек Московской области» (1946), «Очерки по гидрографии рек СССР» (отв. ред. М.И. Львович) (1953), Н.Т. Кузнецов «Гидрография рек Монгольской Народной Республики» (1959), А.О. Кеммерих «Гидрография Северного, Приполярного и Полярного Урала» (1961). Гидрографическое направление имело продолжение и в дальнейшем. В числе соответствующих работ книги: Н.Т. Кузнецов «Воды Центральной Азии» (1968), М.И. Львович «Реки СССР» (1971). При этом ряд исследований, например, Н.Т. Кузнецова, были, по существу, пионерными в отношении рек рассматриваемого региона. К таковым можно отнести и работу В.Н. Кунина «Местные воды пустыни и вопросы их использования» (1959), в которой дана оценка водных ресурсов пустынь Средней Азии.

Гидрологические знания были востребованы во время Великой Отечественной войны, когда гидрологи, как и многие другие спе-

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 09-05-00665.

циалисты Института, работали по заданиям Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии.

В 1950–1957 гг. гидрологические исследования осуществлялись в основном в рамках отдела климатологии и гидрологии. В 1958 г. отдел гидрологии стал самостоятельным подразделением, а его первым заведующим в 1958–1962 гг. – М.Ф. Срибный.

Важным событием стал приход в 1954 г. в Институт географии М.И. Львовича и организация под его руководством водно-балансовых исследований, которые были начаты им еще в Государственном гидрологическом институте (ГГИ). Особенно активное развитие они получили с 1962 г., когда М.И. Львович возглавил отдел гидрологии и стал формировать свою географо-гидрологическую школу. Основными направлениями исследований стали: изучение водного баланса и вещественного состава вод СССР и мира; изучение влияния деятельности человека на водный баланс и качество вод. Нередко эти два направления тесно переплетались. Отличительными чертами этой географо-гидрологической школы были: повышенное внимание к методологии исследований (недаром любимым изречением М.И. Львовича были слова Герцена: «Метод есть эмбриология истины»), значительное место в которых отводится эксперименту; к генезису гидрологических процессов, их балансовой оценке; использование косвенных показателей гидрологических явлений и процессов, позволяющих заполнить «белые пятна» непосредственной гидрологической информации; широкий диапазон интересов – от изучения природных закономерностей формирования стока и водного баланса до выявления гидрологической роли различных видов хозяйственной деятельности, от гидрологической характеристики отдельных сельскохозяйственных угодий до крупных регионов и мира в целом, от водного баланса территории в далеком прошлом до его прогноза в будущем; конструктивизм исследований, завершающихся конкретными рекомендациями по рациональному использованию и охране водных ресурсов. В числе наиболее активных участников этих исследований были: А.М. Грин, Н.Н. Дрейер, Е.И. Куприянова, Е.П. Чернышев, Н.И. Коронкевич, Ю.Н. Куликов, А.С. Гумберт, несколько позднее И.Д. Цигельная, Г.М. Черногаева, Г.М. Николаева, Г.Я. Карасик, Т.А. Савельева, А.В. Беляев, Ю.В. Кук, А.Г. Георгиади, Г.П. Медведева. Некоторое время в отделе гидрологии работали известные гидрологи С.Л. Вендров и П.Ф. Идзон.

Результатом многолетних исследований стали карты элементов водного баланса мира и СССР и балансовая оценка их водных ресурсов. Все расчеты были проведены на основе предложенной М.И. Львовичем шестикомпонентной системы уравнений водного баланса, включающей, помимо традиционных осадков, стока и испарения, еще поверхностную и подземную составляющие речного стока, валовое увлажнение территории. Для всей суши земного шара и для СССР были выполнены расчеты произошедших и ожидаемых изменений водного баланса и стока под влиянием различных видов хозяйственной деятельности. Впервые в мировой практике были выполнены столь масштабные оценки гидрологических изменений под влиянием мероприятий обычного (неорошаемого) земледелия. Одним из важных достижений стала разработка профилактической концепции борьбы с загрязнением водных ресурсов.

Особенно хотелось бы подчеркнуть, что многие теоретические положения подкреплялись результатами экспериментальных исследований, которые были начаты под научным руководством М.И. Львовича в середине 1950-х гг. в Заволжье, затем в конце 1950-х гг. в Подмосковье, под г. Загорском (ныне Сергиев Посад), в ряде других районов Европейской части страны, а наибольшее развитие получили на Курском стационаре, где они проводились в течение нескольких десятилетий. Непосредственное руководство полевыми работами на Курском стационаре осуществляли А.М. Грин и Е.П. Чернышев.

Экспериментальные работы осуществлялись круглогодично. Зимой и весной – снегосъемка, измерения стока на стоковых площадках и в логах, летом – определение структуры испарения в целинной степи и на сельскохозяйственных полях. Особенно трудозатратными были измерения стока, которые в период весеннего снеготаяния проводились круглосуточно. Как правило, большая часть отдела гидрологии к его началу выезжала на стационар, на водно-балансовые объекты. Затем результаты всех наблюдений обрабатывались. Ежегодно составлялись объемные научные отчеты. В процессе экспериментов выявлялась гидрологическая роль различных факторов формирования стока и других элементов водного баланса в начальной стадии их формирования – на водосборах. Особое внимание уделялось гидрологической роли антропогенных факторов. Вначале это были различные агротехнические приемы, а затем соответствующие исследования проводились в г. Курске – с целью выявления гидрологической роли урбанизированных территорий.

Наблюдения на рядом расположенных водно-балансовых объектах на сельскохозяйственных полях и участках целинной степи позволили реконструировать водный баланс Центральной лесостепи за несколько столетий.

Результаты исследований отдела гидрологии за 1958–1985 гг. были отражены в целом ряде изданий, в т.ч. в нескольких книгах М.И. Львовича (1963, 1974, 1986), А.М. Грина (1965), Н.И. Коронкевича (1973), коллективной монографии «Водный баланс СССР и его преобразование» (1969), в книгах по водному балансу отдельных материков (Н.Н. Дрейер, Г.Я. Карасик, Г.М. Николаева, Г.М. Черногаева). Особенно следует выделить в этом списке две работы М.И. Львовича – «Человек и воды» (1963) и «Мировые водные ресурсы и их будущее» (1974). В первой из них излагаются теоретические и методические подходы к оценке влияния различных видов хозяйственной деятельности на природные воды. Повышенное внимание при этом уделено преобразующей гидрологической роли сельского хозяйства. Значительное место уделено и водорегулирующей роли леса. Во второй книге приводятся результаты многолетних исследований автора по балансовой оценке мировых водных ресурсов Земли и их произошедших и ожидаемых изменений под влиянием деятельности человека. Книга носит ярко выраженный конструктивный характер. В ней, в частности, выдвинута и обоснована расчетами концепция борьбы с качественным истощением водных ресурсов, суть которой заключается в осуществлении комплексных мер по недопущению попадания в реки и водоемы даже очищенных сточных вод, поскольку они требуют многократного разбавления чистой водой.

Активное участие отдел гидрологии принял в исследовании в конце 1970-х – начале 1980-х гг. проблемы территориального перераспределения водных ресурсов. При этом М.И. Львович осуществлял общее научное руководство этими работами в Институте, а часть сотрудников отдела вошла в состав Комплексной экспедиции по проблемам переброски стока, затем преобразованную в лабораторию региональных географических прогнозов, которые возглавлял Н.И. Коронкевич. Был выполнен ряд работ по оценке воздействия на окружающую среду намечавшихся проектов переброски части стока северных европейских и сибирских рек на юг, по разработке мероприятий по снижению негативных последствий. Результаты исследований опубликованы в целом ряде статей и сборнике «Влияние переброски

стока на природные условия» (1982). Но параллельно продолжались и собственно гидрологические исследования.

В основном в 1980-е гг. под руководством М.И. Львовича была выполнена и масштабная работа «Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара» (Львович и др., 1991).

В 1990 г. опубликована работа Н.И. Коронкевича «Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения», в которой выдвинута концепция полиструктуры водного баланса, рассмотрены необходимость и возможности дальнейшей дифференциации водного баланса территории, а также оценена роль антропогенных факторов в изменении структуры водного баланса Русской равнины.

Период с середины 1950-х и до начала 1990-х гг., значительную часть которого отделом гидрологии в Институте руководил М.И. Львович[2], можно считать самым продуктивным в истории гидрологических исследований в Институте, тем более, что и в других его подразделениях был выполнен целый ряд очень интересных работ по гидрологии и связанным с ней направлениям. А.Н. Будаговский, будучи сотрудником сначала отдела климатологии и гидрологии, а затем климатологии, опубликовал книгу «Впитывание воды в почву» (Будаговский, 1955), а затем – «Испарение почвенной влаги» (Будаговский, 1964). Одним из первых в нашей стране с начала 1960-х гг. стал изучать изменения режима озер под влиянием деятельности человека Л.Л. Россолимо, руководивший в Институте группой лимнологии. Результаты многолетних исследований в этом направлении обобщены в монографии «Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора» (Россолимо, 1977), книгах Г.С. Шилькрот (1979), Т.Н. Покровской и др. (1983).

Значительное внимание географо-гидрологическим проблемам уделялось в отделе преобразования природы (инженерно-географических проблем). С.Л. Вендровым опубликована книга «Проблемы преобразования речных систем» (Вендров, 1979). Под редакцией С.Ю. Геллера вышел сборник «Проблема Аральского моря» (1969). И в дальнейшем проблема Аральского моря и Приаралья занимала одно из центральных мест в тематике этого отдела (работы Н.Т. Кузнецова, И.А. Клюкановой, Е.Н. Минаевой и др.).

---

[2] В 1986–1991 гг. произошло воссоединение отделов гидрологии и климатологии под руководством А.Н. Кренке, а с 1992 г. они вновь разделились и лабораторией гидрологии стал руководить Н.И. Коронкевич.

Гидрологическая тематика разрабатывалась в работах отдела гляциологии (А.О. Кеммерих, В.М. Котляков, А.Н. Кренке, В.Г. Ходаков), отдела физической географии и природопользования (Л.С. Абрамов, Н.Ф. Глазовский, К.Н. Дьяконов, А.Ф. Мандыч А.Ф. Ретеюм). Л.С. Абрамовым была составлена оригинальная схема круговорота воды в природе. В 1990 г. Н.Ф. Глазовский опубликовал обобщающую книгу по проблемам Арала «Аральский кризис: причины возникновения и пути выхода». Гидрологическая тематика, хотя и в несколько завуалированном виде, например, в отделах географии почв и геоморфологии, присутствовала и в работе других подразделений Института.

Распад СССР и связанный с ним социально-экономический кризис сказались и на гидрологических исследованиях в Институте географии. Тем не менее удалось сохранить костяк кадрового состава гидрологов. С начала 1990-х гг. кадровую основу лаборатории гидрологии составили Е.П. Чернышев, И.Д. Цигельная, Г.П. Медведева, С.В. Долгов, А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова, Н.Б. Иванова и др.; в лабораторию был переведен ряд сотрудников из упраздненной лаборатории региональных географических прогнозов (Л.К. Малик, И.С. Зайцева, З.А. Крылова, Е.А. Барабанова и др.). Влились в ее ряды С.В. Зонн, А.Л. Чепалыга, С.И. Шапоренко, С.В. Ясинский, а позже — В.Н. Федоров, Д.Я. Фащук, Н.Е. Рязанова. С относительно небольшими изменениями этот кадровый состав сохранялся до последнего времени.

Направленность исследований отдела гидрологии во многом осталась прежней. Дальнейшее развитие получило географическое направление в гидрологии, что нашло, в частности, отражение в сборнике, подготовленном совместно с Русским географическим обществом «Географические направления в гидрологии» (1995). В статье В.М. Котлякова с соавторами в этом сборнике излагается суть географо-гидрологических исследований[3]. Продолжались исследования водного баланса и водных ресурсов, их изменения под влиянием хозяйственной деятельности (в основном применительно к территории бывшего СССР, особенно России). Традиционна ландшафтная направленность географо-гидрологических исследований (С.В. Долгов, С.В. Ясинский, В.Н. Федоров). В.Н. Федоровым, до 2002 г. работавшим в Институте географии СО РАН, разработан оригинальный ландшафтно-гидрологический метод, особенности которого и приме-

[3] Подробно об этом см. в статье «Юбилей Гидрологической комиссии…» в настоящем сборнике.

ры его реализации для территорий Сибири и Русской равнины приведены в его книге «Ландшафтная индикация формирования речного стока» (Федоров, 2007). В работах С.В. Долгова и Н.И. Коронкевича дальнейшее развитие получила концепция полиструктуры водного баланса с особым вниманием к высотно-пространственной и временной структурам, а также к водному балансу зоны аэрации. С.В. Ясинским разработаны научные основы управления гидрологическим режимом территории на водосборах малых рек.

В последние годы значительное внимание уделяется гидрологическим последствиям распада СССР и реформирования хозяйства на постсоветском пространстве. Было показано, что произошедшие резкие изменения в антропогенной нагрузке на водные ресурсы наложились на неординарную климатическую обстановку. В этих условиях выявлена не совсем адекватная реакция водных ресурсов на изменение антропогенной нагрузки. В частности, это выразилось в том, что при резком уменьшении общей антропогенной нагрузки на водные ресурсы в 1990-е гг. качественное состояние вод рек и водоемов изменилось мало и остается неудовлетворительным. Проанализированы причины этого и намечены пути гидрологического обеспечения экологически безопасного развития общества. Гидрологические последствия реформирования на постсоветском пространстве впервые были обобщены в монографии «Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия» (2003). В ее создании участвовали также сотрудники из других подразделений Института и научных организаций России.

В числе новых направлений — исследование экстремальных гидрологических ситуаций (ЭГС). Разработана классификация и критерии выделения ЭГС природного и техногенного происхождения, выявлены закономерности их распределения по территории России, составлены карты ЭГС. Выявлены особенности влияния различных видов хозяйственной деятельности (агротехнических мероприятий, орошаемого земледелия, водохранилищ) в годы различной водности. С участием других организаций страны подготовлена и сдана в печать коллективная монография «Экстремальные гидрологические ситуации» (отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева).

Особое внимание уделено ЭГС, вызываемым разрушением гидроузлов. Разработан метод географо-гидрологической аналогии, позволя-

ющий оценить эти ЭГС и сопутствующие им последствия, он проиллюстрирован на примерах гипотетического разрушения гидроузлов. Проведена сравнительная оценка влияния крупных водохранилищ России и мира на природу и хозяйство, отчасти оценена их безопасность (этим в основном занимались Л.К. Малик, Е.А. Барабанова). Л.К. Малик опубликована монография «Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности» (2005).

В лаборатории ведутся работы по моделированию речного стока и влияния на него возможных изменений климата (А.Г. Георгиади, Е.А. Кашутина, И.П. Милюкова, С.В. Ясинский). Выполнены расчеты для бассейнов Волги и Дона, районов многолетней мерзлоты. Выявлены пространственно-временные закономерности формирования поверхностного стока в бассейне Волги, в т.ч. в годы различной водности. Установлена гидрологическая роль ландшафтных неоднородностей в условиях вечномерзлых грунтов Восточной Сибири, где эта работа выполнялась совместно с другими организациями в рамках международной программы GAME и российско-японской программы GAME/Siberia, а ее результаты обобщены в коллективной монографии «Тепловодообмен мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири и его факторы» (2007) (один из отв. ред. А.Г. Георгиади).

Наработки в области гидрологических последствий изменения климата наряду с прогнозом антропогенных воздействий на водные ресурсы дали возможность разработать сценарные прогнозы состояния водных ресурсов рек Лены, Волги и Дона на первую треть XXI столетия (Е.А. Барабанова, А.Г. Георгиади, И.С. Зайцева, Н.И. Коронкевич, И.П. Милюкова).

Значительное место в исследованиях лаборатории в последние годы заняла разработка методических подходов к оценке состояния крупных водоемов и морей и конкретные расчеты (Д.Я. Фащук, А.Л. Чепалыга, С.И. Шапоренко, Н.Е. Рязанова). Соответствующие оценки выполнены для озер Ладожского и Селигер, Черного и Азовского морей. Совместно с другими организациями опубликована монография «Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях» (2004) (один из отв. ред. С.И. Шапоренко). Составлены палеореконструкции южных морей России и дано обоснование одной из версий Всемирного потопа (А.Л. Чепалыга).

Д.Я. Фащуком обосновывается новое, в основном гидрологическое, направление в исследовании морей[4].

С начала 1990-х годов одной из главных проблем стало финансовое обеспечение исследований. В значительной мере были свернуты экспедиционные и полевые экспериментальные исследования. Резко обострилась проблема пополнения молодыми кадрами. Вместе с тем удалось продолжить полноценные исследования, используя гранты РФФИ и участие в Федеральных целевых программах.

В настоящее время основные исследования отдела проводятся в следующих направлениях: разработка теоретико-методических основ современных географо-гидрологических исследований; зонально-ландшафтные гидрологические исследования; полиструктура водного баланса территории и ее современные изменения; роль водосборов и хозяйственной деятельности на них в формировании количества и качества водных ресурсов; моделирование зонально-ландшафтной структуры эволюционных и сезонных изменений гидрологических полей в прошлом, настоящем и будущем; принципы и критерии выделения гидроэкологических проблем и гидроэкологического картографирования; особенности современного изменения водных ресурсов России и роль в нем природных и антропогенных факторов; экстремальные гидрологические ситуации и их проявление на территории России; гидрологические проблемы морских водоемов; палеогидрологические реконструкции; вариантные сценарии будущего состояния водных ресурсов крупных речных бассейнов страны; гидроэкологические проблемы и обоснование экологически безопасного развития водного хозяйства.

Из работ, выполненных в других подразделениях Института, следует в первую очередь выделить «Атлас снежно-ледовых ресурсов мира» (1997) под ред. В.М. Котлякова, в котором большое место уделено ледниковому стоку. В лаборатории береговых географических систем подготовлена под ред. А.Ф. Мандыча коллективная монография (Enclosed seas.., 1995), в которой анализировались проблемы природно-антропогенных взаимодействий в бассейнах и на побережьях внутренних морей и крупных озер бывшего СССР.

Ретроспективный анализ истории географо-гидрологических исследований в Институте свидетельствует о том, что они были в целом весьма продуктивны и что есть все основания для их дальнейшего развития.

---

[4] См. статью Д.Я. Фащука в настоящем сборнике.

Литература

1. *Абрамович Д.И.* Река Пахра как пример малых рек Московской области. М., Л.: Изд-во АН СССР. 1946. 52 с.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука. 2003. 367 с.
3. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Российская академия наук. Москва 1997 / Глав. ред. В.М. Котляков. В 2-х томах, 662 карты.
4. *Будаговский А.И.* Впитывание воды в почву. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 200 с.
5. *Будаговский А.И.* Испарение почвенной влаги. М.: Наука, 1964. 244 с.
6. *Вендров С.Л.* Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1979.
7. Влияние переброски стока на природные условия / Под ред. Н.И. Коронкевича, Л.К. Малик . М., ИГ АН СССР, 1982, 196 с.
8. Водный баланс СССР и его преобразование. М.: Наука, 1969. 338 с.
9. Географические направления в гидрологии. М.: Московский центр РГО, 1995. 224 с.
10. *Глазовский Н.Ф.* Аральский кризис. Причины возникновения и пути выхода. М.: Наука, 1990. 136 с.
11. *Грин А.М.* Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. М., 1965. 148 с.
12. *Кеммерих А.О.* Гидрография Северного, Приполярного и Полярного Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 138 с.
13. *Коронкевич Н.И.* Преобразование водного баланса. М.: Наука, 1973. 120 с.
14. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
15. *Кузнецов Н.Т.* Гидрография рек Монгольской Народной Республики. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 154 с.
16. *Кузнецов Н.Т.* Воды Центральной Азии. М.: Наука, 1968. 272 с.
17. *Кунин В.Н.* Местные воды пустыни и вопросы их использования. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 283 с.
18. *Львович М.И.* Человек и воды. М.: Географгиз, 1963. 568 с.
19. *Львович М.И.* Реки СССР. М.: Мысль, 1971. 350 с.
20. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 447 с.
21. *Львович М.И.* Вода и жизнь: (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). М.: Мысль, 1986. 254 с.
22. *Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.Л., Медведева Г.П., Мелешко А.В.* Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара. М.: МГК РАН, 1991. 336 с.

23. *Малик Л.К.* Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
24. Очерки по гидрографии рек СССР. М., 1953. 324 с.
25. *Покровская Т.Н., Миронова Н.Я., Шилькрот Г.С.* Макрофитные озера и их евтрофирование. М.: Наука, 1983. 153 с.
26. Проблема Аральского моря / Отв. ред. С.Ю. Геллер. М., 1969. 175с.
27. *Россолимо Л.Л.* Изменение лимнологических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977. 144 с.
28. Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях / Отв. ред. В.П. Беляков. С.И. Шапоренко. СПб.: Наука, 2004. 254 с.
29. Тепловодообмен мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири и его факторы. Москва – Тверь, ООО «Триада», 2007. 576 с.
30. *Федоров В.Н.* Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск – М.: Изд-во Ин-та геогр. им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. 175 с.
31. *Шилькрот Г.С.* Типологические изменения режима озер в условиях культурных ландшафтов. М.: Наука, 1979. 168 с.
32. Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М., 2010 (в печати).
33. Enclosed seas and large lakes of Eastern Europe and Middle Asia (SPB Academic Publishing bv/Amsterdam/, the Netherlands) 1995.

N.I. Koronkevich

GEOGRAPHER-HYDROLOGICAL STUDIES IN THE INSTITUTE OF GEOGRAPHY RAN

The review of geografo-hydrological researches at the Institute of geography Russian Academy of Sciences, executed by its various divisions, basically by the laboratory (department) of hydrology, during its 90 year history is given. The role of M.I. Lvovich, supervising the department of hydrology from 1962 till 1988, is allocated.

А.Н. Антипов, Л.М. Корытный

СИБИРСКАЯ ШКОЛА ЛАНДШАФТНОЙ ГИДРОЛОГИИ

Рассмотрена история организации и развития сибирской школы ландшафтной гидрологии в Институте географии СО РАН в Иркутске. Определены ее главные теоретические положения, связанные с ландшафтно-гидрологическим анализом условий формирования водных ресурсов и оценки их состояния, а также с бассейновой концепцией. Основа школы – экспериментальное изучение гидрологического цикла в различных элементах бассейновых систем, а также индикационные исследования. Раскрыты особенности прикладных работ, включая бассейновый менеджмент, водоохранное зонирование и ландшафтно-гидрологический мониторинг.

Введение

Развитие географо-гидрологических направлений всегда актуально. Энергетические, продовольственные, межнациональные, экологические проблемы имеют существенную водно-ресурсную составляющую; их резкое обострение в последние десятилетия заставляет рассматривать их системно, в широкой взаимосвязи со всеми природными и социально-экономическими факторами, на региональной основе, что, как известно, изначально присуще географии. К тому же антропогенно обусловленное изменение водного режима и качества вод сделало неоднородными гидрологические и гидрохимические ряды и требует расширения использования географических методов аналогии, районирования, картографирования, использования косвенных и индикационных характеристик. Большие возможности здесь открывает применение дистанционных методов и ГИС-технологий.

Необходимость учета географической информации, параметров и функций конкретных ландшафтов, локальных и региональных взаимосвязей особенно ощущается в восточных районах страны в связи со сложностью задач хозяйственного освоения в очень разнообразных природных условиях при недостаточной плотности гидрометеорологической сети. Поэтому здесь, прежде всего в Институте географии (Иркутск), в 1970-х – 1980-х гг. начала формироваться сибирская школа ландшафтной гидрологии. Центром ее стала лаборатория гидрологии Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР (ныне Институт географии им. В.Б. Соча-

вы СО РАН) в г. Иркутске под руководством Г.В. Бачурина, выпускника кафедры гидрологии ЛГУ.

Кафедра гидрологии суши ЛГУ – один из лидеров отечественного географического направления в науках о воде. Географо-гидрологический метод В.Г. Глушкова фактически стал обоснованием направления и до сих пор «в строю». Л.К. Давыдов – один их классиков отечественной гидрологии, глубоко понимающий важность роли географических факторов. После него кафедрой руководил К.Е. Иванов – создатель гидрологии болот – географической методологии, основанной на рассмотрении морфологии болотного природного комплекса. Н.В. Разумихин «перекинул мостик» географического подхода к водохозяйственным расчетам.

Лидерами сибирской школы стали выпускники кафедры гидрологии ЛГУ А.Н. Антипов и Л.М. Корытный. В разработке теоретического подхода они опирались на идеи гидрологов А.И. Субботина, И.С. Соседова, И.Н. Гарцмана, Ю.Б. Виноградова и др., а также физико-географов, в первую очередь академика В.Б. Сочавы, сформулированные им в монографии «Введение в учение о геосистемах» (Сочава, 1978). Итоги первой школы и перспективы исследований были представлены в книге А.Н. Антипова, Л.М. Корытного «Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины)», опубликованной в 1987 г. (Антипов, Корытный, 1987).

Исследования, начиная с тех лет и до настоящего времени, проводятся в нескольких направлениях.

Теоретические исследования

Ландшафтно-гидрологический анализ условий формирования водных ресурсов и оценки их состояния. Анализ определяет основные закономерности связей между природными структурами (факторами) и гидрологическими процессами и явлениями и дает их пространственное описание (Ландшатно-гидрологические.., 1989; Гидрологическая роль.., 1989; Ландшафтно-гидрологический.., 1992; Антипов, Федоров, 2000). Разработано представление о ландшафтно-гидрологических системах (ЛГС), которые могут быть трансформированы в более частные варианты пространственной организации – стокоформирующие комплексы, под которыми понимается часть земной поверхности, где взаимодействия гидрологических процес-

сов и природных структур обладают локализовано специфическими закономерностями. Для субпланетарных систем сток определен прежде всего климатическими факторами, для топологических – сток во многом зависит от степени дренированности территории, от водно-физических характеристик почвогрунтов и т.д. Таким образом, обоснована определенная иерархия ЛГС: от уровня элементарного ЛГ-участка до ЛГ-субконтинентов.

Представление о гидрологических функциях положено в основу гидрологического зонирования речных бассейнов и пойменно-долинных систем. В границах бассейнов выделяются структуры, для которых возможен прогноз изменений стока в различные гидрологические фазы под влиянием естественных природных факторов либо антропогенных воздействий. Обоснованы критерии, определяющие значение и чувствительность ресурсов местного внутриландшафтного стока, которые, в свою очередь, определяются стокоформирующими и стокорегулирующими функциями ландшафтно-гидрологических комплексов.

В этом же контексте рассмотрены и проблемы ландшафтно-гидрологического районирования. Процедура такого районирования – это количественные оценки стокоформирования в отдельных природных ареалах, выделение и типизации ЛГС, их пространственная увязка с природной организацией и в итоге – территориальная дифференциация по особенностям гидрологической организации анализируемого участка.

Не менее существенно получение представлений о связи гидрологического и гидрохимического режимов как на уровне водотоков, так и для вод, формирующихся в границах ландшафтов. Причем такие модели формирования составлены не только для макро-, но и для микрокомпонентов.

Бассейновая концепция. Основной таксономической и расчетной единицей определен бассейн как геосистема (Корытный, 2001). Он обладает мощным интегрирующим фактором - водным потоком, направленным по падению склонов и тальвегам, и четкими границами – водоразделами. В нем выделяются два главных функциональных уровня: склоны и гидрографическая сеть. К функциям бассейна относятся: трансформация осадков, дренаж, транзит, формирование химсостава и др. Бассейны, как целостные образования, иерархически построенные, в которых замыкаются многие виды кругооборота вещества, обособившиеся в четких орографических границах, пер-

спективны в качестве территориальных ячеек не только в гидрологии, но и в исследованиях техногенеза, природно-хозяйственном районировании и в других разделах географии и экологии.

Речной бассейн представлен в виде многопараметрической системы, элементами которой являются площади горных пород с различными фильтрационными свойствами и тектоническими особенностями, а также ландшафтные выделы (Федоров, 1992, 2007б). Взаимодействие элементов определяет пространственно-временные вариации составляющих водного баланса и химического состава природных вод местного генезиса. Построение моделей стокоформирования основано на представлении бассейна мозаикой однородных ландшафтно-гидрологических комплексов, дренируемых речной сетью, т.е. имеется в виду однородность процессов питания, движения, аккумуляции и расходования влаги.

Моделирование. Разработана модель, описывающая трансформацию осадков, выпадающих в бассейне реки, в ее сток в замыкающем створе. При оценке параметров модели использован принцип компромиссного учета информации разного типа и степени достоверности. Модель применена для анализа закономерностей формирования стока с ландшафтов Восточной Сибири (Федоров 2007б).

Разработаны методы, предназначенные для получения оптимальных статистических оценок географических характеристик на основе использования нерегулярных, недостаточно достоверных или приближенных данных. Эти методы применены к задачам оценивания значений параметров, интерполяции функции многих аргументов, поиску эмпирических закономерностей, скрытых в матрицах совместных наблюдений за элементами природной среды, прогнозированию временных рядов, при разработке различных моделей (формирования сезонной динамики стока рек, уровня водохранилищ, качества воды в р. Ангаре) (Игнатов, 2000).

Геоэкологический анализ пространственно-временной организации тепла и влаги. На основе рассмотрения гидролого-климатического процесса как бинарного геоэкологического явления обоснованы гидролого-климатические системы, которые формируются при взаимодействии тепла и влаги почвогрунтов, наземных комплексов и атмосферы (Напрасников, 2003). Определены критерии устойчивости, напряженности и чувствительности этого процесса, а также гео-

экологическая мера мелиоративного преобразования геосистем. Разработан подход к преобразованию точечных значений тепла и влаги в линейные последовательности, а последних – в информационные поля. Выполнено гидроклиматическое обоснование геоэкологического ядра Евразии – Забайкальской природной территории.

Опасные гидрологические процессы. Обоснована классификация опасных гидрологических процессов (Корытный, 2006). На территории России распространены 15 основных видов природных гидрологических опасностей. По генезису предлагается выделять три класса гидрологических опасностей: гидроклиматические, гидрогеологические, гидрогляциологические. Для территории Сибири на основе справочных кадастровых и картографических материалов, литературных источников и авторских исследований выполнены экспертная оценка и ранжирование гидрологических опасностей. Опасность в каждом бассейне оценивалась в пятибалльной шкале по следующим позициям: распространенность, повторяемость, предсказуемость, величина ущерба (отдельно для населения, объектов хозяйства и ландшафта), возможность предотвращения (защиты). В большинстве районов (макробассейнов) – в 11 из 17 – преобладает гидрогляциологическая опасность.

Выполнено районирование факторов максимального стока рек юга Восточной Сибири на основе типологической классификации, по которой в один класс объединены в виде кластер-диаграммы бассейны с относительно однородными и сходными между собой условиями формирования максимального стока (Корытный, Кичигина, 2003). Проведена инвентаризация бассейнов р. Ангары и верхней Лены по генезису опасности наводнений. Выполнен анализ экстремумов стока разного генезиса (половодного и паводочного) по количеству и соотношению максимумов половодного и паводочного происхождения в ряду годовых максимальных расходов, по местоположению в ранжированном ряду годовых максимальных расходов максимумов половодного и паводочного происхождения, по величинам абсолютных значений максимальных расходов половодного и паводочного происхождения (максимумов из максимумов), при которых и происходит формирование наводнений на реках. Проанализированы все заторные и зажорные участки на рассматриваемой территории. Интегральная опасность наводнений определяется с учетом генезиса, повторяемо-

сти, их величины (силы воздействия) и ущерба, возможности и целесообразности прогнозирования (Географические закономерности.., 2003).

Экспериментальные и индикационные исследования

Экспериментальные работы в малых речных бассейнах. Верификация модельных расчетов опирается на экспериментальное изучение гидрологического цикла в различных элементах бассейновых систем. Только натурные исследования гидрологических процессов на объектах локального уровня пространственной размерности позволяют выяснить генетические и структурные особенности этих процессов. При этом основной задачей является описание структуры гидрологических режимов в иерархии «ключевые участки (выделы) – биогеоценоз – элементарный склон – малый бассейн». На ключевых участках проводятся многолетние водно-балансовые наблюдения, в основном традиционными для гидрологии методами; их особенностями являются всеохватность, т.е. прямое измерение всех водно-балансовых элементов, расстановка приборов с минимальным нарушением естественных процессов, постоянный контроль точности и статистической достоверности результатов. Межуровневые переходы осуществляются на базе маршрутных и полудистанционных исследований, экстраполяционных зависимостей, а также крупномасштабного картографирования. В итоге устанавливаются основные закономерности формирования, пространственного распределения и соотношения водно-балансовых элементов в различных ландшафтах Сибири.

Разработка методики геосистемно-гидрологического эксперимента проводилась на комплексных географических стационарах Института географии СО РАН. Наиболее детальные исследования проведены на Ленском стационаре, в таежных предгорьях Западного Саяна в 1971–1977 гг. (Антипов, Корытный, 1987). Кроме того, изучены гидрологические особенности степных ландшафтов Хакасии (1971–1974 гг.), южно-таежных ландшафтов Прииртышья (1967–1985 гг.), степных ландшафтов Назаровской котловины (1980–1983 гг.), горно-таежных и дельтовых ландшафтов Верхоленья, Прибайкалья и Забайкалья (1987–2007 гг.) Особо необходимо отметить уникальные режимные многолетние (1974–1985 гг.) наблюдения над комплексом ледовых образований в 16 высокогорных малых бассейнах Восточного Саяна (Кравченко, 1992), в результате

которых выявлены ландшафтообусловленные особенности взаимодействия поверхностных и подземных вод в горной криолитозоне.

Индикационные аспекты. Анализ экспериментальных материалов позволил разработать эффективные приемы индикации пространственной гидрологической организации по типу растительного и почвенного покрова, геологической либо ландшафтной структуре. Механизм многих взаимосвязей между природными и гидрологическими показателями, как известно, не может быть полностью раскрыт при современном уровне знаний, однако многие зависимости можно использовать как индикационные. При этом исходные характеристики рельефа, растительности, почв определяются более легко, в том числе по топографическим и тематическим картам методом построчного сканирования. Такой опыт имеется для ряда регионов Западно-Сибирской низменности и бассейнов Ангары и оз. Байкал; статистические связи между гидрологическими и ландшафтными характеристиками выражались в виде линейной многомерной регрессионной зависимости, а система уравнений решалась методом сингулярного разложения (Федоров, 2007а). Для оценки ландшафтно-гидрологических свойств территории весьма перспективным оказалось использование методов дендроиндикации; в частности, индикационнные признаки изменчивости древостоев позволили уточнить площади и границы гидрологических систем в Западной Сибири (Полюшкин, Антипов, 1992) и Предбайкалье (Балыбина, 2007).

Успешным оказалось применение методов гидрографический индикации, использование закономерностей строения речной сети. Поскольку в самом рисунке сети содержится значительная информация о геологических, геоморфологических, гидрологических аспектах зарождения и развития как системы водотоков, так и о территории их бассейнов, логично использовать эту информацию для индикации гидрологических, прежде всего стоковых, характеристик. Речная сеть представляется в виде графоориентированного дерева, на основе крупномасштабных топокарт; на графе рассчитываются параметры сети. Наилучшим образом совокупность свойств графа (соподчиненность, упорядоченность, иерархичность, разветвленность, разнообразие) учитывается для каждой точки слияния водотоков структурными (энтропийными) мерами по алгоритму «информационной функции» К. Шеннона. Установленные индикационные свойства структурных мер для речных систем юга Восточной Сибири в отношении различных характеристик стока, прежде всего средней

водоносности, открыли хорошие перспективы для гидрологических расчетов (Географические закономерности.., 2003; Корытный, 1986).

Гидрологическое картографирование. Создание карт – один из самых эффективных путей гидрологических исследований. В Институте географии СО РАН проведен поиск альтернативных традиционному изолинейному методов гидрологического картографирования. Разработан метод индикационной локации, основанный на взаимосвязях между гидрологическими явлениями и структурно-генетическими особенностями строения геосистем. Карты, построенные этим методом, представляют собой мозаику районов с относительно устойчивыми характеристиками; все карты сопряжены между собой. На локальном уровне, пользуясь этим методом, был подготовлен атлас малого речного бассейна, состоящий из трех серий: окружения (природного фона), элементарного склона и собственно бассейна (Антипов, Корытный, 1987). На региональном уровне В.Н. Федоровым (Атлас.., 2004) для Иркутской области подготовлена серия сопряженных карт (среднего стока, стока половодья, снегового, дождевого и подземного питания, химического состава вод, минимального летнего стока).

Другой подход для картографирования речного стока – в методе вдольруслового картографирования, когда водоносность реки показывается линейной картограммой (эпюрой) – масштабной полосой вдоль русла реки (рис. 1). Метод усовершенствован путем использования структурных характеристик речных систем, что рассматривалось выше; при этом насыщение топологического пространства графа речной сети информацией позволяет определять значение стока практически в любой точке слияния водотоков (Ильичева, Невзорова, 1998; Корытный, 2001). Этот же метод можно использовать для изображения других гидрологических характеристик, например, изменения по длине реки качества воды, водно-ресурсного потенциала и т.п.; он очень удобен для быстрого определения необходимого показателя в любом ареале, например, ландшафтном, экологическом или административном районе.

В последние годы создан авторский макет электронной «Карты снегоопасности юга Восточной Сибири и Дальнего Востока» в масштабе 1:2 500 000 (А.Т. Напрасников, В.Р. Алексеев, А.В. Кириченко). Для этого введено новое понятие – «снегоопасность», определенное как прогнозируемая вероятность развития неблагоприятных и катастрофических процессов воздействия снежных масс и талых снеговых вод на естественные и антропогенные геосистемы; предложен индекс интегральный оценки снегоопасности территории.

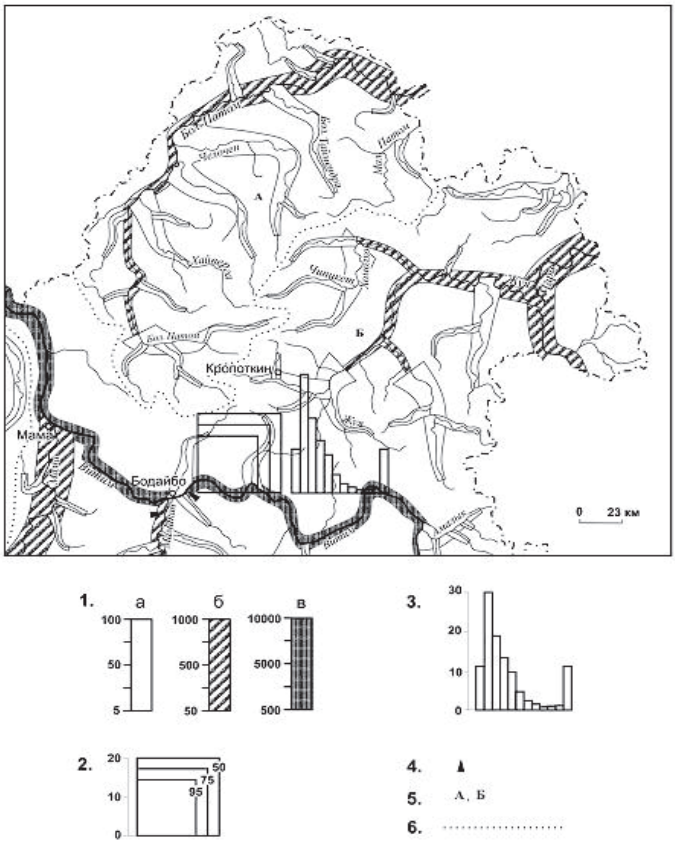


Рис. 1. Фрагмент карты водоносности Иркутской области:

1 – водность рек с расходом (куб.м/с): а – до 100, б – до 1000, в – до 10 000;
2 – годовой сток рек (л/с кв.км) различной обеспеченностью (%);
3 – внутригодовое распределение стока (%); 4 – гидростворы; 5 – бассейны:
А – средней Лены, Б – Витима; 6 – граница между этими бассейнами

Прикладные гидрологические работы

Бассейновый менеджмент. Его суть в планировании, координации и контроле над всеми видами деятельности в связи с использованием и охраной водных объектов. При этом он не ограничивается регламентацией воздействий на собственно водоем, а охватывает всю территорию водосборного бассейна. Таким образом, на первый план выходит профилактическая деятельность, а не «пожарная работа» по снятию острых водно-экологических ситуаций.

Ландшафтно-гидрологический подход к управлению формированием гидрологических процессов в речных бассейнах рассматривается как основной инструмент бассейнового менеджмента. Применительно к поставленной задаче он осуществляется в виде последовательных шагов и определяется основной его целью – сохранением природно-гидрологического потенциала, т.е. свойственных природным комплексам гидрологических функций (рис.2).

Разработка алгоритма этой процедуры основана на теоретических и методических приемах ландшафтного планирования (Ландшафтное планирование.., 2002). На первом этапе исследования проводится общий анализ гидрологической информации и даются общие представления о гидрологической организации территории. На основе общей для ЛГ-анализа математической модели выделяются гидрологические характеристики основных элементов комплексной ландшафтной дифференциации модельной территории. Полученные данные переводятся в критерии значимости и чувствительности, с помощью которых определяются целевые функции использования территории. Последним этапом является разработка программы действий на основе оценки реального состояния водных ресурсов и гидрологических процессов.

Методика разработана на примере зонирования бассейнов рек-притоков озера Байкал по типу использования.

Водоохранное зонирование. Разработаны основные принципы проектирования водоохранных зон (ВЗ) (Гагаринова и др., 2005):

– выделение ВЗ является элементом ландшафтно-гидрологического зонирования бассейна;

– основные элементы ВЗ – территории с высоким водно-экологическим потенциалом, непосредственно прилегающие к водному объекту;

– в пределах ВЗ должна обеспечиваться основная целевая функция – сохранение требуемого качества воды, поступающей в водный объект;

– набор ограничений на природопользование в ВЗ должен быть дифференцирован в пределах различных ЛГК, составляющих эту зону. На основе этих принципов подготовлен проект ВЗ оз. Байкал, ВЗ в г. Иркутске и Байкальске (рис. 3).

Ландшафтно-гидрологический мониторинг. На основе современных компьютерных технологий разработана информационная система, способная накапливать, упорядочивать и эффективно использовать

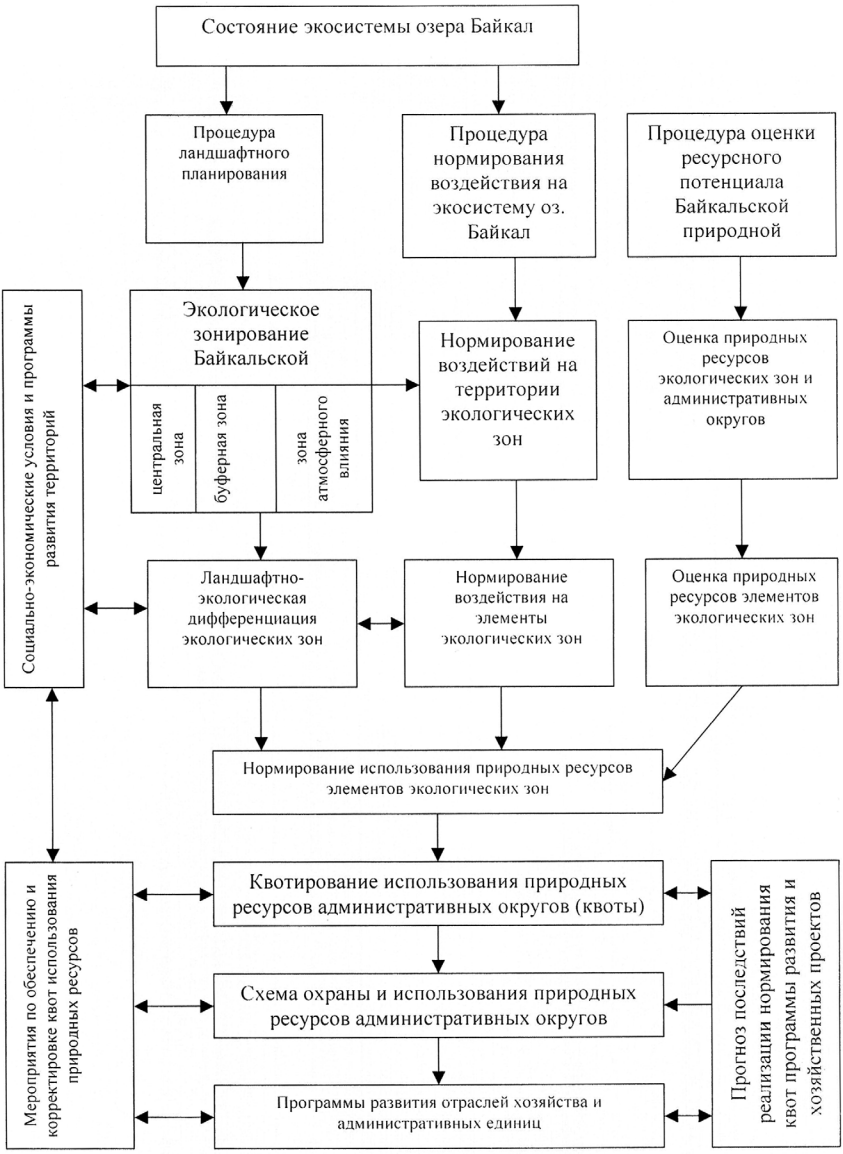


Рис. 2. Схема бассейнового менеджмента в бассейне оз. Байкал

для решения различных ландшафтно-гидрологических задач самые разнообразные данные об исследуемой территории. Такая задача решалась путем разработки специального программно-информационного

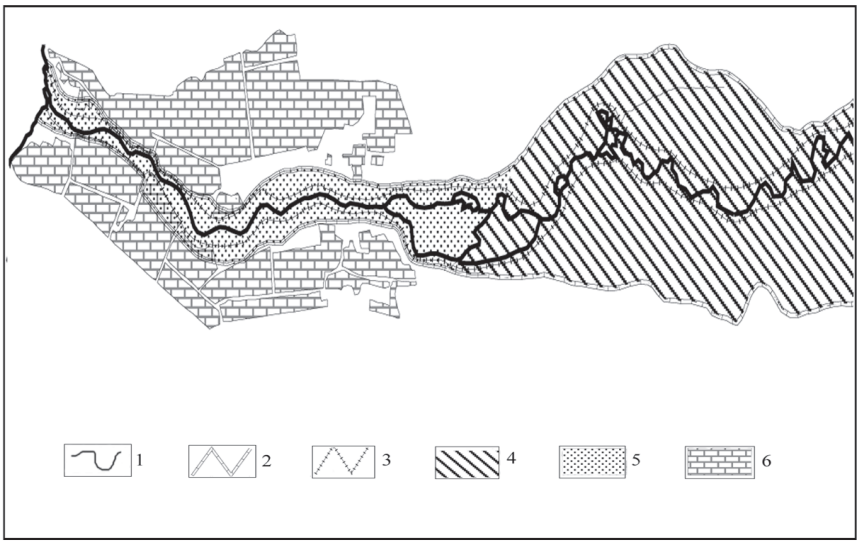


Рис. 3. Водоохранное зонирование бассейна р. Ушаковки (г. Иркутск):
1 – река Ушаковка. Границы: 2 – водоохранной зоны, 3 – прибрежной защитной полосы. Зоны: 4 – сохранения существующего состояния с элементами реконструкции, 5 – реконструкции, 6 – городской застройки

комплекса – системы ландшафтно-гидрологического мониторинга (Игнатов, 2006), формируемой на основе ранее созданной системы территориального мониторинга. Система состоит из четырех основных подсистем: информационной, имитационной, картографической и группы служебных программ. Информационная система обеспечивает доступ к любым материалам, содержащимся в базах данных, формирование и оформление выборок необходимых для информационного обеспечения тех или иных проблем. Картографическая система предназначена для пространственной привязки данных, содержащихся в информационных базах, и выдачи этих данных в виде таблиц, связанных с определенными географическими объектами, или тематических карт. Основные функции имитационной системы состоят в том, чтобы задать существующие или предполагаемые воздействия, подобрать прогностический алгоритм (модель), позволяющий оценить реакцию выбранных переменных на заданные воздействия и построить прогноз их вероятных последствий.

Можно констатировать, что теоретические принципы, разработанные сибирской ландшафтно-гидрологической школой, успешно применены в следующих практических областях:

- выполнены крупные региональные водно-балансовые обобщения (Западная Сибирь, Ангаро-Енисейский регион, юг Восточной Сибири, бассейн оз. Байкал) (Географические закономерности.., 2003; Корытный, Безруков, 1990; Ландшафтно-гидрологические.., 1989);

- проведена оценка гидрологических последствий крупных хозяйственных проектов (изъятие части стока для переброски в Казахстан и Среднюю Азию, создание Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса, строительство БАМа, строительство трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и др.);

- выполнены гидрологические части экологического сопровождения и экспертизы многочисленных проектов освоения угольных, нефтегазовых, рудных месторождений Восточной Сибири, а также проектов размещенческого, гидроэнергетического, водохозяйственного, рекреационного направлений;

- подготовлены водно-ресурсные и водно-экологические карты Красноярского края, Иркутской области, а также всей Азиатской России.

Помимо отмеченных выше научных и практических результатов, следует отметить усилия по координации исследований географов-гидрологов. Так, в 1984 г. была сформирована рабочая группа по проблемам ландшафтно-гидрологических исследований, в обязанности которой входила организация обмена информацией и совместных работ, сбор предложений по унификации терминологии и методов, проведение совещаний, публикация результатов. В работе группы, помимо сибиряков, активно участвовали А.И. Субботин, И.С. Соседов, Н.И. Коронкевич, Г.И. Швебс, В.М. Широков, С.Ф. Федоров и другие видные ученые. В Иркутске был проведен ряд конференций: 1984 г. – «Гидрология естественных и преобразованных ландшафтов»; 1988 г. – «Информационное обеспечение ландшафтно-гидрологических исследований»; 1992 г. – «Гидрологические функции ландшафта»; 1997 г. – «Гидрология и геоморфология речных систем»; 2004 г. – «Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменения климата»; 2005 г. – «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». Подготовлена серия сборников и монографий «Гидрология ландшафта», в составе которой уже издано 12 книг, представленных в списке литературы.

Важной особенностью всех рассмотренных выше исследований является то, что они проводились, как правило, совместно с представителями других наук географического цикла в ходе многолетних

комплексных работ на географических стационарах или при географическом обеспечении решения крупных экономических проблем. Это давало возможность получать нетрадиционные результаты на «стыках» родственных наук, усиливало теоретическую и практическую обоснованность новых методов и решений.

Таким образом, сибирская ландшафтно-гидрологическая школа уже получила реальные методические и практические результаты. Предстоит дальнейшее развитие теоретического базиса и достижение новых конкретных целей. Научный поиск будет продолжен.

Литература

1. *Антипов А.Н., Корытный Л.М.* Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1987. 177 с.
2. *Антипов А.Н., Федоров В.Н.* Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 255с.
3. Атлас «Иркутская область: Экологические условия развития». 2004.
4. *Балыбина А.С.* Реконструкция динамики климатических и гидрологических рядов в Предбайкалье по дендрохронологическим данным // Ландшафтная гидрология / Серия «Географические исследования Сибири». Т. 3. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. С. 172– 183.
5. *Гагаринова О.В., Данько Л.В., Ильичева Е.А., Новицкая Н.И.* Принципы и методы проектирования водоохраной зоны // География и природ. ресурсы. 2005. №3. С. 113–120.
6. Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2003. 208 с.
7. Гидрологическая роль лесных геосистем. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 167 с.
8. Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. 208 с.
9. *Игнатов А.В.* Модели и оптимизационные задачи в проблемах природопользования в Байкальском регионе. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 207 с.
10. *Игнатов А.В.* Информационно-вероятностное моделирование в географических исследованиях // География и природные ресурсы. 2006. №2. С. 27–33.
11. *Ильичева Е.А., Невзорова И.В.* Картографирование водоносности рек на основе структурно-гидрографического подхода // Гидрология

и геоморфология речных систем. Материалы научн. конф. Иркутск, 1998. С. 64–66.
12. *Корытный Л.М.* Информационная роль характеристик строения речных систем Сибири // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. С. 126–143.
13. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция природопользования. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2001. 163 с.
14. *Корытный Л.М.* Гидрологические опасности Сибири: классификация, распространенность, взаимообусловленность // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 2. Наводнения и другие опасные гидрологические явления: Оценка, прогноз и смягчение негативных последствий. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. С. 21–25.
15. *Корытный Л.М., Безруков Л.А.* Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 214 с.
16. *Корытный Л.М., Кичигина Н.В.* Типология и районирование факторов максимального стока рек юга Восточной Сибири на основе кластер-анализа // Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменений климата. Иркутск – Делфт: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2003. С. 160–178.
17. *Кравченко В.В.* Особенности взаимодействия поверхностных и подземных вод в малых бассейнах криолитозоны // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. С. 88–105.
18. Ландшафтно-гидрологические характеристики Западной Сибири. Иркутск, 1989. 222 с.
19. Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. 208 с.
20. Ландшафтное планирование: Принципы, методы, европейский и российский опыт. Бонн – Москва – Иркутск, 2002. 141 с.
21. *Напрасников А.Г.* Гидролого-климатические системы: Геоэкологический анализ. Иркутск: Изд-во Ин-та геогр. СО РАН, 2003. 143 с.
22. *Полюшкин Ю.В., Антипов А.Н.* Использование дендроиндикации при оценке ландшафтно-гидрологических свойств территории // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. С. 164–171.
23. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 319 с.
24. *Федоров В.Н.* Оценка гидрологических функций ландшафтов на основе индикационных многопараметрических моделей водосбора // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. С. 145–157.

25. *Федоров В.Н.* Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск–Москва: Изд-во Ин-та геогр. им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007а. 175 с.
26. *Федоров В.Н.* Региональные закономерности формирования стока с ландшафтов юга Восточной Сибири // Ландшафтная гидрология. Серия «Географические исследования Сибири». Т. 3. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007б. С. 209–241.

A.N. Antipov, L.M. Korytny

SIBERIAN SCHOOL OF THE LANDSCAPE HYDROLOGY

The history of organization and development of the Siberian school of landscape hydrology in the Institute of Geography SB RAS in Irkutsk is considered. Its principle theoretical postulates concerned with the landscape-hydrological analysis of water resources formation conditions and their state assessment as well as with the basin conception are specified. The foundation of the school is an experimental study of hydrological cycle in various elements of basin systems as well as indication research. The peculiarities of applied work, including basin management, water protection zoning and landscape-hydrological monitoring, are revealed.

Н.И. Алексеевский

РЕЧНОЙ СТОК: ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ИНДИКАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА[1]

Рассмотрены географические функции речного стока, связанные с перемещением разнообразных видов веществ, тепла, с формированием и трансформацией энергии водных потоков. Установлено, что величина и изменчивость составляющих речного стока отражают специфику функционирования природного комплекса бассейнов рек (большего или меньшего размера) в конкретных ландшафтных условиях и при характерном уровне природопользования. Выполнена характеристика масштабных эффектов изменения стока воды, наносов, химических веществ и биологических субстанций по длине рек. Показано, что использование информации о пространственной и временной изменчивости составляющих речного стока – реальный путь к организации эффективной системы наблюдений над природными и антропогенными изменениями окружающей среды, к выявлению реакции компонентов природных и техногенных ландшафтов на климатические изменения и хозяйственные нагрузки.

В пределах практически любой территории формируются, изменяются и перемещаются потоки вещества и энергии. В конечном итоге они поступают в океаны и моря, озера и водохранилища. Величина указанных потоков находится в зависимости от специфики природных условий, а также вида и интенсивности антропогенных нагрузок на водосборы и водные объекты. Общий процесс перемещения рассматриваемых потоков называется речным стоком (Муравейский, 1960 и др.). Одновременно этот термин характеризует объем или массу разнообразных веществ, количество тепла, которые переносит водный поток за единицу времени (Чеботарев, 1978). В этом смысле водные потоки за некоторый момент времени t (с, сутки, месяц, сезон, год, век и т.п.) транспортируют некоторый объем воды WR, наносов SY, растворенных химических веществ CY. Поэтому вещественная часть речного стока

$$MY = WR+SY+CY+ BY. \qquad (1)$$

[1] Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00339), программы поддержки ведущих научных школ (НШ – 4964.2008.5), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

Она включает и биологический сток *BY* – составляющую речного стока, которая введена в структуру уравнения (1) в последние десятилетия и дает представление о результирующем переносе в основном планктонных организмов через поперечное сечение русла реки (Алексеевский, 1993, 2000, 2004). Традиционно в состав речного стока включают и тепловой сток *HY*, имеющий другую (Дж) размерность. Для преодоления проблем объединения составляющих с различной размерностью можно сохранить за термином «речной сток» исключительно вещественные составляющие стока, а для качественной характеристики суммарного процесса переноса водными потоками вещества, тепла и энергии – использовать термин «геосток» или «географический сток» (Алексеевский, 2000).

Составляющие уравнения (1) отличаются между собой по абсолютной величине транспортируемого вещества. Наиболее значимый поток вещества формирует сток воды *WR*. Все другие составляющие речного стока меньше по величине и являются производными от стока воды, поскольку водные потоки, обладая необходимой энергией, осуществляют работу по перемещению содержащихся в воде веществ. Гидравлическая энергия водного потока Э = f*(WR,*1*/N)* возрастает при увеличении стока воды *WR* и (или) уклона водотока *I*. Изменение *WR* и величины *I* – соответственно возрастающая и убывающая функции размера (порядка *N*) рек. Изменение гидравлической энергии по длине русловых систем обусловливает специфику перемещения речных наносов, их накопление на участках рек или увеличение их стока в результате размыва речных отложений. Водоносность рек определяет величину и изменчивость других видов речного стока (*i*), поскольку

$$RR_i = k_i \, \overline{Q}_{t,i} \cdot T, \qquad (2)$$

где k_i – характеристика, отражающая специфику транспортируемой субстанции. Для стока воды величина *k* соответствует ее плотности ($\rho \approx 1000$ кг/м^3), для стока взвешенных наносов – средней за период времени *T* мутности воды *s* (кг/ м^3), причем $s = s(\varphi, \lambda)$, где φ, λ – географические координаты. Соответствующие характеристики k_i для *CY* и *BY* равны минерализации $C = C(\varphi, \lambda)$ (кг/м^3) и биомассе $b = b(\varphi, \lambda)$ (кг/м^3). Чем больше средний расход воды $\overline{Q}_t = f(\varphi, \lambda, N)$ за время *T* и k_i, тем больше RR_i, даже если порядок реки $N = \text{const}$. Величина *MY* отражает конкретные условия трансформации атмосферных осадков в

сток воды *WR* вследствие специфического сочетания форм рельефа и литологического типа горных пород, зонального почвенно-ботанического покрова в пределах речного бассейна, других природных и техногенных факторов.

В произвольном створе реки перенос тепла

$$HY = c_p \cdot \rho \ \overline{Q}_{t,i} \cdot T\,\theta = c_p \cdot \rho \cdot \theta \cdot WR. \qquad (3)$$

Он зависит от стока воды *WR*, удельной теплоемкости (c_p), плотности (ρ) и средней температуры воды θ. Величина теплового стока влияет на изменение составляющих вещественных потоков, учтенных уравнением (1), на состояние водных и наземных биоценозов. Наиболее ярким примером отепляющего влияния рек на состав растительности является смещение границы распространения лесов в сторону высоких широт по долинам крупных северных рек. Изменение теплового стока отражает интегральную реакцию объема воды в русловой сети территории на зональные и местные условия его нагревания и охлаждения.

Классическое содержание термина «речной сток» испытало значительные трансформации в XX в. Развитие водного хозяйства, приоритет задач удовлетворения потребностей населения, промышленного и сельскохозяйственного производства в воде обусловили преимущественное изучение проблем определения водных ресурсов рек, их изменчивости в пространстве и времени. В результате термин «речной сток» утратил свой первоначальный смысл. В основном он стал употребляться в качестве синонима термина «сток воды». Такое упрощение не способствует развитию теории гидрологической науки, ее методологических и практических приложений (Алексеевский, 2000, 2004). Цель данной статьи – исследование географической роли речного стока и оценка возможности использования информации об изменчивости составляющих стока для определения гидрологических последствий природопользования (изучения индикационных свойств речного стока).

Географическая и индикационная роль речного стока

Вода выполняет важнейшие (геосферную, ландшафтную, гидрологическую, экологическую и водохозяйственную) функции на нашей планете (Михайлов, Добровольский, 1991). Достаточно отме-

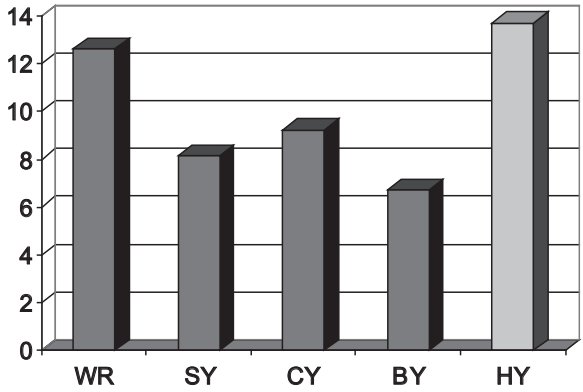


Рис. 1. Соотношение логарифмов абсолютных значений составляющих речного стока для реки с $N = 12$ в бассейне Оки (*WR, SY,CY, BY* – логарифм от величины стока воды, взвешенных наносов, растворенных веществ, биологических субстанций, кг и стока тепла *HY*, Дж)

тить, что с поверхности суши ежегодно в среднем за многолетний период в океан поступает $41{,}7\times10^{12}$ т воды (Мировой водный.., 1974), $15{,}7\times10^{9}$ т взвешенных наносов и до 4×10^{9} т растворенных и взвешенных химических веществ (Walling, Webb, 1987). При среднем содержании планктонных организмов в речной воде 1,5 мг/л биологический сток в Мировой океан составляет $0{,}62\times10^{12}$ т. В зависимости от конкретных ландшафтных условий на характерной площади водосборного бассейна или для реки определенного порядка *N* (определенного в системе кодировки водотоков А. Шайдеггера) формируется больший или меньший сток веществ различного генезиса и тепла. Сопоставление объема переноса этих веществ в русле конкретного водотока обнаруживает абсолютное доминирование стока воды (рис. 1). В зависимости от размера рек и условий формирования в их бассейнах потоков вещества и тепла изменяются абсолютные значения этих потоков и величина речного стока, поступающего с суши в приемные водоемы.

Географическая роль речного стока наиболее полно обоснована в работах С.Д. Муравейского (1946, 1948, 1960). В них введены представления о том, что процессы формирования и перемещения воды, наносов, химических веществ и тепла являются связующим механизмом в совокупности взаимодействующих компонентов природных ландшафтов. Характеристики этих процессов, отражая реакцию не-

больших и крупных природных систем на изменение температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков, стока воды и тепла, влияют на направленность и интенсивность процессов склоновой и овражной эрозии (сток наносов), химического выветривания (сток растворенных веществ), развития наземных и водных экосистем (сток биогенных и органических веществ). В результате локальные, районные, региональные, зональные и иные пространственно-временные закономерности изменения составляющих речного стока увязываются с характерным набором природных условий, свойственных конкретным водосборным территориям. Речной сток приобретает смысл количественного признака изменений состояния окружающей среды на глобальном, континентальном и бассейновом уровнях, мерой обмена веществом и энергией между компонентами природных и техногенных ландшафтов. Это позволяет использовать пространственно-временные закономерности изменения различных составляющих речного стока для определения роли физических, химических, биологических факторов, а также хозяйственной деятельности в изменении состояния и режима водных объектов суши, а также их бассейнов, отличающихся по размеру, комплексу природных условий, видам и интенсивности природопользования.

Взаимодействие между участками суши и Мировым океаном реализуется в форме обмена водными массами (Муравейский, 1946, 1948; Эдельштейн, 1991). Они связывают различные географические комплексы (наземные и аквальные ландшафты), реки, озера и водохранилища, сушу и океан, соответствуют местной, региональной и зональной величине составляющих речного стока. Изменение условий формирования водных масс сопровождается изменением отдельных или всех их параметров, нарушением сложившегося обмена веществом между сушей и океаном (Влагооборот.., 1973; Добровольский, 2002; Калинин, 1968; Клиге и др., 1993 и др.). Следствием этих нарушений является изменение соотношения между «внешними» и «местными» осадками для отдельных материков и их частей. Отношение внешних и местных осадков (коэффициент влагооборота) определяет сток воды (Калинин, 1968). Интенсивность внутриматерикового влагооборота возрастает при увеличении размера территории и испарения. Она уменьшается при большом влагосодержании внешних потоков воздуха. Коэффициент влагооборота является функцией высоты рельефа материков. В среднем за многолетний период над территорией Евразии транзитом проносится 8% внешней влаги. Для Австра-

лии транзит внешней влаги возрастает до 76%. Оставшаяся часть этой влаги выпадает на сушу в виде осадков (Эдельштейн, 1991). Абсолютная высота горных систем служит главным орографическим фактором их большего или меньшего выпадения из океанических воздушных масс, поскольку наличие гор определяет восходящий подъем воздуха, его охлаждение и повышенную интенсивность выпадения осадков. Вследствие этого изменяется структура материковых гидрологических циклов, составляющих речного стока (Эдельштейн, 2005). В зависимости от интенсивности внутриконтинентального влагооборота одни континенты являются перехватчиками влаги (Азия, Северная и Южная Америки), другие континенты или их части (Европа и Африка – для Азии, Австралия – для островов Океании) – донорами влаги. Континенты, преимущественно перехватывающие атмосферную влагу, доминируют в отношении выноса воды, наносов и т.п. в прибрежные зоны морей. Другие крупные участки суши оказывают меньшее влияние на обмен веществом с Мировым океаном. Химическая и биологическая составляющая речного стока при этом отражает совокупность физико-химических механизмов биотических и абиотических процессов, контролирующих водную миграцию химических элементов (Савенко, 1982).

Гидрологические состояние и режим водных объектов отдельных материков и их частей зависят от конкретных физико-географических условий. Географическая обусловленность гидрологических процессов, состояния водных объектов соединена с цельностью и неразрывностью природной среды, взаимосвязанностью и взаимообусловленностью всех компонентов ландшафта, включая природные воды. Эту закономерность наиболее четко характеризуют многочисленные территориальные гидрологические обобщения (Алекин, 1970; Воскресенский, 1962; Евстигнеев, 1990; Сток наносов.., 1977 и др.). Они устанавливают соответствие характеристик речного стока, его режима с географическим положением речного бассейна, физико-географическими факторами водосборов, обеспечивают возможность интерполяции гидрологических характеристик. Такая возможность обосновывается законом географической зональности, предполагающим непрерывное и плавное изменение в пространстве природных факторов, включая и характеристики речного стока. Зональные закономерности изменения составляющих речного стока раскрываются методом географической интерполяции и наиболее ярко прослеживаются в том случае, если эти характеристики отражают измене-

ние условий тепло- и влагообеспеченности территории, а их величины нормированы для устранения масштабных эффектов, связанных с отличиями в площади бассейнов рек. При подобии площадей водосборов должно существовать подобие и характеристик речного стока (Евстигнеев, 1990; Христофоров, 1994).

В общем случае специфика гидрологических процессов прослеживается в различных масштабах времени. Это означает, что характеристики указанных процессов изменяются в масштабах времени от 10^0 до 10^{11} с и более. Они проявляются на всех характерных пространственных масштабах существования физических объектов, связанных с водой. Каждому из них соответствует некоторый характерный размер объекта. В спектр таких размеров входит диаметр нашей планеты, длина и ширина материков, длина рек, их однородных участков, русловых форм, диаметр взвешенных частиц и русловых отложений, молекулы воды. В зависимости от длины, площади или объема этих объектов находятся скорость и характерное время изменения состояния гидрологических объектов. Оно соответствует периоду времени, за который состояние и режим любого из таких объектов испытывает закономерно повторяющиеся изменения. При уменьшении линейных (площадных, объемных) размеров объектов их характерное время также уменьшается. Поэтому «элементарным кирпичикам» гидросферы соответствует минимальное, а всей гидросфере – максимальное характерное время изменения состояния. Закономерности изменения их состояния отвечают точечной идеализации развития элементарных объектов гидросферы. Они справедливы лишь для этого типа объектов, изменяются при переходе к объектам более крупным, для которых характерны другие закономерности изменения их состояния, возникающие как следствие изменения внешних факторов.

На планетарном уровне анализа гидрологических событий закономерности обмена водными массами между сушей и океаном проявляются в полной мере при сопоставлении характеристик этого процесса, осредненных за десятки, сотни лет и большие интервалы времени (Алексеевский, 1998). С другой стороны, состояние водных объектов зависит от особенностей локального и быстрого изменения гидродинамического состояния водных объектов, их реакции на изменение составляющих водного баланса, изменения содержания в воде взвешенных частиц, химических веществ, биологических субстанций, температуры. Оно является функцией другого набора факторов. Это обстоятельство позволяет понять суть проблемы противопостав-

ления значимости гидрологических закономерностей, характерных для местной и «быстрой» изменчивости гидрологических событий, и глобальных гидрологических процессов, реализующихся, например, в вековых масштабах времени. Закономерности перемещения отдельных минеральных частиц на участке поверхности дна вследствие пульсаций актуальных скоростей течения (Караушев, 1977) не могут считаться более значимыми по сравнению с закономерностями осадконакопления в Мировом океане (Лисицын, 1974). Это разные закономерности общего процесса перемещения и накопления литогенного материала, соответствующие особому сочетанию пространственных и временных масштабов осреднения характеристик этого процесса (Алексеевский, 2005).

При увеличении характерных размеров гидрологических объектов изменяется их длина, площадь, возникает ряд специфических свойств, которые не проявляются при небольшой длине потоков, площади акваторий и т.п. Продольное смещение русловых форм, например, связано с закономерностями перемещения минеральных частиц по поверхности русловых отложений, но процесс формирования и движения русловых форм отличают и собственные, специфические закономерности. Аналогично соотносятся, например, закономерности изменения местной и средней скорости потока в поперечном сечении русла. Очевидно, что между ними существует опосредованная связь. Однако законы изменения местной скорости обусловлены колебаниями локальной глубины, шероховатости поверхности дна, силы, направления ветра и т. п. Средняя же скорость зависит в основном от притока воды на участок реки, средней глубины, уклона и шероховатости русла на участке реки.

На уровне речных бассейнов географическая и индикационная роль речного стока уникальна, поскольку его отсутствие или резкое сокращение соответствует уменьшению интенсивности денудационных процессов, отражающему конкретное сочетание климатических, орографических, литологических, почвенно-ботанических факторов выветривания на данной территории, условий транспортировки, переотложения и трансформации переносимых субстанций. Под влиянием этих факторов речной сток и его отдельные составляющие закономерно изменяются по длине русловых систем, что определяет индикационные свойства составляющих речного стока, поскольку на их основе можно определять тенденции развития компонентов природной среды в пределах бассейнов водных объектов.

Отсутствие стока (процесса перемещения веществ различной природы в руслах постоянных и временных водотоков) даже при наличии воздушного переноса веществ или гравитационного перемещения минеральных частиц на склонах соответствует резкому ограничению природного разнообразия ландшафтов. Выпадение редких дождей в пустынных областях и формирование сети временных водотоков, например, соответствует относительно медленному изменению состояния ландшафтов таких территорий. Речной сток носит временный характер и в условиях очень холодного климата. Лишь в период летнего потепления здесь возможно формирование потоков талых вод, которые обусловливают перенос вещественных потоков на более низкие гипсометрические уровни. Они характеризуют интенсивность процессов обновления массы льда в ледниках, растворения химических соединений, входящих в состав горных пород и моренных отложений, скорость выноса к границе абляции минеральных включений и т.п. При отсутствии талых вод на участках горных оледенений сток обеспечивает лишь смещение льда по склонам. Движение льда вызывает эрозию и способствует переносу продуктов разрушения горных пород. Одновременно изменяются условия теплового воздействия вод на подстилающие горные породы, их растворения, переноса взвешенных частиц, развития водных биоценозов и прилегающих наземных экосистем.

Индикационные свойства стока максимально выражены в бассейнах постоянных водотоков. Равномерное или неравномерное изменение водоносности главной реки вследствие впадения притоков (рис. 2) формирует каскадную систему переноса потоков вещества различной природы и энергии вдоль элементов речной сети (Алексеевский и др., 2004). Ее отличительной чертой является участие самого малого элемента речного бассейна (и его ландшафта) в изменении гидрологического состояния более крупных рек и приемного водоема. За редким исключением относительно большие водотоки и ситуация в их бассейнах не оказывают прямого влияния на состояние даже смежных (и меньших по размеру) элементов русловой сети. В результате отсутствует и встречное (вверх по течению рек) движение вещества и энергии, связь между ландшафтами, занимающими низкое гипсометрическое положение, и ландшафтами, находящимися на большей высоте. Исключение составляют приливные и нагонные участки рек, узлы их слияния, участки рек выше зон формирования заторов и зажоров, где возможны переменные подпорные воздействия.

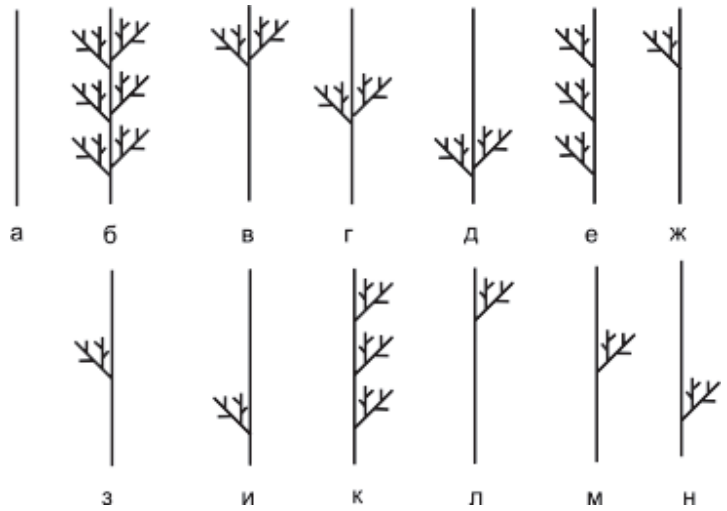


Рис. 2. Рисунки русловой сети водосборов (Алексеевский и др., 2004) и разнообразие типов трансформации составляющих стока по длине рек.

Русловая сеть: а – стволовая; б – симметричная равномерная; в – симметричная привершинная; г – симметричная Ф-образная; д – симметричная корневая; е – правобережная асимметричная равномерная; ж – правобережная асимметричная привершинная; з – правобережная асимметричная Ф-образная; и – правобережная асимметричная корневая; к – левобережная асимметричная равномерная; л – левобережная асимметричная привершинная; м – левобережная асимметричная Ф-образная; н – левобережная асимметричная корневая

В общем случае все составляющие речного стока изменяются под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности. Природная изменчивость стока рек обнаруживает зональные черты, обусловленные закономерной пространственной изменчивостью слоя и модуля стока (Воскресенский, 1962; Евстигнеев, 1990 и др.), средней многолетней мутности (Дедков, Мозжерин, 1984; Сток наносов.., 1977 и др.), минерализации (Алекин, 1970; Никаноров, 1989 и др.), биомассы и температуры воды (в теплую часть года). При хозяйственном освоении ресурсов рек и их бассейнов возникает техногенное изменение величины некоторых или всех характеристик речного стока. В результате оказывается, что

$$RR_i = RR_e + RR_a , \qquad (4)$$

где RR_e и RR_a – соответственно фоновая величина и техногенное изменение *i*-й составляющей речного стока.

Особенности изменения составляющих речного стока и их аномалий

Фоновые значения стока воды являются функцией зонального сочетания составляющих водного баланса речных бассейнов (Мировой водный.., 1974). Учет соотношения между ними показывает, что величина среднего многолетнего слоя стока сложным образом изменяется в пределах различных материков нашей планеты. Соотношение между стоком осадков и испарением в пределах одной зоны, слой стока зависят от высоты местности, ориентации орографических структур по отношению к господствующему направлению перемещения влагосодержащих воздушных масс (Воскресенский, 1962 и др.), а также от размера (площади водосбора F или порядка N) рек (Косицкий, 1999). При прочих равных условиях увеличение площади водосбора F сопровождается возрастанием среднего многолетнего расхода воды (табл. 1).

Пространственные изменения характеристик стока взвешенных наносов обусловлены вариацией интенсивности склоновой и овражной эрозии, которая зависит от ландшафтных особенностей территории, ее типа (равнина, плоскогорья, горы), литологии пород, доминирующих в пределах водосборных территорий, размера рек. Изменение природных условий на водосборах, видов, масштабов и интенсивности хозяйственной деятельности прослеживается в тенденциях изменения характеристик стока наносов (Сток наносов.., 1977). В условиях умеренного климата интенсивность эрозионных процессов возрастает при увеличении суммы атмосферных осадков, уменьшении площади лесов, в пределах возвышенностей и наличии легкоразмываемых пород (Дедков, Мозжерин, 1984 и др.). На этом фоне происходит увеличение средней многолетней мутности речных вод. Наоборот, равнинный характер местности, большие площади лесов, горных пород, отличающихся повышенной устойчивостью к эрозии, соответствуют пониженной интенсивности эрозионных процессов, относительно низкому содержанию в воде минеральных частиц, небольшому модулю стока взвешенных наносов. В пределах Российской Федерации и сопредельных стран выделяется 22 эрозионных района, в которых существует относительное подобие условий формирования мутности речных вод (Сток наносов.., 1977). Оно относительно, поскольку в пределах каждого района фоновая величина характеристик стока наносов может отличаться на порядок величины и больше вследствие изменчивости факторов, влияющих на интенсив-

Таблица 1. Реакция среднего многолетнего расхода воды ($м^3/с$) на изменение площади водосбора

№	Природная зона	*F*, км²			
		100	1000	10000	100000
1	Тундра	10,3	47,9	223	1040
2	Тайга	2,24	17,2	132	1010
3	Смешанные и широколиственные леса	5,52	30	163	885
4	Лесостепи и степи	0,455	3,48	26,6	203
5	Полупустыни и пустыни	0,034	0,667	13	254
6	Саванны и редколесья	4,24	21,7	111	568
7	Жестколистные вечнозеленые леса	1,21	11,2	104	969
8	Переменно-влажные леса	6,21	32,1	166	856
9	Влажные экваториальные леса	6,28	40,4	259	1670

ность эрозионных процессов и условия транспорта минеральных частиц водными потоками. Тем не менее дальнейшая дифференциация эрозионных районов на подрайоны способна привести к повышению точности определения средней многолетней мутности воды, модуля стока взвешенных наносов, к возможности определения фонового значения стока наносов, соответствующих аномалий стока для анализа временной изменчивости этих характеристик под влиянием природных условий и хозяйственной деятельности.

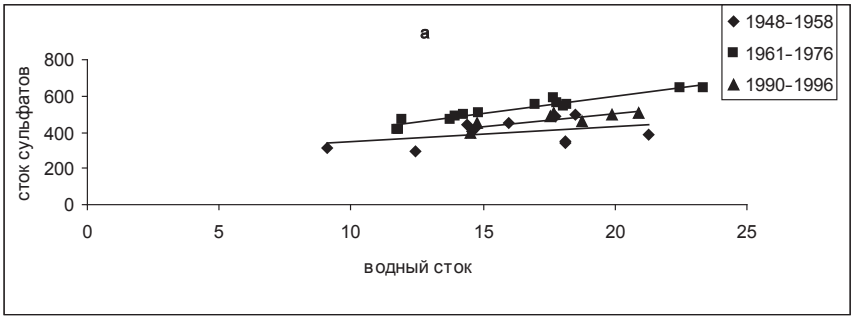
Средний многолетний расход влекомых наносов G_0 зависит от водоносности и мощности водного потока, фракционного состава русловых отложений (ил, песок, гравийно-галечный и галечно-валунный материал) или типа горных пород, ограничивающих водный поток (несвязные отложения, связные грунты, скальные породы). Следовательно, природное или техногенное изменение этих факторов отражается на величине транспорта влекомого материала. Поскольку прямые измерения расхода влекомых наносов G не производятся, то фоновые его значения устанавливаются на основе специальных гидрологических расчетов. Для этого определяются ежедневные гидравлические характеристики, влияющие на интенсивность перемещения минеральных частиц по поверхности дна или линейные и динамические характеристики одного из типов гряд, в форме которых осуществляется транспорт влекомого материала (Знаменская, 1968 др.), устанавливается соответствие рассчитанных значений G и расходов воды, определение суточных расходов влеко-

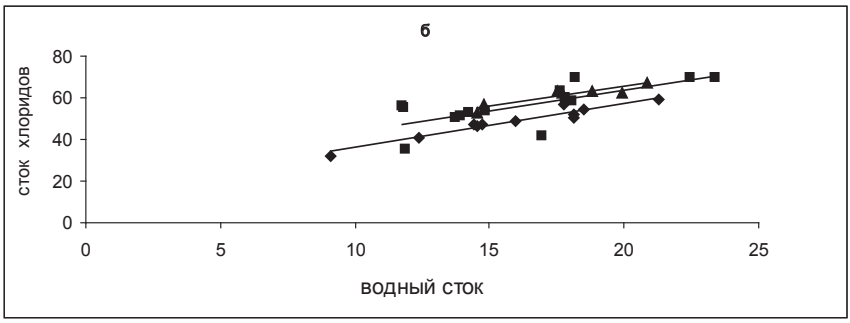
мых наносов (Сток наносов.., 1977). Затем производится осреднение данных за год или иной интервал времени. Другой способ определения G_0 заключается в использовании средних значений геометрических и динамических характеристик гряд за основные фазы водного режима, являющихся функциями порядка рек, средней скорости за период повышенного и пониженного стока воды (Алексеевский, 1998). Поскольку в конкретных природных условиях одинаковому порядку рек соответствует разная их водоносность, активная ширина русел, продолжительность периода повышенного стока, то возникает природная изменчивость величины G_0. Отклонения этой характеристики от фоновых значений могут рассматриваться в качестве реакции эрозионно-аккумулятивных систем бассейна реки или ее отдельного участка на изменение природных условий или антропогенных нагрузок.

Фоновые значения стока растворенных веществ *CY* отражают природную изменчивость условий химической денудации. В пределах России минерализация речных вод в целом возрастает при переходе от северных к ее южным регионам. Одновременно происходит закономерное изменение химического состава поверхностного стока (Алекин, 1970; Никаноров, 1989). В пределах конкретных водосборных территорий ионный сток меняется в зависимости от тенденций изменения стока воды. Сток конкретных химических соединений и элементов может при этом испытывать аналогичные или отличающиеся тенденции изменения по сравнению с ионным стоком (рис. 3).

Фоновые изменения биологического стока, доминирующую часть которого формируют планктонные организмы, изучены недостаточно (Геоэкологическое состояние.., 2007; Горбунов, 1976; Добровольская, 2003; Косицкий, 2003 и др.). Величина этого вида речного стока изменяется в зависимости от колебаний стока воды и биомассы планктонных организмов. Тип этой зависимости устанавливает уравнение (2). Увеличение водоносности реки и биомассы фито-, зоо- и бактериопланктона сопровождается возрастанием величины биостока *BY*. В общем случае $BY \sim WR$, где *WR* – сток воды. В дельте Волги, например, связь между этими переменными очевидна (рис. 4), хотя и не отличается существенной величиной корреляционного отношения.

Фоновые значения теплового стока *HY* изменяются (в соответствии с уравнением (3)) в зависимости от факторов, влияющих на водоносность рек и температуру воды в теплую часть года. В пределах одной природной зоны главным фактором изменения величи-





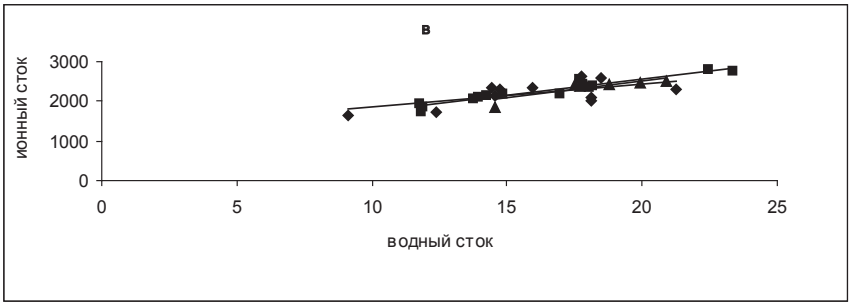


Рис. 3. Соотношение стока сульфатов (тыс. т):
(а), стока хлоридов (тыс. т) (б), ионного стока (тыс. т)
(в) и водного стока (млн. м^3) (Онега, с. Порог)
для характерных периодов времени (Геоэкологическое состояние.., 2007)

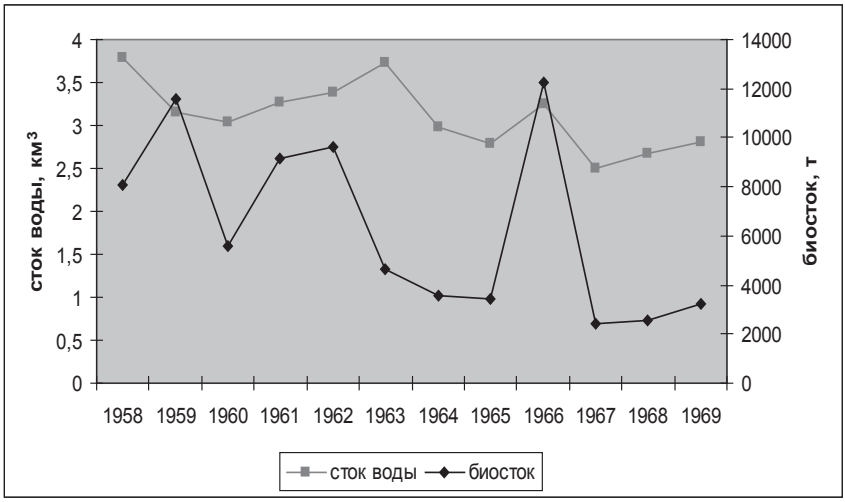


Рис. 4. Соответствие изменений стока воды и биологического стока в дельте Волги (по данным К.В. Горбунова, 1976)

ны *HY* является изменение стока воды. Реки примерно одинаковой водоносности отличаются по величине теплового стока, если температура воды в руслах рек изменяется в соответствии с географическим расположением их водосборов (рис. 5). Для крупных рек важным фактором изменения теплового стока является генеральное направление течения. При прочих равных условиях средняя температура воды уменьшается по направлению к устью рек, текущих в сторону полярных широт (рис. 6) и, наоборот, она возрастает, если реки несут воды в сторону более низких широт. Эта особенность связана с охлаждающим или отепляющим влиянием притоков на главную реку.

Большое научное и практическое значение имеет изучение аномалий составляющих речного стока (RR_a в уравнении (4)). Их выявление и оценка является составной частью исследований генезиса опасных гидрологических явлений, фоновых и актуальных изменений потребительских свойств водных ресурсов, вариации возобновляемых водных ресурсов (Евстигнеев 1990; Коронкевич, 1990; Фролова, 2006; Христофоров, 1993 и др.). В частности, их изучение необходимо для определения масштабов влияния техногенных нагрузок на состояние ландшафтов водосборных пространств и собственно рек.

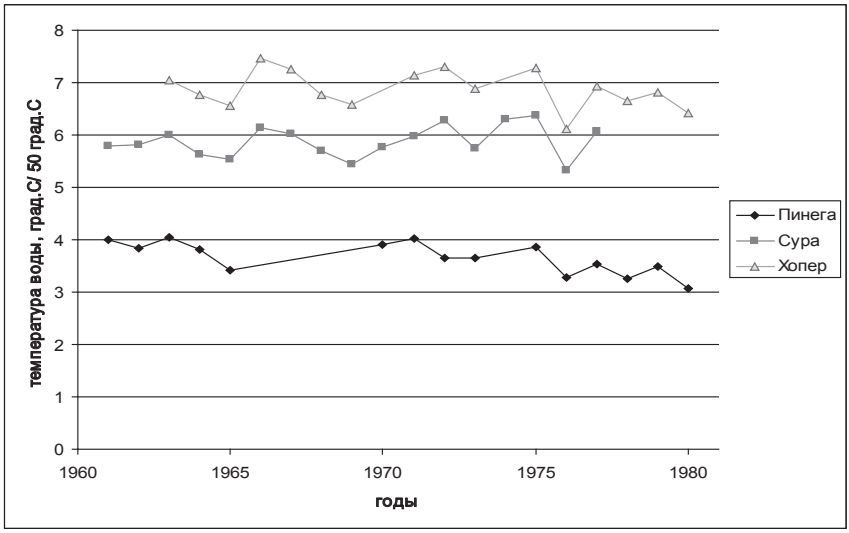


Рис. 5. Климатическое изменение средней годовой температуры воды рек (площадь речных водосборов примерно одинакова)

Для южных регионов России эти нагрузки в первую очередь связаны с ирригацией. В бассейне Терека, например, потери стока к вершине дельты ΔQ, м^3/с линейно связаны с увеличением площади орошаемых земель ΔF_{op}, тыс.га: $\Delta Q = -0{,}30\ \Delta F_{op}$ (Шикломанов, 1979). Техногенное преобразование поверхности бассейнов рек привело к значительному увеличению модуля стока взвешенных наносов M_R. Если до периода активного сельскохозяйственного освоения поверхности суши величина M_R не превышала 100 т/(км^2×год), то в настоящее время она достигает 500 т/(км^2×год) (Дедков, Мозжерин, 1984). Вследствие хозяйственной деятельности наиболее мощное изменение испытывает сток растворенных веществ (Мозжерин, Шарифуллин, 1988). Это связано с поступлением в реки промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых сточных вод с различной степенью очистки (Антропогенные воздействия.., 2003). Однако и влияние диффузных источников загрязняющих веществ на химический состав вод может быть весьма ощутимым. Например, ионный сток степной реки Сок (левый приток Волги) искажен вследствие хозяйственной деятельности на 9% (Мозжерин, Шарифуллин, 1988). Изменение химического состава речных вод под влиянием хозяйственной деятель-

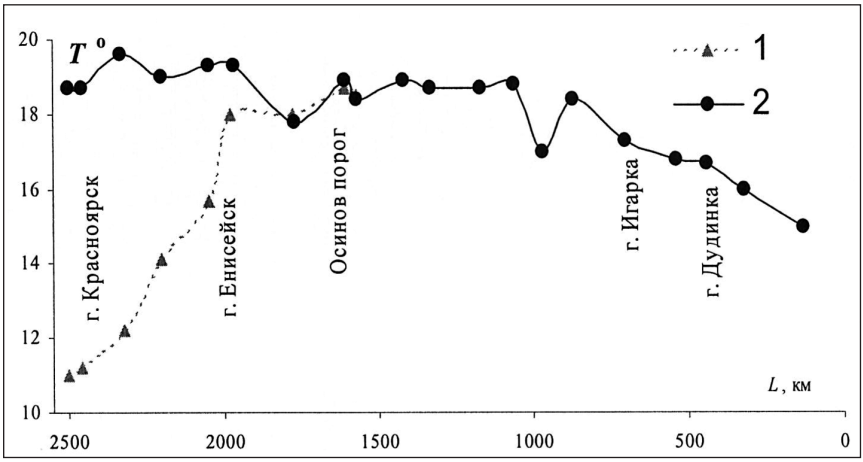


Рис. 6. Изменение летней температуры воды по длине Енисея после (1) и до создания Ангаро-Енисейского каскада ГЭС (2)

ности – главная причина трансформации биомассы планктонных организмов (Абакумов, 1991). Степень этой трансформации зависит от фонового содержания в воде лимитирующих видов химических веществ, массы и продолжительности их дополнительного поступления из сосредоточенных и диффузных источников. В частности, биомасса планктонных организмов может изменяться (относительно природного фона) и вследствие антропогенного изменения характеристик теплового стока. Изменение температуры воды – важный абиотический фактор развития водных биоценозов ниже выпусков подогретых сточных вод и в нижних бьефах водохранилищ (Горбунов, 1976; Леонов, 1977 и др.). После создания Ангаро-Енисейского каскада водохранилищ летняя температура воды ниже Красноярской ГЭС понизилась почти на 8^0C (см. рис. 3), а ее антропогенное изменение прослеживается на участке реки длиной более 750 км.

Аномалии составляющих речного стока – физическая, химическая и биологическая причины изменения качества воды (Алексеевский, 2004), которые учитываются при анализе изменения потребительских свойств водных ресурсов. Даже при неизменной величине мутности, минерализации и биомассы качество речных вод будет улучшаться, если расход воды в реке возрастает по сравнению со средней его величиной для данной фазы водного режима и климатической зоны (порядок реки одинаков). Качество воды будет ухудшаться, если

расход воды и разбавляющая способность потока уменьшаются. При неизменной водоносности рек трансформация качества водных ресурсов во времени однозначно связана с природными или антропогенными аномалиями мутности, содержания в воде химических соединений и элементов, биомассы планктонных организмов. Степень изменения потребительских свойств объема воды на участке реки в первую очередь зависит от дополнительного появления в воде химических компонентов, их токсичности, а также бактериального загрязнения природных вод.

Масштабные эффекты изменения составляющих речного стока

При использовании индикационных свойств изменчивости составляющих речного стока и их аномалий необходимо учитывать масштабные эффекты их трансформации по длине русловой сети водосборных территорий. Масштабным эффектом называется закономерное изменение осредненных во времени характеристик речного стока при последовательном увеличении порядка реки на единицу в границах конкретного речного бассейна (Косицкий, 2003). Он в одинаковой мере прослеживается при анализе осредненных гидрографических, гидрологических, морфометрических и других характеристик рек с древовидной структурой русловой сети. Отношение величины составляющей (i) речного стока на участке реки с порядком N+1 к ее значению на участке водотока с порядком N называется коэффициентом масштабного изменения этой характеристики K_i. Чем больше величина K_i, тем больше интенсивность изменения гидрологических характеристик по длине рек (зональные условия формирования стока, виды и масштаб хозяйственной деятельности одинаковы). Увеличение порядка реки на единицу вызывает не только изменение характеристик речного стока, но и сопровождается образованием речного бассейна (и, следовательно, природно-территориального комплекса) более высокого иерархического уровня. Для такого бассейна составляющие речного стока, гидрографические и морфодинамические особенности системы «поток – русло» отражают взаимосвязь и совместное функционирование всех компонентов ландшафтной структуры соответствующей территории, что позволяет рассматривать речной бассейн любого размера (порядка) в качестве особой единицы организации природных комплексов (Корытный, 2001 и др.).

Масштабный эффект выявляется при сравнении осредненных характеристик системы руслового потока. Он утрачивается при переходе к анализу зависимости состояния участка реки, поскольку это состояние изменяется под воздействием определяющих факторов меньшего временного и пространственного осреднения. Зависимости характеристик стока от площади водосбора, длины или порядка водотока N не являются универсальными. Для крупных территорий они обнаруживают районный характер, поскольку в их пределах существует зональное изменение условий формирования составляющих речного стока, возможна орографическая, литологическая, почвенно-ботаническая, гидрографическая неоднородность этих условий, а также специфика видов и интенсивности природопользования. В общем случае произвольная и осредненная составляющая речного стока Г связана с порядком рек N зависимостями типа

$$\Gamma = a \cdot e^{bN} . \qquad (5)$$

Параметры a и b отражают пространственную изменчивость ландшафтных факторов формирования составляющих речного стока. При изменении N от 1 до 12 площадь частных бассейнов F в пределах водосбора Северной Двины возрастает от 7,5 до 12 600 км^2, длина реки – от 15 до 370 км, а уклон реки уменьшается от 0,0011 до 0,00017 (Косицкий, 2003; Алексеевский и др., 2004). Изменение значений F (N = const) связано и с дифференциацией территории по густоте речной сети (Евстигнеев, Шенберг, 2000). Чем больше эта характеристика, тем меньше площадь водосбора, на которой формируется река с N = const. Чем больше густота расчленения водосборной территории, тем выше скорость продольного увеличения размера водных потоков и вероятность вскрытия большего числа водоносных горизонтов. В этих условиях возникают предпосылки для формирования рек с большим зональным расходом воды (см. табл.1). Одновременно изменяются водный режим рек, режим транспорта наносов, гидрохимический режим водотоков и водоемов, состояние водных экосистем, режим русловых переформирований и устьевых процессов, что и определяет специфику функционирования конкретного речного бассейна при характерной структуре естественных и антропогенных ландшафтов. Для выявления этой специфики указанные изменения оцениваются при последовательном увеличении порядков рек, определенных по дихотомической схеме кодировки элементов русловой сети территории (Алексеевский, 1998; Корытный, 2001 и др.).

Порядок реки – критерий подобия рек по условиям сосредоточения в их руслах воды, наносов, растворенных химических веществ и т.п. Он зависит от числа условно бесприточных водотоков, образующих первичную русловую сеть бассейна. В качестве рек первого порядка удобно принимать водотоки с длиной менее 10 км (Алексеевский, 2000). В близких природных условиях на единице площади водосбора существует примерно одинаковое их число. Изменение указанных условий означает, что на этой площади формируется больше или меньше притоков первого порядка, что и влияет на размер главной реки (Евстигнеев, Шенберг, 2000). Он влияет на водоносность и продолжительность фазы повышенного стока, средние за фазы водного режима гидравлические и морфометрические характеристики и т.п. Изменение порядков рек – главная причина возникновения масштабного эффекта изменения частных составляющих стока по их длине.

Исследование масштабных эффектов изменения характеристик речного стока заключается в поиске закономерностей увеличения или уменьшения этих характеристик по длине речных систем в различных физико-географических условиях. Величина масштабного коэффициента K_i для некоторой (i) осредненной за длительный интервал времени характеристики речного стока на участке реки, порядок которой равен $N+1$ и N, изменяется в довольно узком диапазоне значений. В зависимости от вида гидрологических характеристик величина K_i изменяется от 0,5 до 4,2 (Косицкий, 2003; Алексеевский и др., 2004). Минимальные значения K_i характерны для изменения уклона рек при увеличении их размера, а максимальные – для соответствующего изменения стока планктонных организмов. Увеличение размера реки от N до $N+1$ в разных природных условиях приводит в среднем к увеличению площади водосбора в 2 раза, ширины реки в 1,4 раза, нормы стока воды и ионного стока в 2 раза, среднего многолетнего расхода взвешенных и влекомых наносов соответственно в 2,2 и 1,4 раза.

При переходе от верховий к среднему и нижнему течению рек степень увеличения водоносности рек в значительной степени связана с зональными условиями формирования речного стока. В бассейне Печоры, где средние многолетние расходы воды максимальны (N = const), скорость продольного возрастания среднего многолетнего расхода воды Q_0 на верхних 1000 км в среднем равна 1,2 м^3/(с·км). В верховьях Оки и Дона скорость его увеличения по длине рек со-

ставляет соответственно 0,54 и 0,27 $м^3/(с·км)$, что связано с отличием увлажненности территории в зоне тайги, смешанных, широколиственных лесов, лесостепей и степей (Косицкий, 2003). В одинаковых природных условиях продольное изменение стока зависит от числа притоков, впадающих в главный водный поток, и равномерности расположения их устьев. Поэтому продольное изменение осредненных характеристик речного стока часто определено типом рисунка речной сети (см. рис. 2).

Таким образом, речной сток выполняет комплекс функций, связанных с перемещением разнообразных видов веществ, тепла, формированием и трансформацией энергии водных потоков. Величина и изменчивость составляющих речного стока отражают специфику функционирования природного комплекса бассейнов рек большего или меньшего размера в конкретных ландшафтных условиях и при характерном уровне природопользования. Использование информации о пространственной и временной изменчивости составляющих речного стока и ее интерпретация – реальный путь к организации мониторинга над природными и антропогенными изменениями окружающей среды, выявлению реакции компонентов природных и техногенных ландшафтов на климатические изменения и хозяйственные нагрузки.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 18–40.
2. *Абрамов Н.Н.* Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979. 231 с.
3. *Алексеевский Н.И.* Генетический анализ качества воды // География. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. С. 224–228.
4. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ, 1998. 202 с.
5. *Алексеевский Н.И.* Концепция геостока и состояние малых рек // Эроз. и русл. процессы. Вып. 13. М.: МГУ, 2000. С. 68–77.
6. *Алексеевский Н.И.* Экологическая гидрология и гидроэкология в системе наук // Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 2). М.: Геогр. фак. МГУ, 2004. С. 6–37.
7. *Алексеевский Н.И.* Некоторые особенности современного этапа развития гидрологии // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. №1. 2005. С. 91–98.

8. *Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г.* Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество и окружающая среда. Т. 6: Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы / Под ред. проф. Н.И. Алексеевского и проф. С.А. Добролюбова. М.: Издательский Дом «Городец», 2004. С. 345–374.
9. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 444 с.
10. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. Н.И. Коронкевича, И.С. Зайцевой. М.: Наука, 2003. 367 с.
11. Влагооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. М.: Стройиздат, 1973. 348 с.
12. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 247 с.
13. Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Геогр. фак. МГУ, 2007. 585 с.
14. *Горбунов К.В.* Влияние зарегулирования Волги на биологические процессы в ее дельте и биосток. М., 1976. 219 с.
15. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
16. *Добровольская Н.Г.* Пространственно-временные особенности распределения бактериопланктона равнинных рек // Эрозия почв и русловые процессы. 2003. Вып. 14. С. 94–103.
17. *Добровольский С.Г.* Климатические изменения в системе «гидросфера–атмосфера». М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
18. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
19. *Евстигнеев В.М., Шенберг Н.В.* О возможностях оценок характеристик стока по структурным показателям речных систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. №4. 2000. С. 38–42.
20. *Знаменская Н.С.* Грядовое движение наносов. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 188 с.
21. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 377 с.
22. *Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 271 с.
23. *Клиге Р.К., Воронов А.М., Селиванов А.О.* Формирование и многолетние изменения водного режима Восточно-Европейской равнины. М.: Наука, 1993. 128 с.
24. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные составляющие. М.: Наука, 1990. 205 с.

25. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция природопользования. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2001. 163 с.
26. *Косицкий А.Г.* Особенности формирования речного стока в разных природных условиях // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1999. №1. С. 56–60.
27. *Косицкий А.Г.* Масштабные эффекты изменения речного стока в различных природных условиях: Автореф. диссерт. ... к.г.н. М., 2003. 25 с.
28. *Леонов Е.А.* Изменение термического режима рек под влиянием хозяйственной деятельности // Труды ГГИ. Вып. 239. 1977. С. 49–77.
29. *Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала. М.: Наука, 1974. 438 с.
30. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 638 с.
31. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д.* Общая гидрология. М.: Высшая школа, 1991. 368 с.
32. *Мозжерин В.И., Шарифуллин А.Н.* Химическая денудация гумидных равнин умеренного пояса. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1988. 193 с.
33. *Муравейский С.Д.* Процесс стока как географический фактор // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. 1946. Т. 10. №3. С. 293–300.
34. *Муравейский С.Д.* Роль географических факторов в формировании географических комплексов // Вопросы географии. 1948. Сб. 9. С. 95–110.
35. *Муравейский С.Д.* Реки и озера. Гидробиология. Сток. М.: Географгиз, 1960. 388 с.
36. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 351 с.
37. *Савенко В.С.* Физическая гидрохимия – ее задачи и перспективы // Вестник Моск. ун-та. Сер.5. География. 1982. №1. С. 9–15.
38. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / Под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 240 с.
39. *Фролова Н.Л.* Гидрология рек (антропогенные изменения речного стока). М.: Геогр. фак. МГУ, 2006. 112 с.
40. *Христофоров А.В.* Надежность расчетов речного стока. М.: Изд-во МГУ, 1993. 166 с.
41. *Христофоров А.В.* Теория случайных процессов в гидрологии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 139 с.
42. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 308 с.
43. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 302 с.
44. *Эдельштейн К.К.* Особенности материковых звеньев глобального гидрологического цикла // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1991. №3. С. 95–102.

45. *Эдельштейн К.К.* Гидрология материков. М.: Изд. центр «Академия», 2005. 304 с.
46. *Walling D.E., Webb B.W.* Material transport by the words river // IANS Publ. 1987. №164. P. 313–329.

N.I. Alekseevskiy

RIVER RUNOFF: GEOGRAPHICAL ROLE AND INDICATIVE PROPERTIES

Main geographical functions of the river runoff connected to matter and heat transition and formation and transformation of the flow energy are investigated. It is found out that the size and variability of runoff characteristics reflect the specificity of drainage basin functioning in the conditions of existing landscapes and distinctive level of environmental management. The analysis of scale effects changes of the flow, sediments, dissolved solids and biological substations are given. It is showed that information on spatial-temporal inequality of runoff characteristics allows to organize efficient system of environment monitoring and to educe the reaction of environment and technogenic landscapes on climatic changes and changes in human impact.

Р.С. Чалов

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ИЗУЧЕНИИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ (ОСНОВЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РУСЛОВЕДЕНИЯ)[1]

В статье рассматривается история становления и обосновывается предмет исследования географического русловедения, его связь с гидрологией рек и динамикой русловых потоков, геоморфологией и инженерной геологией. Устанавливаются пространственные (географические) закономерности изменений русловых процессов, проявляющиеся через сопряженность эрозии, транспорта и аккумуляции наносов на всех структурных уровнях их развития; по длине речных систем; по продольному профилю рек; в зависимости от рельефа и геологического строения; благодаря различиям в водном режиме; из-за неодинаковых условий формирования стока наносов. Показаны соотношения пространственных изменений с временными. Определены возможности картографического метода в изучении географии русловых процессов.

Русловые процессы – завершающее звено гидрологических процессов и явлений, связанное с воздействием постоянных водных потоков на поверхность суши. Результатом этого воздействия является эрозия (размыв) подстилающих потоки горных пород и отложений. Продукты эрозии вместе с поступающим в реки со склонов твердым материалом создают поток наносов, перемещающихся как в толще текущей воды, так и у ее дна, возле которого создается своеобразный подвижный пограничный слой между потоком и горными породами и отложениями на дне. Таким образом, русловые процессы представляют собой совокупность явлений, обусловленных взаимодействием наносонесущих потоков с грунтами, слагающими ложе реки, эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, приводящих к образованию различных форм русла и форм руслового рельефа, их текущим, сезонным, многолетним и вековым изменением, происходящим в пространстве и времени, во взаимосвязи с определяющими факторами (Маккавеев, 1955; Маккавеев, Чалов, 1986; Чалов, 2008, 2009). При этом, по существу, взаимодействуют две среды, находящиеся в разном физическом состоянии: с одной стороны, водный поток, от-

[1] Выполнено при поддержке РФФИ (проект 09-05-00221) и программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-790.2008.5).

носящийся к гидросфере, находящийся в постоянном движении и характеризующийся непрерывными изменениями как во времени (водный режим рек), так и в пространстве (по их длине и поперечному сечению); с другой, горные породы и отложения, представляющие собой элемент литосферы, находящийся по отношению к потоку в квазистатичном состоянии, но неоднородный по своим свойствам, что определяет пространственную изменчивость условий воздействия на него потока.

Механизм взаимодействия между потоком с его турбулентной структурой, скоростным полем и циркуляционными течениями и грунтами, слагающими русло реки, приводит к отрыву от дна, перемещению, остановке частиц наносов и «в конечном счете к образованию на земной поверхности особых русловых форм» (Великанов, 1955, с. 237), отражающих гидромеханическую природу русловых процессов. Ее суть наиболее четко сформулировали М.А. Великанов (1958, с.176): «Русло управляет потоком, а поток управляет руслом»; и К.В. Гришанин (1972, с. 151): «Поток ↔ русло, т.е. поток воздействует на русло, а русло оказывает обратное воздействие на поток». Именно в ходе этого взаимодействия возникает поток наносов, который, во-первых, влияет на гидравлические и физические характеристики водного потока и, во-вторых, определяет развитие самого русла.

Однако и взаимодействие потока и русла, и формирование потока наносов, и соответствующие русловые процессы осуществляются в конкретной физико-географической обстановке. Естественные русловые потоки характеризуются определенным водным режимом, зависящим от особенностей климата (в первую очередь, распределения в году осадков и температуры), водоносностью, изменяющейся по длине рек, по сезонам года, в многолетнем плане (чередование маловодных и многоводных лет), и направленной их трансформацией в связи с глобальными изменениями природной среды и климата. В свою очередь, формирование потока наносов, соотношение в нем взвешенной и влекомой составляющих, а также особенности механизма самого взаимодействия потока и русла определяются составом горных пород или отложений (рыхлых, связных пластичных, скальных кристаллических или осадочных и т.д.), слагающих его дно и берега. Условия поступления наносов с водосбора в русла рек зависят от геологического строения, рельефа и почвенно-растительного покрова, а также от особенностей развития эрозии почв, овражной эрозии и других процессов де-

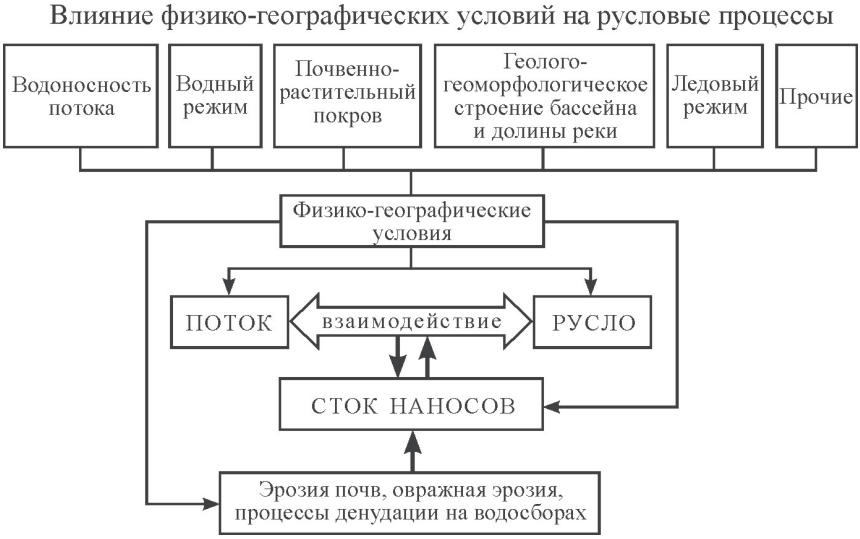


Рис. 1. Схема взаимодействия потока и русла и влияние на него физико-географических условий

нудации, которые связаны с природными характеристиками водосборов (рис. 1). Кроме того, на поток и его воздействие на русло оказывает влияние ледовый режим, промерзание дна и наличие в русле многолетнемерзлых пород, развитие растительности в самом русле и на берегах, ветер, воздействующий на поверхность воды и скорость потока, развевающий обсыхающие в маловодную фазу режима отмели и т.д.

Таким образом, русловые процессы находятся в «непрерывной и теснейшей связи с геологическими, геоморфологическими, климатическими, почвенными и геоботаническими условиями данной территории и входят вместе с ними в состав физико-географической среды» (Великанов, 1955, с. 237). Автор этих строк М.А. Великанов, будучи крупнейшими специалистом по динамике русловых потоков, в начале 50-х годов XX столетия работал в Институте географии АН СССР и, очевидно, пришел к приведенному заключению, основываясь на исследованиях своих коллег-географов. Действительно, в 1953 г. в ИГ АН СССР состоялась защита докторской диссертации Н.И. Маккавеева (1953), «добро» на которую давал М.А. Великанов и которая, по существу, положила начало географическому направлению в изучении русловых процессов. Н.И. Маккавеев (1955, с. 3) писал, что «эрозионно-аккумулятивные и

русловые процессы нельзя рассматривать как цепи явлений, развитие которых происходит изолированно от географической среды, без учета конкретных особенностей, характеризующих ландшафт водосбора. Потоки и их водосборы необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности». И это уже не просто высказывание, а формулировка цели исследования, реализованная в книге «Русло реки и эрозия в ее бассейне» (1955).

Вместе с тем русловые процессы сами являются ландшафтообразующим фактором, формируя русло, формы руслового рельефа, прирусловые отмели и пойму, превращая последние, вследствие вертикальных русловых деформаций (врезания), в надпойменную террасу или обусловливая восстановление режима затопления (при аккумуляции наносов), а также определяя эволюцию ландшафтов на дне речных долин в зависимости от создающихся в результате русловых деформаций пространственных соотношений между потоком, побочнем и осередками и поймой (Сурков, 1999).

Создавая географическое направление в изучении русловых процессов, Н.И. Маккавеев опирался на исследования своих предшественников. Еще М.В. Ломоносов в своем знаменитом труде «О слоях земных» обратил внимание на огромную по масштабам работу рек по перемещению наносов, размыву берегов и дна. Но как самостоятельная отрасль знаний учение о русловых процессах возникло лишь в конце XIX века, в рамках прикладной науки «Водные пути и гидрография» (по современному классификатору), с одной стороны, инженерной гидрологии и гидравлики, с другой, включаясь в последнем случае в динамику русловых потоков как ее составляющая. Первое направление опиралось на обширный фактический материал, получаемый при освоении рек как водных путей сообщения. В.М. Лохтин (1904), говоря о российском опыте изучения судоходных рек, подчеркивал, что «не даром так много плавал русский народ по рекам своим… наблюдая их как что-то прекрасное, живое, осмысленное, вдумывался (подчеркнуто нами. – *Р.Ч.*) в загадочную сложность их явлений», что «есть русская школа речного искусства, школа богатая, достойная изучения и сулящая за это обильные плоды» (цитируется по изданию (Лохтин, 1948, с. 21). Несколько раньше он же (Лохтин, 1897) сформулировал три положения, отражающие зависимость развития речных русел от природных условий: водности реки, уклона местности и размываемости слагающих ложе реки пород. Второе на-

правление основывалось на данных теоретической гидромеханики и экспериментальных исследований, создавая предпосылки для инженерных расчетов при решении практических задач, выявления физических законов взаимодействия потока и русла, механизмов эрозии, транспорта и аккумуляции наносов.

Одновременно многие естествоиспытатели – географы, гидрологи, геологи, геоморфологи и даже почвоведы и геоботаники (луговеды), исследуя реки, их долины, поймы и аллювиальные отложения, описывали русла и на основе своих наблюдений пытались объяснять происходящие в них изменения и трактовать генезис созданных реками форм рельефа. Значение такого подхода к познанию речных русел подчеркивал М.А. Великанов (1948, с. 12): «Синтез физической гидродинамики с ее уточненными экспериментальными методами и теоретическими обобщениями, и геоморфологии, собирающей и анализирующей фактические материалы по формированию речных русел, кладет в настоящее время фундамент для вновь формирующейся науки динамики русловых процессов».

Последующие исследования речных русел подтвердили заключение М.А. Великанова, чему способствовали фундаментальные труды Н.И. Маккавеева (1955, 1971), Н.Е. Кондратьева, А.Н. Ляпина и др. (1959), И.В. Попова (1965), К.В. Гришанина (1972), а затем и следующих поколений исследователей (Н.И. Алексеевского, В.И. Антроповского, Н.Б. Барышникова, К.М. Берковича, А.Ю. Сидорчука, Б.Ф. Снищенко, Р.С. Чалова, А.В. Чернова и др.). При этом, начиная в первую очередь с монографии Н.И. Маккавеева (1955) и под ее влиянием, русловые процессы и русла рек стали рассматриваться как элементы географической среды, развивающиеся «при определенных природных условиях, от сочетания которых зависят… все основные элементы, определяющие интенсивность и особенности руслообразующей работы потока» (1955, с. 3). Поэтому в начале 1990-х годов учению о русловых процессах было предложено собственное название – «русловедение», которое шире, чем предложенное М.А. Великановым определение – «динамика русловых процессов». Оно включает в себя изучение не только самих процессов руслоформирования, но и создаваемые ими формы рельефа, их пространственно-временные соотношения и гидролого-морфологические связи, устанавливающие зависимости между характеристиками русла, стоком воды и наносов.

Как отрасль знаний, русловедение изучает условия и процессы формирования речных русел, разрабатывает приемы и методы их регулирования. Входя в цикл гидрологических дисциплин, оно развивается на стыке гидрологии рек с геоморфологией, гидродинамикой и инженерной геологией. Такое его положение определяется тем, что, во-первых, русловые процессы – это гидрологическое явление, отражающееся в форме русла и руслового рельефа как результатах воздействия стока воды на подстилающую поверхность и движение наносов; во-вторых, активными действующими силами в русловых процессах являются: а) потоки воды с их кинематикой, структурой и изменяющимися во времени и пространстве гидравлическими характеристиками; б) потоки наносов, различающиеся по объему, крупности и форме транспорта; в-третьих, механизм русловых процессов заключается во взаимодействии потоков, транспортирующих наносы, с грунтами, слагающими ложе рек, вследствие чего формируется само русло и происходят его постоянные изменения.

Предметом исследования географического русловедения (рис. 2) являются русла рек разных размеров (от малых до крупнейших), их морфология, динамика, процессы эрозии, транспорта и аккумуляции наносов в них, факторы русловых процессов и специфика их проявлений в различных природных условиях, а также пойма и продольные профили рек как производные русловых процессов и антропогенных воздействий на сами русла и определяющие их развитие факторы. При этом руслоформирующая деятельность рек рассматривается, с одной стороны, как гидромеханическое явление, а, с другой, как географический процесс, обусловленный сочетанием конкретных природных условий.

В.М. Котляков и др. (1995, с. 5), оценивая роль и значение географического направления в гидрологии, пишут: «В рассмотрении объекта исследования как сложно устроенной в пространственном отношении системы заключается принципиальное отличие географического направления в гидрологии от традиционного геофизического, рассматривающего объект как точку, будь это крупный расчетный бассейн, регион или даже земной шар в целом». Это высказывание в полной мере относится к русловым процессам, но в отношении географического русловедения (впрочем как и географического направления в гидрологии) требует добавления: они рассматривают объект (в данном случае – речное русло) во времени, в период постоянных измерений условий его существования (факторов русловых процессов) и постоянных изменений самого объекта (морфологии русла).

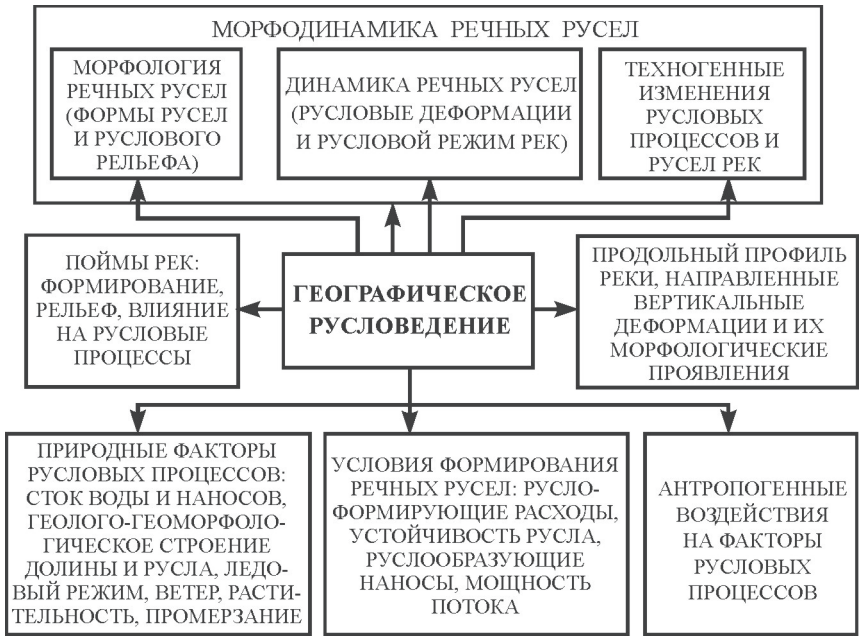


Рис. 2. Структура географического русловедения, взаимосвязи между его разделами

Отсюда краеугольный камень географо-гидрологического подхода к изучению русловых процессов – выявление пространственно-временных закономерностей формирования русел во всей иерархической структуре форм их проявления – от продольного профиля реки до отдельных частиц наносов, сходства и различий рек по морфологии русел и их русловому режиму, зональных особенностей и региональной специфики русловых процессов и природных факторов, их определяющих (Чалов, 1989). При этом нелишне напомнить, что еще полвека назад Н.И. Маккавеев (1955, с. 79) пришел к выводу, что «русловые процессы в такой же мере зональны, как и другие географические процессы. Зональность накладывает свой отпечаток не только на интенсивность русловых процессов, но и на внешние особенности форм речного рельефа».

Пространственные изменения русловых процессов многообразны. Они появляются: 1) через сопряженность эрозии, транспорта и аккумуляции наносов на всех структурных уровнях их развития; 2) по длине речных систем в связи с увеличением (реже – уменьшени-

ем) водности рек и соответственно мощности потоков вниз по течению; 3) по продольному профилю реки вследствие изменения уклонов; 4) в зависимости от рельефа и геологического строения бассейнов рек и их долин; 5) благодаря различиям в водном режиме рек; 6) из-за неодинаковых условий формирования стока наносов, соотношений в нем взвешенной и влекомой составляющих и крупности самих наносов. Производными от сложных соотношений всех этих условий является различие в устойчивости русел, степени развитости форм руслового рельефа, развитии русел тех или иных морфодинамических типов, интенсивности и направленности русловых деформаций и т.д.

Первый вид пространственных изменений русловых процессов связан с ограниченностью участков преимущественно размыва и аккумуляции наносов (рис. 3): на верховом склоне гряды происходит смыв частиц, на низовом (в подвалье) – их аккумуляция; у вогнутых берегов излучин формируются глубокие плесовые лощины (следствие размыва русла), у выпуклых – прирусловые отмели (следствие аккумуляции наносов); в верхнем течении реки преимущественно врезаются, в нижнем – аккумулируют наносы, формируя аллювиально-дельтовые равнины. Конечно, в реальных условиях эти соотношения значительно сложнее, разнообразнее их проявления в зависимости от величины стока наносов, фазы водного режима, геоморфологического строения территории и многих других факторов.

Второй и третий виды определяются снижением уклонов реки от истока вниз по течению при соответствующем увеличении по длине рек их водоносности, мощности, транспортирующей способности потока и стока наносов, что отражается в пространственной изменчивости механизма самих русловых процессов, отражающих взаимодействие потока и русла, кинематики потоков, формы транспорта руслообразующих наносов и морфологического строения русел. Вследствие общей вогнутой формы продольного профиля уклоны вниз по течению уменьшаются. Если река берет начало в горах, пересекая горную систему и затем течет по равнине, то возникает вертикальная поясность в развитии русловых процессов (рис. 4): в верховьях рек, где уклоны наибольшие, развиты порожисто-водопадные русла; их сменяют вниз по течению горные русла с неразвитыми, а затем с развитыми аллювиальными формами (Чалов, 1985). Перед выходом рек из гор и в предгорьях русла рек становятся полугорными, а по мере удаления от гор – равнинными. При этом в горах преобладают врезанные русла, часто встречается скальные. При выходе рек в пред-

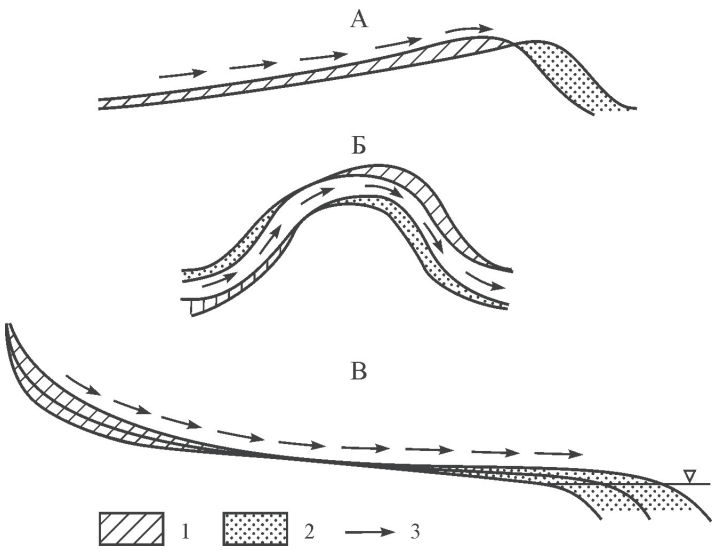


Рис. 3. Пространственная сопряженность эрозии, транспорта и аккумуляции наносов на уровнях движения гряд в русле (А), развития форм русла (Б) и трансформации продольного профиля реки (В):

1 – размыв берегов и дна русла; 2 – аккумуляция наносов в русле; 3 – направление перемещения потоком наносов

горья изменения геолого-геоморфологического строения долины, ее расширение на уровне поймы, сопровождающееся иногда достаточно резким уменьшением уклонов, приводит к формированию сложно разветвленных русел – разбросанных, иногда блуждающих, в которых развитие одних и отмирание других рукавов при их многочисленности происходит во время каждого половодья или паводка.

При ступенчатом продольном профиле, когда по длине реки, особенно в горных странах, имеет место чередование участков с повышенными и небольшими уклонами, может наблюдаться неоднократная смена типа русла в зависимости с соответствующими изменениями кинетичности потока и формы транспорта наносов. На равнинных реках в зависимости от геоморфологического строения территории преимущественно распространены широкопойменные (реки Западной Сибири) или врезанные русла (Енисей), происходит последовательная смена врезанного русла широкопойменными (Ока, Дон, Волга), либо участки того или другого чередуются по длине рек (Лена, Амур).

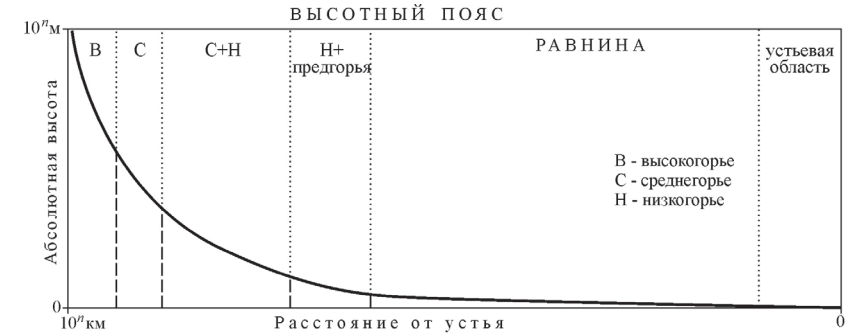


Рис. 4. Изменения по длине реки по ее продольному профилю типов русловых процессов и морфодинамических типов русел

С увеличением вниз по течению водоносности равнинных рек по их длине происходит последовательная смена преимущественно извилистых (меандрирующих) русел малых и средних рек разветвленными руслами больших и крупнейших рек; в устьях рек формируется дельтовые разветвления. На меандрирующих реках с ростом водоносности и соответственно морфометрических характеристик русел (ширины $b_р$, глубины h и их соотношения $h/b_р$) наблюдается закономерное изменение характерных параметров свободных излучин π, шага L, стрелы прогиба $h_м$, радиуса кривизны r, длины l и ширины русел в вершине $B_м$), поскольку $\pi=f(Q)$. Лишь на крупнейших реках (со среднегодовым расходом воды более 2000 м^3/с) с меандрирующим руслом параметры излучин остаются относительно постоянными по их длине, несмотря на увеличение вниз по течению их водоносности (нижний Иртыш, средний Амур).

Изменение параметров излучин по длине рек происходит на фоне смены преобладающей формы свободных излучин (Чалов и др., 2004). При общей тенденции к увеличению размеров излучин с ростом водоносности только радиус кривизны r, шаг L и ширина русла в вершине излучины $B_м$ достаточно четко подчиняются этой закономерности. Значения остальных параметров могут уменьшаться на отдельных участках, после чего вновь происходит их увеличение. Причина таких колебаний чаще всего заключается в том, что на малых реках обычно

преобладают петлеобразные и крутые сегментные излучины, в среднем течении рек – развитые сегментные, а затем – сегментные пологие излучины. Это проявляется в изменении безразмерного показателя – степени развитости излучин *l*/*L*: при снижении среднего значения *l*/*L* сохраняется тенденция к увеличению *r*, *L* и $B_м$, но уменьшаются характерные значения других параметров. На реках с разветвленно-извилистым руслом, прорванными излучинами, развитием пойменных ответвлений или пойменно-русловыми разветвлениями при прохождении руслоформирующих расходов воды часть водных масс отвлекается в протоки, благодаря чему излучины русла имеют меньшие размеры по сравнению с излучинами рек, у которых не происходит рассредоточение потока.

Русловые разветвления встречаются на средних и тем более на малых реках только в виде самых простых форм – одиночных разветвлений. На больших реках острова образуют практически сплошную цепочку, вследствие чего преобладают сопряженные и параллельно-рукавные разветвления, на больших и крупнейших реках русло становится иногда раздвоенным, разделяясь на два равноценных рукава, проходящих у противоположных бортов долины на протяжении десятков и даже сотен километров. Каждый из этих рукавов характеризуется своим морфодинамическим типом русла. Однако конкретные условия формирования русла могут приводить к более сложным изменениям типов русла по длине рек.

Смена одного типа русла другим по длине рек связана также с увеличениями вниз по течению стока наносов, особенно влекомых (Чалов, Лю Шугуан, 2005). На реках 1–2 порядков при общем малом стоке наносов и маловодности самого водотока преобладают прямолинейные неразветвленные русла. По мере удаления от истока и увеличения стока наносов малые реки начинают меандрировать, образуя все более крупные излучины как следствие сначала образования побочней, а затем накопления наносов у выпуклых берегов излучин (рис. 4). Аналогичная картина наблюдается на реках, вытекающих из озер.

Четвертый вид пространственных изменений связан с геолого-геоморфологическим строением территорий, по которым протекают реки, обусловливающим условия свободного и ограниченного развития русловых деформаций и соответственно широкопойменный или врезанный тип русел (Чалов, 1979). Первый характерен для низменных равнин, сложенных легкоразмываемыми отложениями (лес-

сами, песками, супесями, легкими суглинками), но встречается также во внутригорных котловинах. Вторые возникают при пересечении реками областей, сложенных моренными суглинками, в пределах структурных возвышенностей и плато, где борта и дно речных долин бронируются осадочными скальными или кристаллическими трудноразмываемыми горными породами. Промежуточные помещения занимают адаптированные русла, формирующиеся в относительно узких долинах, у которых ширина поймы $B_п$ больше, чем ширина русла $b_р$, но меньше ее трехкратной величины ($b_р<B_п<3b_р$). Обычно они распространены в переходных зонах, от гор к равнинам, при четковидном строении долин – в их сужениях и т.д. Геолого-геоморфологические условия создают тот фон, на котором развиваются русла рек разных морфодинамических типов, определяя их устойчивость (интенсивность русловых деформаций), состав руслообразующих наносов и, как следствие, степень опасности русловых процессов при любых видах гидротехнического, водохозяйственного освоения рек и приречных территорий, возведении инженерных сооружений и коммуникаций.

Различия в водном режиме реки (они определяют пятый вид пространственных изменений) сказываются в условиях прохождения руслоформирующих расходов воды, продолжительности и внутригодовой разновременности русловых деформаций на разных структурных уровнях проявления русловых процессов, в специфике развития форм русел и форм руслового рельефа и, наконец, в особенностях руслового режима рек. Руслоформирующие расходы воды $Q_ф$ (по Н.И. Маккавееву (1955) – расходы воды, соответствующие в многолетнем плане наиболее существенными русловыми деформациями и наибольшему стоку наносов) обуславливают в зависимости от их приуроченности к той или иной фазе водного режима переформирования на уровне микро- и мезоформ рельефа русла, перекатов (размыв/намыв в половодье или межени), разветвлений и излучин, прорванных излучин и пойменной многорукавности, т.е. дискретность в проявлении русловых процессов в целом (Кондратьев, 1953; Чалов, 2008).

С другой стороны, условия прохождения $Q_ф$ на реках характеризуются зональностью и региональными особенностями, позволяющими проводить районирование территорий (Чалов, 1979; Русловой режим.., 1994). Совместный анализ «эпюр» $Q_ф$ и QI-диаграмм (графического метода, позволяющего определить соотношение водности рек и уклонов, т.е. значение мощности потока, обусловливающее развитие

того или иного типа русла или макроформ руслового рельефа) дает возможность установить тот $Q_ф$, который непосредственно «отвечает» за развитие русловых форм конкретного структурного уровня (Чалов и др., 1998).

Непосредственное влияние водного режима на развитие русла сказывается, например, в особенностях связи параметров излучин (радиусов кривизны, шага) от расхода воды $r=kQ+C$, где k коэффициент, являющийся функцией внутригодовой неравномерности стока: $k = f\left(\frac{Q_{ср}}{Q_{макс}}\right)$ (рис. 5).

При прочих равных условиях этот же показатель водного режима определяет развитие все более сложных разветвлений русел по мере увеличения различий в водности половодья (паводочных периодов) и межени.

Совокупность характерных изменений речных русел во времени под действием водного потока составляет русловой режим рек. Он определяется режимом стока воды и наносов, составом руслообразующих наносов, геолого-геоморфологическими условиями формирования речных русел. Их сочетание обусловливает существование временных разновидностей руслового режима. К ним относятся многолетний русловой режим, характеризующийся изменениями речных русел от года к году в зависимости от водности лет, многоводности или маловодности половодий, меженных периодов и паводков, и сезонный, связанный с деформациями русел в различные фазы водного режима при разных характеристиках водности реки, стока наносов, условий и форм их транспорта. Можно говорить о вековом русловом режиме, связанном с многолетними колебаниями водности и стока наносов рек на протяжении десятилетий, столетий и более продолжительных отрезков времени.

Сезонный режим наиболее ярко проявляется в переформированиях перекатов – макроформ руслового рельефа (намыв/размыв одних и размыв/намыв других в половодье и в межень), специфике развития излучин и разветвлений, обуславливающих изменение морфологии русла в разные фазы водного режима. Происходящие при этом деформации создают условия для накопления наносов в одних частях русла или размыва в других либо представляют собой кратковременно (в пределах фазы водного режима) существующие формы руслового рельефа, возникающие и исчезающие в течение одного гидроло-

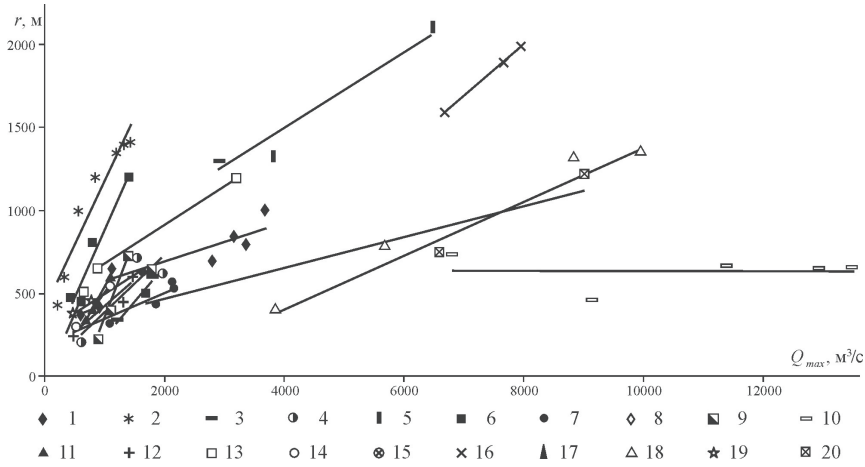


Рис. 5. Зависимость радиусов кривизны свободных излучин от среднемаксимального расхода воды $Q_{макс}$ на реках:

1 – Чулым; 2 – Вычегда; 3 – Кеть; 4 – Припять; 5 – средний Иртыш; 6 – Белая; 7 – Десна; 8 – Тым; 9 – Северный Донец; 10 – Урал; 11 – Васюган; 12 –Днепр; 13 – Неман; 14 – Конда; 15 – Ачен; 16 – Вилюй; 17 – Тромьеган; 18 – Ока; 19 – Сысола; 20 – Яна

гического года. С ними связаны изменения отметок дна русла (местные вертикальные деформации), равные высоте макро- и микроформ руслового рельефа, достигающие на больших реках в течение одного безледного периода (навигации), охватывающего половодья, его спад и межень, от 2–5 м (Северная Двина) до 10–15 м (Лена).

Многолетний русловой режим проявляется в направленном и периодическом изменении форм русла, сказываясь в параметрах излучин, разветвлений, образовании молодой поймы и отражая как эволюцию самих форм (стадийность их развития), так и происходящие естественные и антропогенно обусловленные изменения факторов русловых процессов. Чередование периодов многоводных и маловодных лет сказывается в периодическом усложнении и упрощении структуры русловых разветвлений, вплоть до временной смены их типа: например, на р. Лене в многоводные годы русло с сопряженными разветвлениями трансформируется в параллельно-рукавное, в маловодные – происходит обратный процесс. Вертикальные деформации в естественных условиях за многолетний период, как правило, очень незначительны при направленном их проявлении из-за малых скоростей (миллиметры – доли миллиметров в год) и ими при решении практических задач обычно можно пренебрегать. Однако

при антропогенных изменениях факторов русловых процессов (например, при создании гидроузлов, перехватывающих сток наносов и создающих искусственные базисы эрозии) они имеют значимые величины, сопоставимые лишь с катастрофическими проявлениями в естественных условиях (в России последние зафиксированы только в нижнем течении Терека, где направленная аккумуляция наносов достигает первых сантиметров в год; на р. Хуанхэ она равна 8 см/год. Катастрофические темпы современной естественной глубинной эрозии – 30–35 см/год – отмечены на притоке Нарына – р. Алабуге, которая с XIV века врезалась в дно долины на глубину до 25 м, образовав каньон (Чалов, 2008)). Более существенны изменения отметок дна, связанные с переформированиями излучин и разветвлений, смещением перекатов, побочней, осередков, которые соизмеримы с глубиной самого русла.

Вековой (исторический) и тем более ***геологический русловой режим*** отражает реакцию рек на долговременные колебания климата, водности рек и в целом речного стока (включая сток наносов и других компонентов), тектонические движения. При этом в исторические отрезки времени (века и реже тысячелетия) укладывается полный цикл развития излучин – от возникновения до спрямления, причем иногда за это время происходят изменения водности реки, стока наносов и других природных условий в пределах бассейна реки. На этом временном уровне направленные деформации отражаются в морфологии речных долин: вертикальные – в образовании ступенчатых (при врезании рек) или обвалованных (при аккумуляции наносов) пойм, горизонтальные – в смещении русла параллельно самому себе в сторону одного из берегов, в формировании самих пойм и расширении дна долины. Периодические горизонтальные деформации отражаются в рельефе пойм, в морфологии поверхности которых сохраняются следы блуждания русла по дну долины, которые позволяют восстанавливать благодаря зависимостям «параметр формы – показатель природного фактора (например, водности реки)» палеогидрологическую обстановку времени их формирования, реконструировать ход эволюции форм русла за весь период развития поймы (голоцен) и т.д. (Панин, 2001; Сидорчук и др., 1999; Чалов и др., 2004).

Направленные вертикальные деформации в геологическом масштабе времени приводят к деформациям продольного профиля рек: понижению отметок дна и превращению поймы в надпойменную тер-

расу при врезании, повышению отметок дна, распространению разливов реки на бывшие надпойменные террасы и образованию обвалованного русла при направленной аккумуляции наносов. В историческом масштабе времени врезание рек или аккумуляция наносов проявляется на участках большей или меньшей протяженности и, будучи связанной с долговременными (вековыми) изменениями водности рек, вызывает их периодическую активизацию или снижение интенсивности. В многолетних масштабах времени эволюция форм русла (излучин, разветвлений и т.д.) сопровождается местными изменениями транспортирующей сложности потока вследствие трансформации скоростного поля потока, перераспределения стока воды по рукавам, изменений условий взаимодействия руслового и пойменного потоков. Это приводит либо к местному врезанию русла, либо к накоплению здесь наносов, увеличивая объемы русловых отложений.

Пространственные различия руслового режима рек определяют то, что «потоки с одинаковыми гидравлическими характеристиками могут в различных природных условиях создавать различные русловые формы и, в свою очередь, одинаковые русловые образования могут возникать под влиянием совершенно различных гидравлических процессов» (Маккавеев, 1949, с. 15), т.е. при морфологическом подобии формы русла могут иметь неодинаковый режим переформирований. В результате русла рек одного и того же типа в разных природных условиях отличаются по их русловому режиму, свойственному каждой географо-гидрологической зоне (или району). По этому признаку можно выделять типы (подтипы, виды) русловых режимов, соответствующие зональным, региональным и местным проявлениям русловых процессов, т.е. русловые процессы подчиняются закону географической зональности либо характеризуются региональными и местными особенностями. Зональность руслового режима рек обусловлена зональностью активных факторов русловых процессов – стока воды и наносов. Региональные различия внутри зон связаны с широтными или меридиональными изменениями руслового режима, определяющимися условиями прохождения руслоформирующих расходов воды, появлением новых характерных фаз водного режима, в которых осуществляются русловые деформации, влиянием многолетнемерзлых грунтов, промерзанием или пересыханием рек, а также с распространением равнинных, полугорных и горных рек, их развитием в условиях горного или равнинного рельефа и особенностями сочетаний в за-

висимости от их размеров (малые, средние или большие реки). Этим различиям соответствуют подтипы русловых режимов.

Местные условия в русловом режиме определяются геолого-геоморфологическими условиями формирования русел, обусловливают развитие таких форм проявления русловых процессов и специфических особенностей руслового режима, которые находятся вне связи с зональными характеристиками и являются азональными. Наличие последних позволяет выделять районы, отличающиеся определенной однородностью как зональных, так и азональных черт руслового режима.

Зональные, региональные или местные особенности руслового режима связаны, во-первых, с неодинаковым внутригодовым распределением стока, что приводит к различиям в изменениях во времени гидравлических характеристик потока, и, во-вторых, с неодинаковыми в разных районах условиями поступления в реки наносов с площади водосбора. В результате одинаковые формы русла и руслового рельефа отличаются по своей внутренней структуре, иерархии и сочетаниям между собой на реках, протекающих в разных географических зонах или геоморфологических районах.

Малые и часто средние реки протекают в пределах только одной зоны, тогда как русловой режим больших рек отражает влияние ряда зон. Русловой режим малых рек полностью определяется местными природными условиями, в которых они формируются. В этом отношении большие и крупнейшие реки по русловому режиму являются полизональными. Полизональность определяется трансграничным переносом черт режима, свойственных другим зонам, и их трансформацией под влиянием природных условий данной зоны (или региона). Реки, для которых характерно несоответствие их руслового режима рекам зон, которые они пересекают, являются азональными. Зональные и региональные особенности руслового режима рек наиболее полно проявляются на равнинных реках при преобладании свободных условий развития русловых деформаций.

Сток и форма перемещения наносов как факторы руслового режима рек определяют морфологию русла, вид, направленность и темпы русловых деформаций. Н.И. Маккавеев (1955, с. 137) называл русловые процессы одной «из форм перемещения твердого вещества текущей водой». Этот тезис является аксиоматичным для русловедения и общепринятым, но его реализация ограничивается обычно изучением грядовых форм руслового рельефа и их ди-

намики. Роль стока наносов в морфодинамике русел рек и направленности вертикальных русловых деформаций из-за большой вариабельности соответствующих показателей и отсутствия достоверных сведений о стоке влекомых наносов остается слабо освещенной.

Влекомые наносы и часть (иногда большая) взвешенных являются руслообразующими, которые при прекращении их транспорта преобладают в донных отложениях. Доля взвешенных наносов в составе руслообразующих, как и соотношение стока взвешенных W_R и влекомых W_G в общем стоке наносов W, колеблется в широких пределах, определяясь географическими закономерностями формирования стока наносов, условиями реализации транспортирующей способности потоков $W_{тр}$ и пространственно-временными изменениями их гидравлических характеристик. Они больше при малой крупности наносов (песчано-илистые), что совпадает с увеличением общего стока наносов W с севера на юг, достигающего максимума на реках Юго-Восточной Азии, где источником наносов являются лессы и лессовидные отложения. Благодаря им в стоке наносов доминирует взвешенная составляющая, обеспечивая предельную нагрузку потока наносами ($W_{тр}<W$). Поскольку при этом $V_ф>V_н$ ($V_ф$ – фактическая, $V_н$ – неразмывающая скорости), движение наносов происходит без образования гряд, с образованием на спаде половодья (паводка) сплошных мелководий и превращением русла в вытянутые вдоль рек илисто-мелкопесчаные поля, среди которых меженный поток образует извилины или разбивается на сеть проток. Само русло в этих условиях в бровках поймы сохраняет прямолинейную форму, т.к. обсыхающие в межень скопления наносов не успевают закрепиться растительностью и превратиться в соответствующие фрагменты поймы.

При большей крупности наносов (песчаные, песчано-галечные) и увеличении доли стока влекомых наносов возникает иерархия грядовых форм руслового рельефа. Однако формирование гряд как аккумулятивных образований в русле еще не отражает образование аллювиальных толщ, представляя собой временное прекращение транспорта наносов, который возобновляется по мере смещения гряд. Превращение сезонных отложений в аллювиальную толщу и трансформация самой гряды в форму русла происходит вследствие воздействия гряд на кинематику потока, размывов противоположных обсыхающим частям гряд берегов, появления на их поверхности растительности и прекращения дальнейшего смещения. Чем больше мутность потока, тем ин-

тенсивнее осаждение наилка на пойме и мощнее толща пойменных отложений. В результате извилины динамической оси потока возле побочней трансформируются в излучины русла, а ветви течения вокруг осередков – в разветвления русла, т.е. возникает русло того или иного морфодинамического типа. Условием для такой трансформации грядовых форм перемещения наносов в формы русла является бóльшая устойчивость песчаных и песчано-галечных русел по сравнению с песчано-илистыми. При малом стоке влекомых наносов русло остается прямолинейным. Это характерно для рек первых порядков, еще не получивших достаточного для образования гряд количества наносов. Малые и средние реки в основном меандрируют, характеризуясь при преобладании влекомых наносов сегментными, петлеобразными или прорванными излучинами, при преобладании взвешенных – синусоидальными. Первые развиваются активно, вторые – замедленно, что связано с различной размываемостью песчаных и глинистых отложений. На больших реках чем больше сток наносов и больше доля влекомой составляющей, тем сложнее свойственные им разветвления. Вместе с тем на реках с большим стоком наносов и абсолютным преобладанием в нем взвешенной составляющей разветвления не формируются или встречаются их простые разновидности (рис. 6). При малом стоке наносов, но большой доле влекомой составляющей разветвления являются наиболее распространенным типом русла на больших реках. На меандрирующих реках больший сток влекомых наносов является причиной увеличения доли развитых сегментных излучин и уменьшения доли пологих (Резников, 2007).

Географическая природа русловых процессов создает возможность применения картографического метода их исследований (Чалов, Чернов, 2000), который дает возможность не только наглядно показать результаты русловых исследований в виде мелкомасштабных научно-справочных карт (общих, экологических, опасных явлений и др.), но и устанавливать пространственные закономерности их проявлений. Он реализован в составлении и публикации соответствующих карт русловых процессов на реках бывшего СССР (м-б 1:4 000 000), Европейской части России и сопредельных стран (м-б 1:2 000 000) и Алтайского региона – Алтайского края и Республики Алтай (м-б 1:1 000 000), в Национальном атласе России и Атласе Ханты-Мансийского автономного округа. Крупно- и среднемасштабные карты русловых процессов являются важным элементом руслового анализа, выполняемого

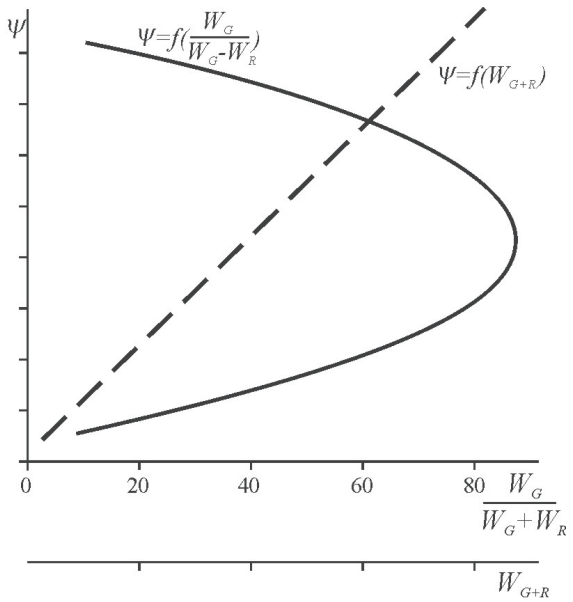


Рис. 6. Зависимость интегрального показателя морфологии русла и интенсивности переформирований ψ от величины общего стока наносов W_{G+R} и доли стока влекомых наносов $\frac{W_G}{W_G + W_R}$

для конкретных рек или их участков, позволяющих получить наглядное представление об условиях руслоформирования и их отражении и формах проявления русловых процессов. Это, в свою очередь, обеспечивает их учет при водохозяйственном, строительном и гидротехническом проектировании. Пространственный (географический) анализ форм проявления русловых процессов – скоростей размыва и протяженности зон размыва берегов, периодичности горизонтальных русловых деформаций, скоростей смещения крупных форм руслового рельефа (перекатов, побочней), направленности и темпов вертикальных деформаций, в том числе антропогенно обусловленных – привел к разработке концепции опасности русловых процессов, составлению карт их опасных проявлений в разных масштабах на реках России и отдельных регионов, обоснованию районирования территории России по условиям и темпам размыва берегов. Вместе с тем это позволило разработать принципы управления русловыми процессами при использовании водных ресурсов, обосновать региональные схемы регулирования русел

в современных экономических условиях для различных отраслей хозяйства при обеспечении экологической безопасности.

Литература

1. *Великанов М.А.* Русловые процессы в освещении классиков гидрологии // Труды Ин-та геогр. АН СССР, вып. 39. Проблемы геоморфологии. М., 1948.
2. *Великанов М.А.* Динамика русловых потоков. Т. 2. Наносы и русло. М.: Гостехиздат, 1955. 324 с.
3. *Великанов М.А.* Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, 1958. 395 с.
4. *Гришанин К.В.* Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
5. *Кондратьев Н.Е.* О дискретности русловых процессов // Проблемы русловых процессов. Л.: Гидрометеоиздат, 1953. С. 42–53.
6. *Кондратьев Н.Е., Ляпин А.Н., Попов И.В., Пиньковский С.И., Федоров Н.Н., Якунин И.И.* Русловой процесс. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. 372 с.
7. *Котляков В.М., Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М.* Географо-гидрологические исследования // Географические направления в гидрологии. М.: ИГ РАН – МЦ РГО, 1995. С. 5–10.
8. *Лохтин В.М.* О механизме речного русла. СПб. 1897 (Вопросы гидротехники свободных рек). М.: Речиздат, 1948. С. 23–59).
9. *Лохтин В.М.* Несколько слов по поводу русского речного дела // Вопросы путей сообщения. 1904. №45 (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат, 1948. С. 20–23).
10. *Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирования прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.
11. *Маккавеев Н.И.* Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки: Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. М.: ИГ АН СССР, 1953. 21 с.
12. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 348 с.
13. *Маккавеев Н.И.* Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
14. *Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
15. *Панин А.В.* К истории русловых деформаций на реках центра ЕТР в голоцене: Результаты исследований в среднем течении р. Протвы // Труды Акад. проблем водохоз. наук. Вып. 7. 2001.
16. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство (гидролого-морфологическая теория руслового процесса и ее

применение). Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 328 с.
17. *Резников П.Н.* Влияние стока наносов на морфодинамику речных русел // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2007. №5. С. 27–32.
18. Русловой режим рек Северной Евразии. М.: МГУ, 1994. 336 с.
19. *Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Панин А.В., Чернов А.В.* Палеогидрология нижней Вычегды в позднеледниковье и голоцене // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1999. №5.
20. *Сурков В.В.* Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Географ. ф-т МГУ, 1999. 255 с.
21. *Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
22. *Чалов Р.С.* Вертикальная зональность в развитии русловых процессов на горных реках // Изучение природных условий и его прикладные аспекты. М.: Наука, 1985. С. 70–76.
23. *Чалов Р.С.* Зональные особенности и региональная специфика русловых процессов и их факторы // Гидрофизические процессы в реках, водохранилищах и окраинных морях. М.: Наука, 1989. С. 5–18.
24. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условня формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
25. *Чалов Р.С.* Пространственно-временные закономерности соотношений и изменчивости проявлений русловых процессов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. №6. С.
26. *Чалов Р.С., Лю Шугуан.* Сток наносов и его составляющие как фактор русловых процессов (на примере рек России и Китая) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 15. М.: МГУ, 2005. С. 253–282.
27. *Чалов Р.С., Чернов А.В.* Мелкомасштабное картографирование русловых процессов // Геодезия и картография. 2000. №3. С. 35–43.
28. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 271 с.
29. *Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В.* Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.

Chalov R.S.

GEOGRAPHICAL DIRECTION IN THE STUDY OF CHANNEL PROCESSES (THE BASIS OF GEOGRAPHICAL FLUVIAL PROCESSES SCIENCE)

In the article the history of geographical fluvial processes science is discussed, the subject of investigation is validated, its connection with river hydrology and water stream dynamics, geomorphology and engineering geology. We determined spatial (geographical) consequences of fluvial processes changes which appear due to conjugation of erosion, transport and accumulation of sediment on each structural level of their development; along river systems; along longitudinal profile of river; according to the relief and geological structure; due to distinction in water flow regime; because of different conditions of sediment flow formation. Correlations of spatial and temporal changes are realized. The capability of cartographic method in the study of channel processes geography is determined.

В.Н. Федоров, И.И. Терентьев

ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ СТРУКТУРЫ ВОДНОГО БАЛАНСА И СТОКА И ОЦЕНКИ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК С УГОДИЙ МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ И РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Рассматриваются возможности использования данных водно-балансовых станций для решения вопросов ландшафтной дифференциации речного стока. Приводится результат такой дифференциации для бассейна верхней Волги.

Интегральный характер речного стока в замыкающем створе требует привлечения информации о бассейновых, пространственно организованных, механизмах его формирования. Для бассейнов любых размеров существенна роль различий составляющих водного баланса в отдельных частях территории. Поэтому на первом этапе основной проблемой является выделение однородных участков бассейна, для которых локально учитывается комплекс факторов формирования склонового и подземного стока. Такая дифференциация предпочтительна в рамках ландшафтно-гидрологического (ЛГ) подхода, когда в качестве элементарных единиц стокообразования выступают не водосборы, а геосистемы различного ранга, отображенные на ландшафтных картах. Согласование ландшафтной и геоботанической карт показало (Исаченко, 1991), что они по своему содержанию достаточно близки. Поэтому в ряде случаев возможно задание в качестве расчетных участков частных водосборов, отличающихся по характеру растительности, типам почвогрунтов и уклонам. Предлагается в качестве однородных ландшафтных единиц использовать ареалы сочетаний растительных и почвенных условий на водосборах, которые непосредственно индицируют различные механизмы стокоформирования. Для их бассейновой совокупности, зная структуру ландшафтов различных (в т.ч. неизученных) водосборов, можно вычислить сток в интересующем нас створе путем сложения объемов стока с однородных участков.

Все сложности такого подхода заключаются в том, что массовые данные по стоку однородных участков отсутствуют. Склоновый сток, измеряемый на стоковых и водно-балансовых площадках, охватыва-

ет ограниченный список ландшафтных комплексов (ЛК), а его величины не учитывают подземную составляющую, фиксируемую в русловой сети. Поэтому были единичные попытки (Субботин, 1978; Субботин, Дыгало, 1986; Субботин и др., 1973; Маркус, Нежевенко, 1972) использовать линейную схему формирования бассейнового стока на основе «весового» учета экспериментальных данных, полученных для однородных ЛК. Эти работы в гидрологической литературе развития не получили вследствие свертывания экспериментальных исследований. Остался путь поиска простых модельных решений, использующих и обобщающих наблюдения и ландшафтные разработки прошлых лет.

В качестве аргументов модели (Федоров, 2007) выступают площади бассейнов, занятые однородными ЛК:

$$Q_j = \sum_i q_i f_j \ ,$$

где *j* - индекс речного бассейна; Q_j - сток с него, л/с; q_i - модуль стока с i-го ЛК, л/с км^2; *fij* - площади j-го бассейна, занятые i-м ландшафтным комплексом, км^2. Из анализа размерности следует требование о линейности системы, так как коэффициенты уравнения при нелинейной аппроксимации физически неинтерпретируемы.

Важным элементом ЛГ-подхода является оценка стока с различных сельхозугодий и нарушенных территорий. При этом традиционно используются данные наблюдений на стоковых площадках (Коронкевич, 1990) в годы с различным увлажнением и состоянием подстилающей поверхности. Установлено, что зависимость коэффициентов весеннего стока от характера угодья заключается в их уменьшении по цепочке «озимь – стерня – многолетние травы – залежь – зябь – лес» в диапазоне 0,8–0,2 (суглинистые почвы), 0,4–0,05 (супесчаные) и 0,2–0,0 (песчаные почвы) (Водный баланс СССР.., 1969).

В то же время наблюдается большое различие стоковых характеристик в один и тот же год (сезон) на площадках с однородным типом обработки и состояния их поверхности. Ряд таких случаев обсуждается в данном разделе. Поэтому использование этих данных, как для региональных обобщений, так и для верификации модельных решений, затруднено. Это связано с тем, что при наблюдениях учитывается в основном поверхностная составляющая стока, реализация которой происходит различным путем, в том числе по микроручейной сети. В соответствии со схемой дифференциации склонового стока часть стока верховодки и подземная составляющая, которая может дости-

гать 20–40%, не фиксируется на гидрометрических сооружениях, замыкающих стоковые площадки и экспериментальные водосборы.

При реализации пространственных закономерностей стокоформирования на уровне ЛК и механизмов поступления воды в русловую сеть наблюдается большое разнообразие межгодовых внутрибассейновых комбинаций и сочетаний сельхозугодий, что приводит, наряду с условиями снеготаяния, к различиям гидрографов речного стока даже при прочих равных условиях (начальное увлажнение бассейна и глубина эрозионного вреза малых водосборов). Разница речного и склонового стока объясняется также тем, что до 30% речного стока в весенний период формируется в гидрографической сети. Поэтому при ландшафтной дифференциации водосборов необходимо учитывать долю их площади, занятой пойменными лугами и прилегающими к ним склонами долин.

Для водосборов Велико-Анадольской водно-балансовой станции (Шпак, 1968, лог Пасечный и р. Мокрая Волноваха) отмечен недоучет дренируемого подземного стока на 49 мм на логу с меньшим врезом, но с той же ландшафтной структурой (залесенностью). Подобные эффекты, связанные с несовпадением поверхностного и подземного водосборов, отмечены и для Валдайской гидрологической лаборатории на логу Приусадебном и ручье Архиерейском, врез которого в нижней части достигает 6–8 м. Возможен приток грунтовых вод из лога Лесного в лог Центральный, а для лога Усадьевского – в северо-западную часть водосбора, что связано с широким развитием в флювиогляциальных песках мощного и водообильного водоносного горизонта с близким к поверхности положением уровня грунтовых вод. Во всех упомянутых бассейнах область питания пласта песков выходит за пределы поверхностных водоразделов.

Для Придеснянской водно-балансовой станции также указано (Ещенко, 1966), что подземный водосбор р. Головесня в два раза больше поверхностного. В результате водно-балансовых расчетов Н.Д. Ещенко установил, что приход подземных вод в ее бассейн составляет 36 мм, т.е. половину грунтового стока (71 мм). Для других малых речных бассейнов с площадями от 14 га (Лесной) до 121 га (Петрушино) характерен отток подземных вод, достигающий 24 мм (лог Опытный). Все эти факторы говорят о сложности модельных расчетов стока с ЛК, а данные о бассейновом стоке могут быть исправлены только специалистом, работающим над материалом систематически и только после его водно-балансовой оценки. Иначе данные наблюдений следует забраковать для

большинства малых равнинных водосборов с нечетко выраженными водоразделами, неглубоким залеганием подземных вод и пестрым составом четвертичных отложений. При этом стоковые площадки также могут быть нерепрезентативными, особенно в отношении грунтового стока, величины которого составляют 25–30 мм, тогда как поверхностный сток 54–63 мм (Валдайская гидрологическая лаборатория, 1960 г., водно-балансовые площадки №1 – пашня, и №2 – луг).

Так как прямые наблюдения за стоком с характерных ЛК отсутствуют, данные стоковых площадок все же единственная информация и ее использование - необходимый этап анализа модельных решений.

При анализе крупномасштабных особенностей стокоформирования на водосборах, входящих в состав стоковых станций, учитывается следующее:

– в рамках предположения о линейном характере бассейновой системы необходимо оценить сезонное и многолетнее разнообразие характеристик водоотдачи с различных, наиболее представительных, ландшафтных комплексов территории;

– основное внимание уделяется сельскохозяйственным угодьям и урбанизированным территориям, что связано с различным для них характером снегозадержания и соответственно промерзания почв и весенней инфильтрации, водопотери на микрорельефе и, в конечном итоге, величиной стока. Различия имеются и для условий формирования летне-осеннего стока;

– должны дифференцироваться естественные угодья: леса различного породного состава и местоположения, луга долин и склонов и т.п.

– оцениваются величины стока с различных угодий в годы и сезоны, отличающиеся по условиям тепло- и влагообеспеченности, а реальность модельных решений, на первом этапе анализа, подтверждается материалами наблюдений на стоковых площадках;

– обязателен этап пространственного обобщения полученных стоковых характеристик, анализ контрастности стоковых полей и закономерностей сопряжения и упорядоченности ЛГ - ареалов;

– выявляются различия стока с однотипных угодий, расположенных в различных природных зонах. Последнее связано с широким климатическим диапазоном существования ЛК и разнообразием процессов трансформации осадков в сток.

В этой связи рассмотрим материалы наблюдений на малых речных бассейнах, входящих в системы изучения стока и процессов его

формирования в различных природных условиях по программе работ на ряде водно-балансовых (ВБС) и стоковых (СС) станций. Это водотоки разных размеров (реки, ручьи, лога) с различной степенью дренирования подземных вод, увлажнением и, соответственно, спектром ландшафтных комплексов (угодий).

Материалы наблюдений на основных водно-балансовых и стоковых станциях характерны для следующих природных условий: Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория – центральная часть лесной зоны, дерново-подзолистые супесчаные почвы; Подмосковная ВБС – южная часть лесной зоны, дерново-подзолистые суглинистые почвы; Истринский опорный пункт с близкими к Подмосковной станции природными характеристиками; Нижнедевицкая СС – лесостепная зона, черноземы тяжелосуглинистые; Гидрометообсерватория (ГМО) «Каменная степь» – граница лесостепной и степной зон, чернозем обыкновенный.

В ряде случаев при описании угодий использовались традиционные названия агросистем (зябь, озимые и т.п.), которые по необходимости (отсутствие данных и т.п.) группировались по сходству режима формирования склонового (в основном весеннего) стока. Это агросистемы с уплотненной почвой, включающие в разных сочетаниях и в отдельности многолетние травы, озимые, пастбища, залежь и стерню.

Оценка гидрологических функций ЛК включает следующие этапы:

– описание мозаики угодий на водосборе, характерной для конкретного гидрологического сезона;

– получение модельных решений для величин стока с угодий, отвечающих условию полноты описания бассейнового стока;

– проверка решений путем сравнения рассчитанных и наблюденных на стоковых площадках величин стока;

– оценка точности расчетов в многолетнем разрезе, установление диапазонов водоотдачи с территории одного ЛК и их связь со стоком с других ЛК.

В ряде случаев анализируется суточный ход стока с различных угодий, что позволяет раскрыть временные закономерности формирования водоотдачи с контрастных ЛК. Оценки изменений стока при хозяйственной деятельности на водосборах лежат в рамках представлений о гидрологической роли пашни и лесов различного породного состава в различные периоды увлажнения.

В качестве примера приводятся материалы ЛГ-анализа для указанных выше станций.

Подмосковная водно-балансовая станция

Бассейн р. Медвенки, в пределах которого расположена эта станция, находится в подзоне смешанных лесов, развитых на дерново-подзолистых и подзолистых почвах. Очень широко распространены покровные суглинки, в северной части бассейна встречаются надморенные отложения флювиогляциальных песков. Условия стокоформирования также определяются преобладанием в лесах мелколиственных пород и посадок сосны. Еловые и дубовые леса занимают незначительные площади, хотя являются для Нечерноземного центра Русской равнины коренными. Распаханность бассейнов малых рек достигает 80% (Лызлово), площади, занятые населенными пунктами, – 38% (лог Полевой).

Цикл ландшафтно-гидрологических исследований, проведенный А.И. Субботиным и В.С. Дыгало (1991) на водосборах Подмосковной ВБС, является пионерным, но в значительной мере отражает сложности ЛГ-анализа, особенно в связи с заданием ландшафтной структуры водосборов. Для выделенных пяти ландшафтных комплексов – смешанный лес на суглинках (I) и супесях (II), безлесные участки на суглинках (III) и супесях (IV) и долинные луговые комплексы (V) – не учтены такие важные гидрологические элементы, как распаханность и наличие населенных пунктов.

Дополним классификацию ландшафтов А.И. Субботина, введя ландшафтный комплекс «пашня на суглинках» и «населенные пункты», площадь которых достигает на частных водосборах Подмосковной ВБС 80% и 34% соответственно. В табл. 1 приведены решения, которые показывают, что половодье 1962 г. характеризуется близкими слоями стока с полевых и лесных угодий на суглинистых почвах (40–49 мм) и высоким стоком с территорий населенных пунктов, что обусловлено повышенным коэффициентом стока. Это характерно и для других лет, когда коэффициент стока достигает величин даже больше единицы. Единичный паводок летом 1962 г. подтверждает, что сток с урбанизированных территорий в 3–4 раза выше, чем с других, даже нарушенных сельскохозяйственных угодий.

Другой вариант расчетов (табл. 2) проведен для случая, когда безлесные участки на суглинистых почвах (ландшафт III) были дифференцированы на собственно ландшафт III (без учета его распаханности) и населенные пункты (НП).

Таблица 1. Сток за половодье и паводок с угодий Подмосковной ВБС (1962 г.)

Характеристики	Угодья				
	Пашня на суглинках	Луг на суглинках	Лес на суглинках	Лес и луг на супесях	Населенные пункты
Сток за половодье, мм	49,4	47,3	40,0	26,8	162,0
Коэф. стока ($К_{ст}$)	0,47	0,25	0,23	0,125	0,87
Сток за паводок, мм	0,0	4,9	3,8	0,0	16,8
Общий поверхностный сток, мм	0,0	2,4	1,9	0,0	8,4

С ландшафтов на супесчаных почвах поверхностный сток не наблюдается, что подтверждается данными А.И. Субботина и В.С. Дыгало (1991). Для лога Лызлово характерно, кроме наличия залесенных участков (10% площади), почти равное распределение площадей супесчаных и суглинистых почв (порядка 45%). Поэтому наблюдаемые на логу 64 мм являются стоком с участков безлесных суглинистых почв (124мм×0,47 = 58мм) и небольшого (2–3 мм) стока с лесных участков. Сток с гидрографической сети можно оценить в 30 мм.

При оценке стокоформирующей роли различных природных и техногенных комплексов Подмосковной ВБС (табл. 3) в ландшафтной структуре водосборов учтены типы сельскохозяйственных (озимь, зябь, многолетние травы) и лесных угодий (лиственный лес в основном на супесчаных почвах и типичные хвойно-широколиственные леса на суглинках). Приведены их площади (в %), что позволяет проследить, как формируется сток частных водосборов с учетом слоев и коэффициентов стока с различных по гидрологическим функциям типов подстилающей поверх-

Таблица 2. Другой вариант расчетов для Подмосковной станции

Ландшафты	I	II	III	IV	V	НП
Сток, мм (по А.И. Субботину)	28	0	91	64*	159**	–
Рассчитанный сток, мм	30	4	124	0	30	90

* Принят по логу Лызлово.

** Взят из условия $К_{ст}$= 0,9.

Таблица 3. Площади угодий (%) и сток с них (мм за период половодья) на Подмосковной ВБС в 1975 г.

Водосборы	Угодья							Сток половодья	
					Лес				
	озимые	зябь	многолетние травы	луг	лиственный	хвойно-широколиственный	населенные пункты	слой, мм	коэффициент
Медвенка – Лапино	32	1	7	9	0	17	34	55	0,55
Медвенка выше устья Закзы	24,6	1,6	14,8	11	0	26	22	44	0,42
Лызлово	45,6	0	34,4	4	2	8	6	5	0,04
Кулибин	11,2	0	8,8	2	0	71	7	11	0,09
Прогоны	0	15	29	6	42	0	8	16	0,14
Полевой	0	0	56	0	0	0	38	14	0,14
Лесной	0	0	0	0	100	0	0	4	0,04
Слой стока	38	1	5	30	10,7	6,5	128		
Коэффициент стока	0,36	0,010	0,052	0,30	0,010	0,037	1,28		

ности. В период половодья 1975 г. преобладающим был сток с территорий населенных пунктов, что скорее связано с увеличившимся техногенным водоотведением, а не с особенностями стока с территорий с уплотненными почвами, в т.ч. занятых сельхозкультурами. Так сток с луговых ландшафтных комплексов составил 30 мм ($К_{ст}$=0,30), а для озимых – 38 мм.

Учитывая сложившиеся представления и целевую функцию исследований, были проведены расчеты по модели за годы с различными снегозапасами и получены характеристики стока для сельскохозяйственных (озимь, зябь, многолетние травы), лесных (лиственные и хвойно-широколиственные) угодий, лугов и территорий населенных пунктов (табл. 4). Следует отметить широкий диапазон слоев и коэффициентов стока ($К_{ст}$) с однотипных угодий в различные годы. Так $К_{ст}$ для озимых меняется от 0,07 до 0,61, для зяби – 0,01–0,70 и многолетних трав – 0,11–0,87. При этом запас воды в снеге лежит в диапазоне 100–200 мм. За рассматриваемый период средние слои и $К_{ст}$ для них в общем близки (60–80 мм и 0,34–0,47). Наиболее контрастны условия стока с лесных и урбанизированных территорий.

Мелколиственные леса, приуроченные к наиболее возвышенным и дренируемым водораздельным участкам, во всех вариантах расчетов дают больший сток, чем хвойно-широколиственные (37 мм и 9 мм соответственно), по местоположению в рельефе занимающие менее возвышенные водоразделы. Межгодовая изменчивость коэффициентов стока лиственных лесов менее значительна (0,11–0,32), чем для полевых угодий. Определяющую роль в формировании речного стока играют урбанизированные территории.

Для озимых и многолетних трав сток половодья (1985 г.) реализуется в первую декаду снеготаяния (табл. 4), а в дальнейшем для них возможны потери стока на пополнение почвенных влагозапасов, что снижает общее поступление воды в русловую сеть в период, когда начинается активная водоотдача с лесных угодий, лугов и зяби.

По нашим данным, весенний сток с сельскохозяйственных и луговых угодий достаточно однороден. Пашни в среднем дают 60–80 мм, а придолинные луга – 60 мм. В ряде случаев отмечается хорошее соответствие расчетных и натурных данных. Во многом это связано с учетом на стоковых площадках (СП) почвенного стока, который в лесных геосистемах составляет до 75% от полного (1975 г.) и превышает поверхностный сток за период снеготаяния.

Таким образом, расчеты для Подмосковной ВБС дают основания для успешного использования материалов СП для оценки стока с более обширных территорий с аналогичными типами подстилающей поверхности. Возможно, это обстоятельство существенно для лугов и лиственных лесов и менее отчетливо проявилось для территорий, занятых многолетними травами.

В 1985 г. на СП 1 и СП 2 характер формирования стока соответствовал модельной оценке стока с угодий с многолетними травами за первую декаду апреля (табл. 3), а слои стока составили 79 мм (СП 1), 77 мм (СП 2) и 74 мм (расчет). Причем сток с поверхностей с озимыми и травами полностью реализовался в первую декаду, тогда как основная доля стока других угодий сформирована во вторую декаду стокоформирования. Установлено, что сток с территории населенных пунктов – одна из важнейших составляющих бассейнового стока, а его коэффициенты достигают, по нашим расчетам, величин, превышающих единицу (табл. 3). Это скорее связано с увеличившимся водоотведением, а не с особенностями стока с уплотненных поверхностей, причем расчеты прямо указывают, что дополнительные объемы

Таблица 4. Характеристики стока за период половодья с угодий Подмосковной ВБС (в числителе – сток (мм), в знаменателе – и коэффициенты стока)

Годы		Угодья						
						Лес		
		озимь	зябь	многолетние травы	луг	лиственный	хвойно-широколиственный	населенные пункты
1978		100 0,61	17 0,10	18 0,11	32 0,20	17 0,11	1,3 0,01	104 0,64
1979		103 0,51	86 0,41	115 0,73	61 0,36	30 0,17	19 0,09	215 1,38
1980		68 0,44	107 0,70	28 0,22	41 0,27	25 0,16	1 0,01	122 0,82
1981		37 0,36	84 0,53	146 0,87	54 0,35	51 0,31	0 0,00	163 1,12
1982		11 0,07	1,6 0,01	108 0,46	59 0,24	73 0,32	16 0,05	276 1,11
1985		78 0,43	117 0,64	75 0,38	113 0,63	29 0,15	16 0,08	224 1,24
среднее		66 0,40	69 0,40	82 0,47	60 0,34	37 0,20	9 0,04	184 1,05
Апрель 1985 г.	I декада	92,0	1,0	74,0	0,6	0,0	21,6	106,0
	II декада	0,0	96,0	0,0	25,0	20,0	74,0	92,0
	III декада	0,0	56,0	0,0	3,9	6,0	38,0	36,0

воды поступают в реку с этих территорий, а не другим путем. В работах А.И. Субботина при описании ландшафтной структуры бассейна р. Медвенке урбанизированные территории учтены не были, что в современных условиях методически неправильно. Можно предположить, что выявленные соответствия косвенно подтверждают оценки водоотдачи с сельскохозяйственных угодий и территорий населенных пунктов, для которых верифицирующая информация отсутствует.

Валдайская научно-исследовательская гидрологическая лаборатория

Территория ВНИГЛ находится в северной части подзоны смешанных лесов, в области холмисто-моренного ландшафта. Коренные юр-

ские плотные глины повсеместно перекрыты ледниковыми валунными суглинками, разделенными песчаными и супесчаными отложениями. Речные бассейны территории различаются в гидрологическом отношении и характером почвенного покрова, зачастую формирующимся на песках. Положительные формы рельефа заняты слабоподзолистыми почвами, пониженные – подзолисто-глеевыми. Широко распространены низинные и верховые болота. Господствующая лесная порода – ель, а на песчаных, хорошо дренированных почвах и верховых болотах – сосна. На низинных болотах преобладает береза и ива. При расчетах была принята дифференциация угодий, учитывающая их природные особенности – лиственный и хвойный леса, кустарники, заболоченные участки с различным покровом, луга и пашни.

В 1960 г. (табл. 5) основной сток малых рек формировался за счет территорий, занятых лиственным (с участием сосны) и заболоченным лесом. Сток с них в период половодья, как и с сельхозугодий, наибольший и достигает 150–180 мм, что составляет 68% (поля) и 44% (лес) от годового. Хвойный лес характеризуется более высокими регулирующими свойствами и в летне-осенний период 1960 г. определяет водность логов Таежный, Еловый и Сосновый. Основными стокорегулирующими являются территории, занятые лиственными лесами, сток с которых в летний период достигает 100 мм. Для полевых водосборов (луга и сельхозземли) основной сток наблюдается весной. Роль верховых болот в формировании летне-осеннего стока не прослеживается. В зимний период можно отметить высокую гидрологическую роль сельхозземель, залесенных низинных болот и хвойных лесов.

На стоковых площадках с луговым покрытием (СП 1, 2, 5, 6, 11–14) в 1960 г. наблюдался широкий диапазон величин слоя весеннего стока: от 64 мм (СП 2) до 109 мм (СП 3). В то же время на водно-балансовой площадке №2 в период 7.IV – 13.V поверхностный сток составил 54 мм, тогда как грунтовый (водоприемник на глубине 1,87 м) – 232 мм. Последнее связано с тем, что был затронут водообильный водоносный горизонт в песчаных отложениях, который дренируется водотоками. Наша оценка (95 мм) соответствует данным СП 3 и в среднем по территории распространения лугов может быть признана достоверной. Поверхностный весенний сток с уплотненных поверхностей (озимь) составлял 84 мм (СП 8) – 136 мм (СП 3), что ниже наших оценок для многолетних трав (185 мм), но на водно-балансовой площадке №1 (пашня) зафиксирован грунтовый сток 201 мм (глуби-

Таблица 5. Сток с угодий Валдайской НИГЛ (1960 г.)

Характеристики	Угодья						
	луг	лиственный лес	хвойный лес	заболоченный лес и кустарники	болото	огороды	многолетние травы
Годовой сток, мм	130	370	125	340	80	230	280
$К_{ст}$	0,26	0,66	0,19	0,59	0,14	0,45	0,57
Летне-осенний сток, мм	26	104	29	115	0	12	22
$К_{ст}$	0,06	30	0,08	0,37	0,00	0,03	0,07
Сток за половодье, мм	95	140	60	150	50	155	185
$К_{ст}$	0,50	0,72	0,29	0,75	0,27	0,81	0,98

на – 0,65 м). Эти факты говорят, что в условиях ВНИГЛ подземная составляющая стока является определяющей в формировании половодья малых водотоков, что косвенно отразилось в оценках гидрологических характеристик для лесных и полевых угодий. Значительную долю (от 60 до 90%) подземного стока для начальной фазы весеннего половодья и дождевых паводков подтверждают М.Л. Марков и др. (2004).

В 1961 г. эти закономерности в общем подтвердились (табл. 5). Наибольший годовой и весенний сток наблюдался с пашни, занятой многолетними травами и огородными культурами, и лесных угодий (разделение на лиственный и хвойный лес не проведено). При общем более низком стоке, чем с плакорных угодий (как и в 1960 г.), заболоченные леса и кустарники превышают по водоотдаче болота и сырые луга, что подтверждает плохую дренированность последних. Рассчитанный сток с лесных угодий (табл. 6) хорошо соответствует наблюдениям на водно-балансовой площадке №4 в январе – августе, после чего ее данные более близки к оценкам для заболоченного леса. Высокий сток с территории заболоченных лесов говорит о реальной возможности их дренирования во все фазы стока, что приближает их гидрологический режим к лиственным лесам.

Отметим, что имеются значительные расхождения модельных оценок стока за конкретные месяцы и прямых наблюдений на водно-

Таблица 6. Сезонный сток (мм) с ландшафтных комплексов Валдайской НИГЛ (1961 г.)

Месяц	ЛК							
	Пашня	Луг	Лес	Заболоченные участки				ВБП 4, лес
				Кустарник	Луг	Лес	Болото	
I	21,0	9,8	12,5	2,3	0,7	5,1	1,4	9,6
II	7,1	3,4	5,5	0,9	0,3	2,2	0,5	0,6
III	83,6	37,5	16,2	7,1	2,6	7,4	5,6	20,0
IV	143,0	68,0	92,0	16,0	5,1	37,4	9,3	119,0
V	48,0	23,6	43,7	6,1	1,8	17,4	3,1	47,4
VI	5,5	2,5	1,1	0,5	0,2	0,5	0,4	1,1
VII	4,9	3,0	13,7	1,2	0,3	5,3	0,3	8,2
VIII	42,0	21,0	45,0	5,8	1,7	17,9	2,7	54,0
IX	20,3	9,8	14,2	2,3	0,7	5,7	1,3	5,0
X	5,3	2,6	4,0	0,6	0,2	1,6	0,3	0,2
XI	13,2	6,2	6,3	1,3	0,5	2,6	0,9	1,8
XII	13,8	6,5	8,7	1,5	0,5	3,5	0,9	4,0
Среднегодовой сток	403,0	192,0	264,0	45,0	14,5	107,0	26,0	271,0

балансовых площадках (ВБП). Особенно это проявилось для ВБП 2 (луг) и ВБП 1 (пашня), для которых сток за апрель 1961 г. достигает 300 мм, что в данный год совершенно нереально, т.к. максимальные снегозапасы были порядка 100 мм, а жидкие осадки – 50 мм.

Были проведены водно-балансовые расчеты по материалам наблюдений на ВБ площадках (табл. 7). При этом определены величины расчетной водоотдачи, которые должны формироваться при реальных соотношениях приходной и расходной частей водного баланса угодий. Во всех случаях, при учете изменений влагозапасов в 1 м почвенного слоя, они близки к нашим модельным оценкам.

Для хвойного леса (ВБП 4) все варианты гидрологических оценок (расчетная водоотдача, наблюденный сток и модельные решения для периода март–июнь 1961 г.) близки (табл. 7), что говорит о верности предпосылок, заставивших усомниться в данных прямых наблюдений, и подтверждает достоверность модельных расчетов. Распространять данные СП и ВБП Валдайской НИГЛ на территорию подзоны смешанных лесов без учета подземной составляющей речного стока, аномально большой вследствие распространения песчаных отложений и межбассейновых перетоков, следует с большой осторожностью.

Таблица 7. Водный баланс угодий Валдайской НИГЛ (по материалам водно-балансовых площадок, 1961 г., мм)

Характеристики		Угодья		
		луг, ВБП 2	хвойный лес, ВБП 4	пашня, ВБП 1
Осадки	март	52	84	66
	апрель	49	51	51
	май	91	97	93
	июнь	74	62	54
Изменение снегозапасов	март	9	29	–12
	апрель	–102	–102	–98
	май	–	–	–
	июнь	–	–	–
Испарение	март	15	21	13
	апрель	68	58	55
	май	81	85	85
	июнь	84	116	52
Изменение запасов в почвогрунтах	март	–8	10	–12
	апрель	–12	-10	–32
	май	–14	–43	–37
	июнь	–12	–58	–6
Расчетная водоотдача	март	36	24	77
	апрель	95	106	126
	май	24	55	45
	июнь	2	4	8
Модельные решения	март	38	16	84
	апрель	68	92	143
	май	24	44	48
	июнь	2,5	1	6
Наблюденный сток	март	43	20	35
	апрель	260	119	296
	май	111	47	60
	июнь	27	1	9

Нижнедевицкая водно-балансовая станция

Станция расположена в южной части лесостепной зоны в верхней части водосбора р. Девицы. Рельеф – волнистая равнина, изрезанная глубокими долинами водотоков, оврагами и балками. Отложения представлены песчаными ледниковыми глинами и суглинками. Подстилающая ледниковые отложения меловая толща сильно закарстована.

При анализе гидрологических различий стока водосборов рассмотрены варианты описания их ландшафтной структуры, учитывающие как положение угодий на элементах рельефа, так и типы землепользования на пахотных землях. Последнее предпочтительно, т.к. позволяет выделить антропогенную составляющую при изменениях речного стока, но, с другой стороны, в условиях значительной расчлененности рельефа различия стока с открытых крутых склонов и залесенных плакоров, занимающих значительные площади, вносит существенную составляющую в вариации внутригодового и многолетнего стока. Почвы территории Нижнедевицкой ВБС в основном соответствуют типам рельефа, и их гидрологическая роль этим косвенно учитывается.

Для территории характерны контрасты стока логов. Различия стока логов Медвежий и Долгий (51 мм и 21 мм соответственно) с примерно одинаковой лесистостью объясняется тем, что они имеют разную площадь участков с высокой инфильтрационной способностью грунтов (Шпак, 1968), которые в принятой нами системе индицирующих сток ландшафтов не учитываются. В конкретные годы резкие различия стока с сельхозугодий (зябь и озимь) позволяют удовлетворительно описать разнообразие стоковых характеристик полевых водосборов (Татьянин, Барский, Барсук и др.).

Ландшафтно-гидрологический анализ изменчивости стока с территории Нижнедевицкой ВБС показал следующее. В период 1961–1966 гг. максимальной водоотдачей характеризуются луговые комплексы (табл. 8), которые в основном приурочены к крутым задернованным склонам. В отдельные годы сток с них достигает 164 мм (1963 г.), а в среднем составляет 80 мм. Коэффициенты стока лежат в диапазоне 0,33–0,98 (в среднем – 0,59).

Сток с сельхозземель значительно варьирует в зависимости от увлажнения, достигая для озимых 123 мм и для зяби 104 мм (1963 г.). В среднем водоотдача в период половодья с озимых выше, чем с зяби.

Таблица 8. Слой (мм) и коэффициенты стока половодья с различных угодий Нижнедевицкой ВБС и стоковых площадок*

Годы	Угодья							
	пашня				лес		луг	
	озимые		зябь					
1961	18,4 / 0,26	16,7 СП 12	7,5 / 0,09	12,9 СП 9	17 / 0,15		22 / 0,34	29 СП 16
1962	17 / 0,17	11 СП 14	8,7 / 0,09	28 СП 15	2 / 0		51 / 0,67	90 СП 16
1963	123 / 0,94	142 СП 11,15	104 / 0,65	105 СП 10	92 / 0,42		164 / 0,98	171 СП 16
1964	94,2 / 0,70	102 СП 10	32 / 0,21	90 СП 9	22,1 / 0,12	14 СП 24	133 / 0,76	180 СП 16
1965	50,6 / 0,50	56,6 СП 11	29,9 / 0,27	52 СП 9	–	0 СП 24	53 / 0,33	62 СП 13
1966	5,4 / 0,07		0 / 0	0,9 СП 21	8 / 0,05	24 СП 24	60 / 0,45	56 СП 15
Среднее	51 / 0,44	66	30 / 0,22	48	24 / 0,12		80 / 0,59	98

* В числителе – рассчитанные слои стока; в знаменателе – $К_{ст.}$ Справа показаны наблюденные на стоковых площадках (СП и их номер) слои стока в конкретном году.

Наблюдается в общем хорошее соответствие рассчитанных величин и стока, зафиксированного на СП с аналогичными типами подстилающей поверхности (табл. 7). Это отчетливо видно в экстремальный по стоку 1963 г. и в аномальный 1961 г., когда до середины января почва была талая.

Наиболее надежно верифицируются расчеты водоотдачи с озимых и лугов; несколько хуже для зяби (1964 и 1965 гг.) и леса (1966 г.). Даже для стоковых площадок с одинаковым типом подстилающей поверхности или характером ее обработки слои и коэффициенты весеннего стока могут различаться на порядок. Например, в 1966 г. на СП 14 и СП 23 с зяблевой пахотой коэффициенты стока составили 0,76 и 0,04 соответственно. На стоковых площадках 1–4 (пар) диапазон слоев стока был 16,4–115 мм (1973 г.), 5,6–77 мм (1972 г.) и только в 1971 г. составил 127–167 мм, что более приемлемо. Объяснить этот факт различиями уклонов склонов или механического состава почв не представляется возможным. Например, в 1966 г. пашня в основном была под зябью, а озимые весной скошены. Трудно ожидать, что при слоях бассейнового стока 4,6–11,3 мм (исключение лог

Таблица 9. Слой и коэффициенты весеннего стока с угодий водосборов в Каменной степи

Год	Характеристика	Угодья			
		зябь	озимь, стерня, залежь	травы	лесные полосы
1968	h, мм	27,0	100	0,0	–53,0
	$К_{ст}$	0,250	0,68	0,000	–
1975	h, мм	1,5	18,2	7,4	1,2
	$К_{ст}$	0,016	0,178	0,073	0,010
1988	h, мм	37,0	51,0	20,0	–73,0
	$К_{ст}$	0,400	0,560	0,29	–

Татьянин – 56 мм), водоотдача с поверхностей, занимающих на водосборах до 65% площади (лог Ивкин, зябь), может достигать величин 56–77 мм (СП 13–15, зябь и озимая пшеница). Такие количества воды просто были обязаны определить бассейновый сток в 30–40 мм.

Наши расчеты подтверждают возможность описания гидрологических различий малых водосборов на основе их ландшафтной дифференциации. Так, аномально высокий сток на л. Татьянин формируется на луговых склоновых поверхностях, которые в 1961–1965 гг. характеризуются максимальной водоотдачей (табл. 8), а в 1963 г. $К_{ст}$ достигал 0,98.

Каменно-степная Гидрометобсерватория

Территория Каменной степи лежит на границе двух географических подзон недостаточного увлажнения – типичной и южной лесостепной. Характерен умеренно расчлененный тип местности с близким залеганием грунтовых вод.

Преобладают обыкновенные черноземы на плато и водоразделах и пологих склонах. Почвообразующая порода – лессовидная карбонатная глина.

В Каменной степи ярко выражена контрастность весеннего стока, особенно для балок, находящихся в оазисе лесных полос. В среднем сток степных балок на 7 мм выше стока облесенных (Мишон, 1988). Расчеты показали, что весенний сток с зяби ниже, чем с полей с уплотненной почвой (табл. 9). Особенно ярко это было выражено в 1968 г., когда в период 23–27 марта с них поступило 70 мм, а с полей с зябью – 10 мм при одинаковых снегозапасах.

Таблица 10. Водоотдача с территории стоковых площадок в Каменной степи (1968 г.)

СП	Площадь угодий, %			Слой стока, мм
	лес	зябь	косимая залежь	
1	9,0	91,0	0,0	32,1
2	0,0	100,0	0,0	35,2
7	0,0	0,0	100,0	80,5
8	16,7	0,0	83,3	57,2
10	10,0	90,0	0,0	30,1
Н, мм	–45	38	79	R=0,99

Расчеты стока половодья в общем подтверждаются наблюдениями на стоковых площадках: 27 мм и 35 мм на СП2 с зябью; 100 мм и 80 мм на СП 7 с косимой залежью. На лесной СП 6 сток на зафиксирован.

В табл. 9 для лесных полос указаны отрицательные величины стока. Этот парадокс объясняется тем, что гидрологическая роль леса в степных и лесостепных районах заключается в задержании влаги и более полном ее использовании для пополнения почвенных влагозапасов. Поэтому «отрицательный сток», по сути, необходимая составляющая водного баланса водосборов, а модель косвенно это учитывает.

В 1988 г. на стоковых площадках (СП 1–3) с зябью стока не наблюдалось, тогда как в решениях он значителен (37 мм). При высоких запасах воды в снеге (до 100 мм) и закономерном ходе водоотдачи с пахотных земель этот факт достаточно противоречив. В начальный период снеготаяния (18–19 марта) 1988 г. максимумы стока реализовались на землях, занятых озимыми и многолетними травами (15 мм и 11 мм соответственно). Для последних суточные слои стока в дальнейшем лежали в диапазоне 0,1–0,6 мм с локальным максимумом 23–25 марта (до 3 мм), а для озимых наблюдалось, после спада 20–21 марта, постепенное нарастание водоотдачи с максимумом 27 марта. Для зяби сток начался позже, достигая хорошо выраженного максимума 25–26 марта.

Весной 1988 г. лесные полосы аккумулировали на своей площади (0,66 км^2) 73 мм влаги (табл. 9), что на площадь балок 6,2 км^2 составляет около 7 мм. Эта величина пополнения влагозапасов почвы соответствует разнице стока степных и облесенных балок (Мишон, 1988, с. 120), что косвенно подтверждает наши расчеты. В 1968 г. в расчете также получены потери стока для лесных полос. Суточный ход стока позволяет выявить структуру потерь: 23–27.III аккумулировано

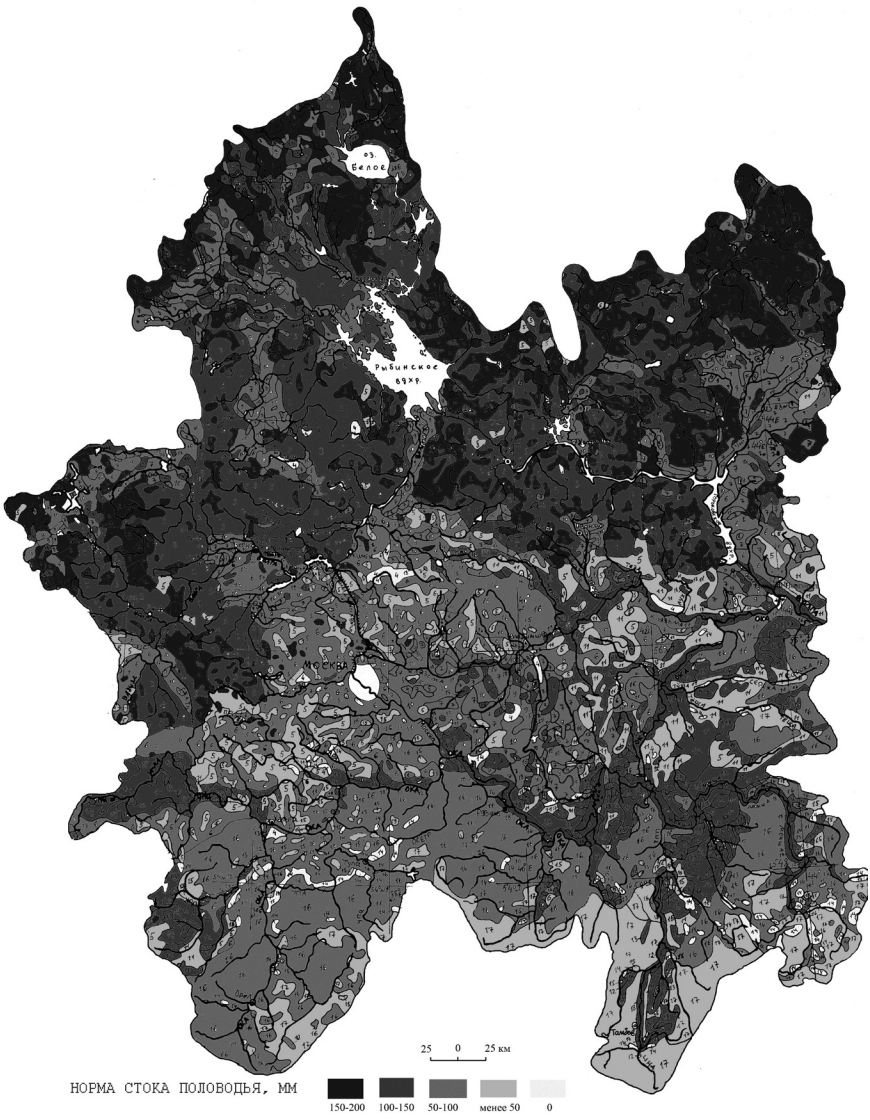


Рис. Средний многолетний сток половодья в основных ландшафтных комплексах бассейнов рек Оки и Верхней Волги, мм

42,5 мм; 28.III – 3.IV наблюдался сток 16,5 мм, а в период 4–10 апреля вновь потери 27 мм, что в сумме дает 53 мм задержанной влаги.

Анализ данных по стоковым площадкам (табл. 10) подтверждает факт накопления влаги, поступающей с полевых участков, в пределах лесополос. Расчеты по независимым материалам (сток балок в табл. 8 и сток с СП) показали сходство полученных оценок стока с различных угодий – для лесных полос 53 и 45 мм (потери), с зяби 27 и 38 мм и полей с уплотненной почвой 100 и 79 мм соответственно. Это также говорит о высокой разрешающей способности линейных моделей водосбора для описания гидрологических контрастов в различных природных условиях формирования стока.

Аналогичные расчеты и их обсуждение проведены для ряда других водно-балансовых станций в различных природных зонах ЕТР. Они подтвердили перспективность ЛГ-подхода при оценке гидрологических свойств и информативности ландшафтной структуры территории в естественном и нарушенном состояниях и дали возможность перейти к ландшафтной индикации речного стока. Более подробно модель такой индикации изложена в работе В.Н. Федорова (2007), а результаты на примере бассейнов верхней Волги и Оки представлены на рисунке. Отметим лишь, что индикационный подход использован для выявления ландшафтной структуры бассейнов через состав растительного покрова (процентное соотношение площадей, занятых основными растительными сообществами). Основные типы растительности, представленные на территории исследуемых водосборов, объединены в 16 групп на основе сходства гидрологических особенностей. Среди них еловые южно-таежные леса, широколиственно-еловые, сосновые, широколиственно-сосновые леса, замещающие их восстановительные серии (березово-осиновые), сельскохозяйственные угодья на месте сведенных лесов, а также степные и болотные сообщества. Использована карта растительности масштаба 1:2 500 000.

Рассмотрим данные, представленные на рисунке. Высокий и достаточно стабильный сток за период половодья в диапазоне 150–200 мм формирует ландшафты с коренными сообществами южно-таежных еловых лесов. Сравнимые величины стока, однако менее стабильного, дают болотные сообщества. Слоем стока половодья 50–100 мм характеризуются восстановительные серии и сельскохозяйственные земли на месте ширколиственно-еловых лесов. Сток половодья менее 50 мм дают степные ландшафты,

широколиственно-сосновые растительные сообщества, восстановительные серии на месте широколиственно-еловых сообществ.

В экстремальный по климатическим характеристикам 1972 г. слой стока половодья с заболоченных и остепненных территорий составил менее 50 мм, в то время как южно-таежные еловые и сосновые леса формировали сток 180–190 мм.

Еще раз подчеркнем, что задача исследований – показать принципиальную возможность получения ранее неизвестной информации о внутрибассейновых особенностях формирования речного стока, выявить при этом гидрологическую роль различных ландшафтных комплексов. Поэтому объяснение полученных решений проведено по «укрупненным» показателям и требуется более тщательный анализ с привлечением данных о конкретных условиях тепло- и влагообеспеченности фаз стока, структурных особенностях строения толщи почвогрунтов, условий дренирования и т.п. Необходимо совершенствование методов описания ландшафтной структуры бассейнов на локальном уровне по единому для природной зоны набору типов подстилающей поверхности и их состояний. Отметим, что традиционное в гидрологии описание полевых угодий в общем соответствует сложности представлений о процессах трансформации влаги в бассейновых системах.

Изменение стока, связанное с хозяйственной деятельностью на водосборах, можно оценить для конкретных, ежегодно меняющихся территориальных сочетаний типов землепользования и условий влагообеспеченности. Зная величины стока с ненарушенных территорий и пахотных земель на их месте, можно восстановить вероятную водность водотоков, соответствующую ландшафтно-гидрологической организации, оптимальной для зональных условий стокоформирования.

Литература

1. Водный баланс СССР и его преобразование. М.: Наука, 1969. 338 с.
2. *Ещенко Н.Д.* Расчет водного баланса малых водосборов при глубоком залегании грунтовых вод // Материалы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов. Валдай, 1966. С. 202–211.
3. *Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 365 с.
4. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.

5. *Марков М.Л., Завилейский С.В., Гуревич Е.В., Марунич С.В.* Пространственная динамика водообмена рек и подземных водоносных горизонтов: Тез. докл. VI гидрол. съезда, секция 5, СПб, 2004. С. 102.
6. *Маркус Я.А., Нежевенко В.Л.* Ландшафтно-гидрологическая карта бассейна ручья Изнань // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 207–216.
7. *Мишон В.М.* Снежные ресурсы и местный сток. Воронеж: Изд. ВГУ, 1988. 192с.
8. *Субботин А.И.* Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в Нечерноземной зоне Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 98 с.
9. *Субботин А.И., Дыгало В.С.* Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне реки Москвы // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 30–38.
10. *Субботин А.И., Дыгало В.С.* Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне реки Москвы. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 264 с.
11. *Субботин А.И., Змиева Е.С., Нежевенко В.Л., Мамай И.И.* Ландшафтно-гидрологический принцип изучения стока // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 175–189.
12. *Федоров В.Н.* Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск – М.: Изд-во Ин-та геогр. им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. 175 с.
13. *Шпак И.С.* Влияние леса на водный баланс водосборов. Киев: Наук. Думка, 1968. 284 с.

V. N. Fedorov, I.I. Terentev

THE LANDSCAPE-HYDROLOGICAL APPROACH IN THE RESEARCH OF THE WATER BALANCE STRUCTURE AND THE RIVER RUNOFF AND IN ESTIMATION OF ITS CHARACTERISTICS FROM SMALL WATERSHED GROUNDS AND RIVER BASINS

Possibilities to use the data from waterbalance stations for the decision of landscape river flow differentiation problems are considered. The result of such differentiation for the Verkhnaya Volga basin is shown.

С.И. Шапоренко

ГИПОТЕЗА ДВУХСЛОЙНОСТИ ГИДРОСФЕРЫ: ОБОСНОВАНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ

Доказательством предложенной гипотезы двухслойности гидросферы может служить достоверность четырех положений, касающихся анаэробного слоя. Специфичность био- и гидрохимических процессов, повсеместное распространение и непрерывность существования в геологической истории Земли, а также связь его с экзогенными и эндогенными процессами.

Обозначены экологические функции анаэробного слоя: сохранение потенциальной возможности формирования жизни, основанной на кислородной энергетике; накопление в гидросфере и атмосфере свободного кислорода и регуляция его содержания за счет фоссилизации органического вещества; ускорение эволюционного развития жизни; создание огромных ресурсов синтезированного органического вещества на базе запасов стагнационных зон водоемов и ювенильного углерода земных недр.

В 2000 г. в качестве гипотезы была предложена концепция двухслойности гидросферы (Шапоренко, 2000). В ней утверждается, что гидросфера с точки зрения биогеохимии неоднородна и состоит из верхнего аэробного и нижнего анаэробного слоев. Между основными расположен, как правило, относительно тонкий переходный слой в виде комплексной геохимической барьерной зоны, ведущее значение в которой занимает окислительно-восстановительный барьер. За прошедшее десятилетие были сделаны определенные шаги для доказательства гипотезы, однако надо признать, что и в настоящее время она остается открытой проблемой. Во многом это связано с тем, что, во-первых, достаточно четко не определены те конкретные научные задачи, решение которых позволило бы считать вопрос исчерпанным. Во-вторых, в полной мере не выявлена и не охарактеризована природная функция (экологическое значение) анаэробного слоя гидросферы, из которой закономерно вытекает отношение к двухслойности гидросферы как к фундаментальному понятию, без которого наше представление о географической оболочке нельзя считать в достаточной мере законченным. В настоящей статье автор наметил ключевые вопросы и методологические подходы, позволяющие решить указанные задачи и тем самым приблизиться к завершению разработки указанной концепции.

Обоснование гипотезы

Если вхождение растворенного кислорода в газовый состав гидросферы считается нормальным условием для поверхностных и отчасти подземных вод, то его отсутствие чаще всего трактуется как экстремальное негативное явление, которое, как правило, влечет «сероводородное заражение» со всеми вытекающими отрицательными последствиями для водной биоты, а в особых случаях и для наземных организмов. Таким образом, концепция двухслойности гидросферы, по сути, представляет собой научное обоснование реальности анаэробного слоя как естественного состояния ее (гидросферы) значительной части, предопределенное всей геологической историей Земли и эволюцией биосферы.

Существование анаэробного слоя гидросферы может быть доказанным путем признания достоверности четырех основных положений. Они касаются особенности биогеохимической трансформации вещества, повсеместного распространения и непрерывности в геологической истории существования анаэробных бассейнов, а также связи процессов в анаэробном слое с многочисленными процессами на поверхности и в глубинных слоях Земли. Дадим им пояснение.

Первое. Аэробная и анаэробная обстановки в гидросфере резко различаются по характеру протекающих в них биогеохимических процессов синтеза и распада органического вещества. При этом, также как и для кислородной обстановки, для анаэробной характерны и общие закономерности трансформации веществ, происходящие в восстановительной среде поверхностных и подземных вод, в иловых водах донных отложений водоемов. Это отражается в сходстве гидрохимической стратификации толщи вод морских и континентальных бассейнов, в которых развивается аноксия. Особые условия и процессы свойственны переходному слою между аэробными и анаэробными водами, определяемыми резкой сменой окислительно-восстановительной обстановки. Резкие различия в фациальных условиях (водных и отчасти окружающих водоемы сухопутных ландшафтов) обусловливают своеобразие в накоплении донных отложений, формировании специфических для восстановительной и для переходной обстановок пород и минералов (Наливкин, 1956; Фролов, 1984; Емельянов, 1998; Хрусталева, 1999).

Принципиально важно различать возникновение анаэробных условий в водоемах с формированием горных пород за счет разви-

тия стагнаций от аноксийных условий, образующихся за счет выхода на поверхность суши и дна океанов эндогенных флюидов благодаря вулканическим и гидротермальным процессам, а также холодным метановым высачиваниям (Богданов и др., 2006; Ерощев-Шак и др., 2007). С.В. Галкин (2002), обобщая зарубежные литературные источники, в добавление к двум основным типам указывает на биотопы восстановительных условий (в его трактовке соответствуют переходному слою), образующиеся в местах захоронения органики и трупов крупных животных, в том числе на затопленной древесине и на разлагающихся китовых тушах.

Второе. Повсеместная распространенность анаэробных бассейнов. Карты развития анаэробных условий в гидросфере и распространенности анаэробных бассейнов в океанах (Шапоренко, 2000, 2009) показывают, что существование аноксии свойственно водоемам всех природных зон, от Северного Ледовитого океана до Антарктиды, при этом некоторая повышенная их сосредоточенность наблюдается в активных зонах современного орогенеза. Они расположены во всех климатических зонах, во всех структурных подразделениях Мирового океана, в разнообразных географических и геологических условиях, определяющих режим аэрации водоемов и интенсивность глубинной дегазации Земли. Дискретность анаэробных условий на поверхности земли, от водоема к водоему, условна, поскольку окислительно-восстановительный барьер, если располагается в толще воды, то имеет свое продолжение в донных отложениях, а на суше приурочен преимущественно к верхним горизонтам подземных вод (Перельман, 1979; Геохимические барьеры.., 2002). Существенным аргументом, подтверждающим правильность предлагаемой концепции двухслойности гидросферы, послужила вышедшая в 2004 г. монография микробиологов из Перми, в которой они обосновывают оригинальную модель функционирования подземной биосферы (Оборин и др., 2004). Согласно указанной модели подземная биосфера имеет толщину порядка 7 км и только самый верхний слой, порядка нескольких десятков метров (а местами и гораздо меньше), аэробный.

Анализ географического (пространственного) распространения анаэробных бассейнов закономерно приводит к выводу о том, что анаэробные условия в гидросфере непрерывны, представляют собой часть водной оболочки Земли, которая в пространстве маркируется границей между аэробным и анаэробным слоями. Анаэробный слой формируют водные массы бассейнов, генетически связанные с

водными массами аэробного слоя, однако принадлежащие к обособленному единому «планетарному бассейну», в водах которого отсутствует кислород (Шапоренко, 2009). Развитие анаэробных условий в водной толще водоема определяется подъемом границы между слоями из донных отложений в результате многочисленных внутриводоемных и внешних предпосылок.

Третье. Анаэробный слой гидросферы как часть водной оболочки существует в единстве со всей гидросферой, а положение его границы и интенсивность протекающих в нем процессов определяются всем многообразием гидрологических, метеорологических и эндогенных факторов. Это подтверждают результаты многих работ, проведенных на Черном, Балтийском, Азовском и Красном морях (Айзатулин и Леонов, 1990; Фащук и др., 1990; Антонов, 1987; Гидрометеорология.., 1992; Александрова и др., 1998; Бутузова 1998 и др.), в районах рифтовых зон океанов (Лисицын и др., 1990; Богданов и др., 2006 и др.) и на озерах (Хатчинсон, 1969; Шапоренко и Киосе, 2004 и др.). При этом следует отметить, что если роль экзогенных гидрометеорологических факторов в формировании гидрохимического режима водоемов в научной литературе представлена довольно широко, то влияние эндогенных процессов на состав поверхностных вод (в истоках изучения которых лежат работы К.К. Зеленова (Зеленов и Иваненко, 1982; Зеленов и Маслов, 1983; Коннов и Доманов, 1999; Полипенко и др., 2001 и др.)) остается слабо изученным. Влияние это, как представляется автору данной статьи, может осуществляться как непосредственно, например, за счет излива анаэробных подземных вод на поверхность и поставки в водоемы веществ в восстановленных формах, так и косвенно через трансформацию гидрологических и гидрохимических процессов.

Четвертое. Постоянство существования анаэробного слоя на протяжении всей геологической истории Земли. Возникновение жизни на Земле происходило в анаэробных условиях. В преимущественно анаэробных условиях атмосферы и гидросферы она развивалась на протяжении более половины своей истории. Анаэробная биосфера сохранилась до настоящего времени. О существовании во все стратиграфические эпохи седиментационных анаэробных (сероводородных) бассейнов осадконакопления стагнационного характера (существующих длительное время и периодически изменяющих окислительную и восстановительную обстановки) свидетельствуют многочисленные специфические месторождения полезных ископа-

емых (каустобиолитов, серы, фосфоритов, многих минералов). Изучение генезиса ряда колчеданных месторождений меди и полиметаллов позволяет говорить о широком проявлении интенсивной гидротермальной деятельности с образованием анаэробных зон в океанских придонных водах (Мейнард, 1985; Богданов и др., 2006). Показатели колебания климатических характеристик в геологической истории (соотношения легких и тяжелых изотопов кислорода и углерода в отложениях, концентрации углекислого газа и метана в глубинных слоях покровного ледника на Антарктиде, находки тиллитов) свидетельствуют о колебании соотношения аэробных и анаэробных вод на поверхности планеты в соответствии с эволюционным развитием географической оболочки в целом. Как представляется, периоды гумидизации климата, сопровождавшиеся трансгрессиями океана, были временными интервалами, наиболее благоприятными для существования анаэробных стагнационных бассейнов, а с периодами усиления вулканической деятельности и орогенеза коррелируют периоды усиления гидротермальной деятельности и образования анаэробных бассейнов за счет эндогенных факторов.

Экологическая роль анаэробного слоя гидросферы

Доказанность гипотезы двухслойности гидросферы сразу ставит вопрос о следствиях, вытекающих из нее. Наиболее важные из них, по мнению автора данной статьи, должны касаться экологической роли анаэробного слоя или его функций, которые он выполняет в биосфере. Целесообразность существования анаэробных условий на протяжении всей геологической истории планеты требует своего подробного рассмотрения. В рамках данной статьи возможно лишь обозначить их общее понимание.

1. Зарождение жизни на Земле произошло в виде синтеза одноклеточных прокариотных (с отсутствием ядра) организмов в бескислородных восстановительных условиях. Это утверждение в целом не оспаривается ни одной из многочисленных эволюционных теорий. Имеются лишь разногласия по поводу источника первоначального свободного кислорода в гидросфере, необходимого для запуска процесса фотосинтеза. Предполагается существенная роль эндогенного кислорода, выделявшегося при дегазации базальтов во время остывания эффузивных интрузий магмы (Бгатов, 1985), а также радиолиза воды в хлоркальциевых растворах на глубинах 2–3 тыс. м в восста-

новительной среде (Гуцало, 1971; Оборин и др., 2004) или процесса фотолиза на верхней границе атмосферы (Опарин, 1957), который сыграл существенную роль в балансе этого газа и в период океанизации Земли (Орленок, 2008). Открытие в конце двадцатого века физиологических особенностей цианобактериальных матов (способность развития одновременно по аэробному и анаэробному циклам), возможно, исключает вопрос и о необходимости такого источника кислорода (Розанов и Заварзин, 1997; Кузин, 2007). Важно то, что обменные процессы клетки происходили с внешней бескислородной средой, а роль кислорода в этих процессах, вероятнее всего, выполняла сера. Этот элемент наиболее близок по своим свойствам к кислороду, а его восстановленные соединения наиболее характерны для водоемов, где возникают анаэробные условия. Таким образом, древняя биосфера в условиях анаэробности, естественно, должна была отличаться от современной физиологией организмов и биогеохимическими связями, осуществлявшимися прокариотными клетками. Современным примером такой экосистемы могут служить распространенные в кальдере грязевого вулкана Хаакон Мосби (Норвежское море) ассоциации симбиотрофных погонофор, в тканях которых обнаружены прокариотные клетки с характерными для метанокисляющих бактерий внутриклеточными мембранными структурами (Леин, Иванов, 2009). Но именно в анаэробной гидросфере существовали возможности (и они реализовались) для формирования жизни, основанной на кислородной энергетике организмов. Сохраняющиеся анаэробные условия в гидросфере представляют собой резервную базу для повторения эволюционных попыток оксигенизации биосферы при возможных природных и антропогенных катаклизмах, способных привести к ее уничтожению.

2. В позднем архее с участием прокариотных организмов (предков современных цианобактерий, или сине-зеленых водорослей) был запущен механизм фотосинтеза органического вещества с выделением свободного кислорода. Предполагается, что наиболее благоприятными условиями для функционирования цианобактериальных матов были морские мелководья, получавшие достаточно тепла от Солнца и в то же время защищенные от его жесткого ультрафиолетового излучения слоем воды. В настоящее время на поверхности планеты сохранились многочисленные свидетельства указанных процессов в виде железистых кварцитов (Розанов и Заварзин, 1997; Кузин, 2007). В процессе эволюции полностью восстановительная обстановка ги-

дросферы в начале архея постепенно стала в протерозое трансформироваться в аэробную. Целесообразность данной трансформации была обусловлена выгодой с энергетической точки зрения для клетки и организмов обмена веществ с участием кислорода и выражалась в появлении новых звеньев ферментативной цепи, удлинявших путь энергетического распада субстрата (Федоров, 2004). Для анаэробной прокариотной жизни оксигенизация планеты была катастрофическим событием, так как сократила доступность одних химических элементов и увеличила – других. Проблема геохимического голода и защиты от кислорода решалась природой формированием эвкариотной клетки через симбиогенез прокариот, начавшимся по палеобиологическим данным примерно 2,7 млрд. л. н. (Федонкин, 2004). Изменение окислительно-восстановительного потенциала наряду с охлаждением поверхности планеты уменьшало растворимость отдельных соединений металлов и затрудняло их доступность, а других, наоборот, увеличивало. Данная проблема, как считает М.А. Федонкин, была решена природой достижением эвкариотными организмами морфологического и физиологического разнообразия, их деятельность приняла глобальную геологическую и средообразующую роль. Однако во внутренней части современной эвкариотной клетки, отделенной от внешней части мембраной, сохранилась анаэробная среда (в которой выполняются определенные жизненные функции), что, возможно, связано с фактором наследственности, но, скорее всего, с пока неизвестной физиологической целесообразностью. Таким образом, разделение гидросферы на аэробный и анаэробный слои – это глобальное отражение сложившегося в результате эволюции сосуществования окислительных и восстановительных сред в более мелкомасштабных экосистемах отдельных водоемов и участков наземных и подводных почв (гидроземных, атмоземных и литоземных почв по В.К. Бахнову (2002)), поверхности взвешенных в воде частиц (Айзатулин и др., 1984), отдельных организмов и микромира составляющих их клеток. Двухслойность гидросферы находит свое подобие на различных более мелкомасштабных уровнях.

3. Современные масштабы оксигенизации планеты (21% кислорода в атмосфере по объему) были достигнуты благодаря развитию растительности и фотосинтезу. Накопление кислорода в гидросфере и атмосфере было возможным только благодаря фоссилизации в литосферу эквивалентного количества органического вещества, на что впервые указал В.И. Вернадский (1965). Но выведение органическо-

го вещества (часто выражаемого в виде органического углерода $C_{орг}$) из биосферного аэробного цикла происходило только благодаря его захоронению в анаэробные условия и включению в литосферный цикл, который примерно в 250–300 раз медленнее. К настоящему моменту фоссилизированного органического вещества примерно в 25 тыс. раз больше, чем находится в биосфере. На поверхности Земли захоронение $C_{орг}$ продолжается и в настоящее время. Из суммарной первичной продукции океанского фотосинтеза в 83×10^9 т С/год около 0,17% фоссилизируется в толще осадков и уходит из ежегодного круговорота на длительное геологическое время. Подавляющая часть из этого количества сгорает в астеносфере в зонах субдукции и только 1% идет на формирование горючих ископаемых, с которыми углерод выводится на неопределенно долгое время (Кузнецов и др., 1997). Помимо океана, захоронение углерода происходит в анаэробных донных осадках морских и озерных водных бассейнов, в болотах, а на суше – в почвенном покрове. Считается, что это разные стороны одного общего унаследованного почвообразовательного процесса (Бахнов, 2002). Именно этот процесс обеспечивает примерное постоянство среднего содержания кислорода в гидросфере и атмосфере в продолжение последних 500 млн. лет (Будыко и др., 1985). Создание необходимого для аэробного населения планеты содержания свободного кислорода в биосфере и его регуляция – важнейшая (наряду с карбонатным равновесием океана) природная функция анаэробного слоя гидросферы.

4. Захоронение органического вещества в отдельные относительно кратковременные отрезки геологической истории Земли испытывало многократные всплески интенсивности в так называемые «биотические кризисы». В докембрии известны две глобальные биотические перестройки, которые произошли в начале и конце венда (эпоха позднего протерозоя в интервале 650–570 млн. л. н.) и связаны по времени с образованием и распадом мегаконтинента Родиния. Предполагают, что они коррелируют по времени с глобальными оледенениями (Чумаков, Сергеев, 2004). Сам факт развития оледенений в это время вызывает много обоснованных сомнений и возражений, хотя перестройки в биоте и могли быть спровоцированы изменением температурных условий. Однако нельзя исключать из внимания и такое обстоятельство, что до конца протерозоя обстановка в гидросфере оставалась преимущественно анаэробная. Поэтому, вполне возможно, что основные массовые замены видов могли быть связаны с сокращением распространения анаэробных бассейнов и окси-

генизацией водоемов, которой благоприятствовало понижение температуры, улучшавшее вертикальное перемешивание морских вод.

В фанерозое выделяют 8–11 наиболее крупных биотических кризисов (когда исчезло от 10 до 40% видов), среди них около половины составляют массовые вымирания (исчезло не менее 10% семейств, или не менее 40% видов) (Алексеев и др., 2001; Сывороткин, 2002; Бараш, 2008). Идея о катастрофическом характере определенных моментов развития планеты, выдвинутая около 200 лет назад Ж. Кювье, только в последние десятилетия получила широкое признание. Среди крупномасштабных природных процессов выявлена синхронность в относительно узких интервалах времени усиления тектоногенеза и связанных с ним рифтогенеза, базальтового вулканизма и офиолитогенеза, интенсификации глубинной дегазации, резкого подъема и опускания уровня Мирового океана, глобального похолодания и оледенения планеты. Как уже отмечалось, определенная синхронность выявляется и с колебаниями распространенности анаэробных бассейнов. С этими событиями по времени связаны и формирования маломощных, но глобально распространенных отложений «черных сланцев» и следы гибели биоты на уровне таксонов.

Не останавливаясь на характеристиках отдельных биотических кризисов, необходимо сделать несколько важных замечаний.

На границе **триаса и юры** или немного позже (примерно 200 млн. л. н.) произошли обширные излияния базальтов в так называемой Центрально-Атлантической магматической провинции, связанные с главной фазой рифтообразования, которая предшествовала открытию пра-Атлантического океана. Дегазация базальтов должна была послужить причиной образования анаэробных условий. Аноксийные условия подтверждаются составом базальных слоев юры, которые обогащены органикой и почти не содержат остатков бентоса. На это время приходится резкий регрессивно-трансгрессивный цикл уровня океана, маркируемый отложениями западного Тетиса. С ним может быть связано образование анаэробных стагнационных зон. Существование аноксии в океанской среде в этот интервал времени считается хорошо доказанным, однако она не может объяснить вымирание наземной биоты (Бараш, 2008).

Биотический кризис в **раннем мелу**, в апте-альбе (около 112 млн. л. н.), так же, как и два последующих, развивался на фоне относительно высоких температур и их однородного распределения, резкой соленостной стратификации и слабо развитой циркуляции океанических

вод, бурного развития планктона (в составе которого массово развились фораминиферы), что в совокупности обусловливало высокий дефицит кислорода в водной толще океанов. Таким образом, расширение областей распространения анаэробных условий в морских водах служило основной непосредственной предпосылкой биотических кризисов в меловой период, что нашло широкое признание в научной литературе (Найдин, 1993; Бадулина, 2008; Бараш, 2008).

Сеноман-туронское (начало позднего мела, 91–97,5 млн. л. н.) массовое вымирание получило название «глобального аноксичекого события OAE-2».

Существующие объяснения, как правило, развитие аноксии связывают с ослаблением и периодическим прекращением вертикального перемешивания водной толщи океанических и эпиконтинентальных бассейнов. Продуктивность пелагиали осуществляет основную поставку органического материала в глубинные воды, снос органики с суши второстепенен (что противоречит данным бассейна Юго-Западного Крыма и Северо-Западного Кавказа). Колебания интенсивности биопродуктивности пелагиали определялись ритмичностью климатических флуктуаций, которые, в свою очередь, зависели от астрономических циклов Миланковича (Найдин, 1993).

На основе анализа литературных данных в работе (Бадулина, 2008) выделены следующие географические обстановки формирования специфических для этого события отложения: шельфовая мелководная зона, обстановка пелагических осадков шельфа, глубоководных обстановок ниже глубины карбонатной компенсации. Подъем границы анаэробной зоны происходил ступенчатообразно. Во время аноксии температура придонных вод поднималась от 20–25 до 29 ^{0}C (Бараш, 2008). Весьма высокие значения δ^{18}O фораминифер в среднем сеномане (результат высокой солености придонных вод) у начала аноксийных событий уменьшаются в результате некоторого распреснения и ослабления термогалинной стратификации. Толчком к развитию аноксии послужило достижение пика вулканизма, связанного с излияниями базальтов в Карибско-Колумбийском регионе, Тихом и Индийском океанах.

По мнению автора, перечисленные геохимические показатели свидетельствуют о существенном значении эндогенной составляющей развития анаэробных зон, а именно глубинной дегазации, сопровождавшей процесс формирования Срединно-Атлантического хребта. На мелководных участках имел место процесс образования черных

прослоев по модели, предложенной Ю.О. Гавриловым и Л.Ф. Копаевич (1996). Отмеченное резкое снижение уровня моря на границе сеномана и турона превращало прибрежные районы в заболоченные низины, где активно накапливалось органическое вещество. Во время последующей быстрой трансгрессии болота затапливались, накопившееся в них органическое вещество частично захоранивалось, а частично включалось в круговорот, повышая биопродуктивность акваторий и приводя к их евтрофированию с образованием анаэробных зон.

Особенно много свидетельств развития аноксии имеется о массовом вымирании у границы **мезозойской и кайнозойской эр** (рубеж маастрихт/даний около 65,5 млн. л. н.), когда вымерло около половины всех существовавших в то время родов. Помимо гидросферы, вымирание затронуло литосферу и атмосферу. Не вызывает сомнений глобальный масштаб развития анаэробных условий в океанических и континентальных бассейнах. Интервал особенно низкой продуктивности, или стадия почти безжизненного океана, ориентировочно оценивается от 80–88 до 117–147 тыс. лет (Найдин, 1993).

В **среднем эоцене** на рубеже лютета-бартона (43–44 млн. л. н.) произошли катастрофические изменения среди бентосных и планктонных фораминифер в Крымско-Кавказской области, когда на пространстве от Балкан до Копетдага сформировался огромный анаэробный бассейн – прототип современного Черного моря (Беньямовский, 2005).

Касательно биотических кризисов фанерозоя в итоге необходимо отметить, что на связь их с анаэробными условиями указывают очень многие свидетельства, в первую очередь распространенность пород, обогащенных органическим веществом и приуроченных в разных концах света к одному и тому же стратиграфическому положению. Пожалуй, только биотический кризис в конце юры, в титонском веке (150,8–145,5 млн. л. н.), по-видимому, единственный кризис, в формировании которого свидетельств участия анаэробных условий не обнаружено. Для всех остальных именно анаэробные условия в водоемах, развиваясь за счет стагнаций или за счет эндогенной дегазации Земли, могли послужить непосредственной причиной гибели гидробионтов. Появление в водоемах сероводорода, метана и других соединений оказывалось губительным для кислородной фауны фанерозоя.

Исчезновения многих видов и родов освобождало экологические ниши для эволюционного развития и заполнения их новыми видами с более развитыми функциональными способностями. Важнейшая экологическая роль анаэробного слоя заключена в ускорении эво-

люционного развития кислородной жизни на Земле. Заморы рыбы и другой фауны в отдельных водоемах, наблюдающиеся в настоящее время, являются отголосками массовых вымираний в геологической истории планеты.

5. В настоящее время в биосфере господствуют аэробные организмы, имеющие повсеместное распространение, но на границе аэробного и анаэробного слоев гидросферы именно прокариоты-бактерии в максимальной степени проявляют себя, продуцируя основную массу органического вещества. В таком сероводородном бассейне как Черное море объемы первичной продукции на верхней границе сероводородной зоны сопоставимы с продукцией всей фотической зоны (соответственно 7 и 30 мг С/($м^3$*сут) в районе южнее Крыма, измеренные в сентябре 1967 г.) (Сорокин, 1982). В Балтийском море в январе – феврале 1990 г. величины суммарной хемосинтетической продукции варьировали от 7,4 до 197 мг С/($м^2$*сут) и достигали максимума в слое сосуществования кислорода и сероводорода (на 135–150 м) в Борнхольмской и Готландской впадинах. Продукция органического вещества в фотической зоне фитопланктоном составляла 61–174 мг С/($м^2$*сут) (Пименов, Иванов, 1991). Анаэробные зоны и особенно окислительно-восстановительные барьеры как области продукции органического вещества, безусловно, должны иметь важное экологическое значение для экосистем и других анаэробных стагнационных водоемов. Надо признать, что концентрация жизни на границе двух слоев гидросферы органично вписывается в концепцию необычно сильного качественного и количественного заселения биотой геохимических барьеров по периферии биогеохимических ландшафтов, особенно в почвах (Стебаев и др., 2002).

Исследования двух последних десятилетий на первый план по важности создания основной массы органического вещества и его фоссилизации выдвигают цианобактериальные маты, жизненные циклы которых строятся по анаэробному и аэробному типу одновременно. Современная продуктивность матов достигает 2,5–10 г/$м^2$ (Розанов, Заварзин, 1997). Если она была такой же и в протерозое, в нижнем и среднем кембрии, то благодаря сообществам цианобактерий должны создаться огромные массы органического вещества. По-видимому, именно такие сообщества оставили после себя огромные запасы месторождений железистых кварцитов (Кузин, 2007).

Аномально высокие величины биологической продуктивности в современных океанах приурочены к районам океанических апвел-

лингов (Перуанского, Бенгельского, Калифорнийского), то есть к местам периодического развития анаэробных условий. Возникновения аноксии связаны, скорее всего, не только с особенностями циркуляции вод, но также и с обогащением их эндогенными газовыми эманациями, в состав которых могут входить и питательные вещества (Сывороткин, 2002).

По некоторым количественным оценкам микробиологов, более половины биомассы современной биосферы сосредоточено в верхней части земной коры, общая биомасса подземной биосферы в континентальной земной коре соизмерима с биомассой микрофлоры Мирового океана (Оборин и др., 2004). Формируют ее в основном прокариоты-хемосинтетики – представители анаэробной биосферы.

Так же и почвенный покров в широком понимании служит биокосной субстанцией, способной многократно концентрировать живое вещество. В.К. Бахнов (2002), иллюстрируя этот тезис, приводит следующие цифры из разнообразных литературных источников. Биомасса гумусовых горизонтов почвы достигает 40 % массы почвы, микробиальная продукция и биомасса в них соответственно равна и даже может превышать в 2 раза фитомассу надземной растительности и в 10 раз биомассу животных в пастбищных экосистемах. В болотной почве низинного типа сухая микробная масса превышает фитомассу почти в 10 раз и достигает 90 т/га. В аэрированном до дна водоеме (когда граница с анаэробным слоем расположена внутри донных отложений и осадки представляют собой аналог сухопутной почвы) в поверхностном слое осадков морей количество бактерий достигает 550–630 млн. кл/см^3 (Баренцево море), а в озерах их количество насчитывает миллиарды клеток в 1 г сырого осадка.

Для того же Баренцева моря сопоставление средних биомасс фитопланктона, зоопланктона и зообентоса дает такие соотношения: 4,14, 20,5 и 120 г/м^2 (Новиков, 2007).

О придонной концентрации жизни свидетельствует также то, что из 160 тыс. видов морских животных 157 тыс. представляют бентос (Лапо, 1987).

Еще одной зоной активного биосинтеза являются анаэробные зоны, образованные эндогенными флюидами, а также примыкающие к ним пространства с кислородной обстановкой. Участки морского дна, прилегающие к устьям гидротерм, отличаются богатством биоценозов, развивающихся на основе хемосинтеза органического вещества из выделяющихся газовых эманаций. Гидротермальные

ассоциации и сообщества проявляют определенные закономерности географического и вертикального распределения, которые обусловлены фаунистическим, гидрохимическим, геологическим и историческим факторами. По вертикали выделяются сублиторально-верхнебатиальный, батиальный и абиссальный комплексы ассоциаций (Галкин, 2002).

Величина первичной бактериальной продукции на различных полях варьирует от 20 до 300 мг С / м^2*сут, составляя в среднем 150 мг С / м^2*сут. Потоки $C_{орг}$ в бассейне Манус (море Бисмарка) на площади 32 400 м^2 за счет первичной продукции фотосинтеза и хемосинтеза органического вещества в местах разгрузки гидротермальных флюидов составляют соответственно 2,7 и 6,8 кг/сут. Микробная продукция на гидротермальных полях ТАГ (трансатлантический геотраверс) и бассейна Манус одного порядка с продукцией фотосинтеза. Биомасса животных, симбиотически связанных с хемоавтотрофными микроорганизмами, на 2–5 порядков превышают биомассу животных обычных районов (Леин и др., 2000). Численность гастропод на активных тихоокеанских гидротермальных полях бассейнов Лау и Манус в апреле – мае 1990 г. достигала нескольких сотен экземпляров, а биомасса – несколько десятков килограммов на 1 м^2. Биомассу такого же порядка создают мидии батимодиолы на полях Рэйнбоу, Лаки Страйк и Менез Гвен в Атлантическом океане (Леин, Иванов, 2009).

Много общих черт с гидротермальными биотопами имеют биологические сообщества, формирующиеся в районах выхода холодных газовых источников. При этом величина вторичной бактериальной продукции (за счет органического вещества планктонного генезиса), как показали измерения в районе метанового сипа активного грязевого вулкана Хаакон Мосби (упоминавшегося выше), может составлять только 23% от общего количества окисленного метана. В районе вулкана основу богатого сообщества глубоководных организмов составляют живущие за счет микробов-ассимиляторов метана трубчатые черви – погонофоры (их биомасса составляет 785 г/м^2), а плотность населения глубоководной придонной рыбы зоарциды (конечного звена экосистемы) здесь достигает 1 экз./м^2. Известны районы повышенной биологической продуктивности над выходами газов (концентрации метана в таких местах превышают в 2-3 раза фоновые) в проливах Каттегат и Скагеррак (биомасса фауны в пределах сипов в 3-4 раза выше, чем за пределами района сипин-

гов), на СЗ шельфе Черного моря (Леин и Иванов, 2009). Благодаря высоким интенсивностям бактериальных процессов метанокисления и CO_2-ассимиляции (с участием нитрифицирующих, сульфатредуцирующих и других бактерий) создаются карбонатные постройки значительных размеров (Русанов и др., 1994).

Гидротермальные и холодные дегазационные системы охватывают примерно 1/3 часть площади дна Мирового океана до глубин 6000 м. При этом локальные проявления жизни существуют не только у поверхности дна, но и охватывают толщу воды, в которой растекаются поднимающиеся плюмы. В таких местах с сообществами микроорганизмов ассоциируют и простейшие гетеротрофы. Структура гидротермальных сообществ имеет значительную пространственно-временную изменчивость, зависит от дебита источника и расстояния от него. В целом для всех океанов бактериальная продукция за счет эндогенных веществ (преимущественно метана и сероводорода) вблизи источников возрастает в тысячи раз и дает дополнительное органическое вещество в количестве 0,06 Гт в год, или 0,12% годовой продукции фотосинтеза. Эта величина, возможно, даже превышает количество органического материала, оседающего из зоны фотосинтеза на дно. На ее основе существуют около 500 видов многоклеточных животных, а концентрация сообществ достигает 50–70 кг/м^2 (Леин и др., 2000; Галкин, 2002). Хемосинтетические бактерии заселяют также устьевые пространства мелководных и наземных источников термальных вод, однако высокопродуктивных сообществ с гетеротрофными организмами не образуют.

С 1989 г. проводятся специализированные работы по изучению экологической роли потоков эндогенных газов (CO_2, CO, C_2H_2, C_2H_6, CH_4, SO_2, N_2, H_2, H_2O) в зону минерального питания растений (Шаламов и др., 2002). С их интенсивными подтоками связывают существование районов наиболее высокопродуктивных лесов с проявлениями эндемизма и гигантизма, повышенную продуктивность сельскохозяйственных зерновых культур.

Современные данные геомикробиологии свидетельствуют о глобальном масштабе природного процесса бактериального синтеза углеводородов и в глубоких горизонтах (несколько километров) литосферы (Оборин и др., 2004).

Интенсификация жизни на границе аэробных и анаэробных условий, проявляющаяся в водоемах на поверхности Земли, в местах излива гидротермальных вод на дне океанов и на континентах, в глу-

боких слоях литосферы, свидетельствует еще об одной важной роли анаэробного слоя – дополнительного (к аэробному слою) создания огромных ресурсов синтезированного органического вещества на базе запасов стагнационных зон водоемов и ювенильного углерода земных недр, вовлечения его в биогенные циклы биосферы. Иначе говоря, равноправного участия с аэробным слоем гидросферы в развитии жизни на Земле.

Подводя итог экологической роли анаэробного слоя гидросферы в биосфере Земли, следует сделать замечание, что приведенный перечень не исчерпывает полностью его функций. Например, не было указано на такой процесс, как эмиссия метана (образованного в донных осадках водоемов и в глубинных слоях земной коры) в аэробный слой гидросферы и далее в атмосферу. Будучи парниковым газом, он в значительной степени является регулятором климатической ситуации на Земле. Оценить масштабы этого процесса в целом для анаэробных бассейнов пока очень трудно. Потоки метана со всего зеркала океанов оценены в 2–11 Тг/год, что составляет 0,25–2,2% от его глобальной эмиссии. При этом почти весь метан, образованный в донных осадках, окисляется в водной толще (Гальченко, 2001). Общий поток биогенного метана из почв в пределах России оценивается разными исследователями в пределах 5–100 Тг/год, чаще в 30–39 Тг/год, что по тепловому эквиваленту сопоставимо с эмиссией от ископаемых топлив (Заварзин, Васильева, 1999). Наиболее мощный источник метана – верховые болота с малой интенсивностью обмена с кислыми условиями среды. Из этого вытекает определенная климатическая роль анаэробного слоя гидросферы как одного из эмитентов парниковых газов. По-видимому, существует немало и других экологичеких функций анаэробных условий в гидросфере.

В работе Д.Г. Звягинцева с соавторами (Звягинцев и др., 1994) для почвы определена функция «генофонда микромира», то есть природного банка, в котором хранятся самые разнообразные микроорганизмы. Авторы имели в виду сухопутные почвы. Но их дефиницию можно распространить на все почвы, включая болотные и подводные. Именно присутствие анаэробных условий в почвенном слое делает максимально возможным видовое разнообразие микроорганизмов в ней. Возможно, находясь вблизи или непосредственно внутри контактов разнонаправленных эндогенных и экзогенных потоков энергии и вещества, микробиальное сообщество определяет и регулирует те процессы, которые обусловливают эволюцию биосферы в целом.

Понятие анаэробного слоя гидросферы – один из элементов познания природных закономерностей

Растворенный кислород представляет собой важнейший элемент биогидрохимических трансформаций веществ в водоемах, изучению режима которого всегда уделялось наибольшее внимание океанологами и лимнологами. Отдельные фазы круговорота этого газа в главных своих чертах имеют универсальный характер во всех водоемах. Между тем, возникновение аноксии и сероводородных условий в гидросфере сопряжено с пространственно-временной изменчивостью различных физико-географических процессов, проявляющихся с определенной естественной закономерностью (трансформированной антропогенными воздействиями) в различных структурных элементах географической оболочки. Эти закономерности в настоящее время изучены слабо, рассматриваются только частные случаи в отдельных водоемах, чаще всего как результат преимущественно антропогенных воздействий (нарушение водообмена, загрязнение и евтрофирование, другие причины) или сочетания антропогенных и природных причин (циклы водообмена глубинных вод Балтийского моря и его антропогенное евтрофирование). Не существует работ, в которых в едином методологическом ключе были бы исследованы и обобщены географические закономерности проявления анаэробных условий, характерные для всех морских и сухопутных водоемов.

Предлагаемый новый подход к анаэробным зонам в водоемах как к естественным условиям, характерным для всей гидрологической оболочки, позволяет восполнить определенный пробел в географической науке, касающийся изучения ее строения и эволюции. В то же время изучение процессов и факторов, определяющих формирование анаэробных зон в отдельных бассейнах, дает возможность получить научные основы для разработки и прогнозов их возникновения в водоемах различного типа.

Концепция двухслойности гидросферы позволяет с единых методологических позиций рассматривать процессы формирования анаэробных условий и связанные с ними экстремальные характеристики гидрохимического режима во всех морских и континентальных водоемах. Она позволяет в наиболее законченном виде представить эволюционное развитие природы и объяснить существование на поверхности Земли многочисленных водных бассейнов с резко контрастными химическими и биологическими условиями. Не относиться к се-

роводородным бассейнам как последствиям случайных антропогенных и природных контаминаций, а как к естественным резервам биосферы, сохранившимся с момента зарождения жизни на планете.

Как один из частных научных выходов можно считать уточнение понятия «водных масс» для водоемов с анаэробными условиями. Как указывалось, именно подход с позиции двухслойности гидросферы позволяет обойти имеющиеся противоречия между классической теорией «водных масс» и существованием анаэробных бассейнов (Шапоренко, 2009).

В конце концов, вопрос двухслойности гидросферы имеет определенную мировоззренческую составляющую, поскольку затрагивает разнообразные стороны существования нашей планеты, а для его решения необходимо привлечение знаний всех областей наук о Земле.

Под впечатлением трудов немецкого геоботаника Г. Вальтера, биолога К. Лоренца, философа В.С. Соловьева Ю.Н. Голубчиков сформулировал очень емкое определение взаимоотношения живой и неживой природы с точки зрения целесообразности: «Неживая материя служит живой. Вся геосфера создана для биоса. Все на Земле предназначено для жизни» (Голубчиков, 2005, с. 379). Жизнь, в существующей на Земле форме, невозможна без участия воды, сосредоточенной в гидросфере и в составной ее части – анаэробном слое, который также предназначен для жизни.

Литература

1. *Айзатулин Т.А., Леонов А.В.* Математическое моделирование динамики сероводородной зоны в Черном море: Анализ влияния интенсивности потребления кислорода, мощности источников сероводорода и вертикального обмена // Водные ресурсы. 1990. №1. С. 95–110.
2. *Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М.* Океан. Фронты, дисперсии, жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 192 с.
3. *Александрова З.В., Семенов А.Д., Ромова М.Г., Баскакова Т.Е.* Режим кислорода и содержания биогенных веществ Азовского моря в многолетнем аспекте // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Изд-во АзНИИРХ, 1998. С. 34–48.
4. *Алексеев А.С., Дмитриев В.Ю., Пономаренко А.Г.* Эволюция таксономического разнообразия. М.: ГЕОС, 2001. 126 с.

5. *Антонов А.Е.* Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.
6. *Бадулина Н.В.* Сеноман-туронская граница в Центральном и Восточном Причерноморье (Юго-Западный Крым и Северо-Западный Кавказ): седиментологические, геохимические и палеогеографические аспекты: Автореф. дисс. … канд. геол.-мин. наук. М., 2008. 24 с.
7. *Бараш М.С.* Причины, механизмы и следствия кризисов морской биоты // Океанология на старте XXI века. М.: Наука, 2008. С. 391–429.
8. *Бахнов В.К.* Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 117 с.
9. *Бгатов В.И.* История кислорода земной атмосферы. М.: Недра, 1985. 88 с.
10. *Беньямовский В.Н.* Палеогеновые черносланцевые кризисы и катастрофы фораминифер Северо-Западной Евразии // Материалы XIII Всероссийского микропалеонтологического совещания. Москва, ГИН РАН, 21–23 ноября 2005 г. М., 2005. С. 9.
11. *Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 528 с.
12. *Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин Н.Л.* История атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 207 с.
13. *Бутузова Г.Ю.* Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. Геологический ин-т. Труды. М.: ГЕОС, 1998. Вып. 508. 312 с.
14. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
15. *Гаврилов Ю.О., Копаевич Л.Ф.* О геохимических, биохимических и биотических следствиях эвстатических колебаний // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1996. №4. С. 3–14.
16. *Галкин С.В.* Гидротермальные сообщества Мирового океана. Структура, типология, география. М.: ГЕОС, 2002. 200 с.
17. *Гальченко В.Ф.* Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
18. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / Под. ред. чл.-корр. РАН Н.С. Касимова и проф. А.Е. Воробьева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 395 с.
19. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. Т. 3, вып. 1. 450 с.
20. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. Т. 3, вып. 2. 436 с.
21. *Голубчиков Ю.Н.* Глобальные катастрофы в истории цивилизаций. М.: «Вече», 2005. 382 с.

22. *Гуцало Л.К.* Радиолиз воды как источник свободного кислорода в подземной гидросфере // Геохимия. 1971. №12. С. 1473–1481.
23. *Емельянов Е.М.* Барьерные зоны в океане: Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 416 с.
24. *Ерощев-Шак В.А., Золотарев Б.П., Карпов Г.А. и др.* Постэруптивные процессы современного вулканизма Камчатки. Тр. ГИН. Вып. 566. М.: Наука, 2007. 184 с.
25. *Заварзин Г.А., Васильева Л.В.* Цикл метана на территории России // Круговорот углерода на территории России. НТП «Глобальные изменения природной среды и климата». М., 1999. С. 202–230.
26. *Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Полянская Л.М. и др.* Теоретические основы экологической оценки микробных ресурсов почв // Почвоведение. 1994. №4. С. 65–73.
27. *Зеленов К.К., Иваненков В.Н.* Влияние современного подводного вулканизма на химию вод океана // Известия высших учебных заведений. Сер. геология и разведка. 1982. №11. С. 3–26.
28. *Зеленов К.К., Маслов А.Ф.* Проблемы гидрохимии Черного моря. Статья I. Сульфатредукция – представления и факты // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1983. №10. С. 50–61.
29. *Коннов В.А., Доманов М.М.* Соединения азота и фосфора в придонной и иловой воде Балтики в районах акустических аномалий // Океанология. 1999. Т. 39. №3. С. 370–375.
30. *Кузин И.Л.* О геологической роли сине-зеленых водорослей и природных условиях докембрия // Изв. РГО. 2007. Т. 139, вып. 2. С. 48–64.
31. *Кузнецов А.П., Геодекян А.А., Марина М.М.* О масштабах бассейновых «захоронений» органического вещества в морских осадках // Изв. РАН. Сер. биологическая. 1997. №1. С. 59–63.
32. *Лапо А.В.* Следы былых биосфер. М.: Знание, 1987. 207 с.
33. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
34. *Леин А.Ю., Москалев Л.И., Богданов Ю.А. и др.* Гидротермальные системы океана и жизнь // Природа. 2000. №5. С. 47–55.
35. *Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г.* Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 256 с.
36. *Мейнард Д.Б.* Геохимия осадочных рудных месторождений. М.: Мир, 1985. 360 с.
37. *Найдин Д.П.* Позднемеловые события на востоке Европейской палеобиогеографической области. Статья 2. События рубежей сеноман / турон и маастрихт / даний. Бюл. МОИП. Отд. геол. 1993. Т. 68, вып. 3. С. 33–53.

38. *Наливкин Д.В.* Учение о фациях. М: Изд-во АН СССР, 1956. Кн. 1. 535 с. Кн. 2. 395 с.
39. *Новиков М.А.* Комплексная оценка биопродуктивности и биоресурсного потенциала Баренцева моря на основе ГИС-технологий // Большие морские экосистемы России в эпоху глобальных изменений (климат, ресурсы, управление) // Материалы международной научной конференции (Ростов-на-Дону, октябрь 2007 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. С. 212–218.
40. *Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т. и др.* Концепция организованности подземной биосферы. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 147 с.
41. *Опарин А.И.* Возникновение жизни на Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 395 с.
42. *Орленок В.В.* Глобальный вулканизм и океанизация Земли. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008. 226 с.
43. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
44. *Пименов Н.В., Иванов М.В.* Процессы бактериального хемосинтеза в водной толще Балтийского моря в зимний период // Микробиология. 1991. Т. 60, вып. 6. С. 147–153.
45. *Полипенко Г.Ф., Разина А.А., Фазлуллин С.М.* Гидротермы кальдеры вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 2001. №6. С. 43–57.
46. *Розанов А.Ю., Заварзин Г.А.* Бактериальная палеонтология // Вестник РАН. 1997. Т. 67. №3. С. 241–245.
47. *Русанов И.И., Гальченко В.Ф., Пименов Н.В. и др.* Микробиологические процессы цикла углерода в районе черноморского метанового сипа // Микробиология. 1994. Т. 63, вып. 5. С. 890–895.
48. *Сорокин Ю.И.* Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука, 1982. 216 с.
49. *Стебаев И.В., Куценогий К.П., Пшеницына Л.Б. и др.* Концепция прямых и обратных связей биоты с геохимическими барьерами в ходе развития катенных серий геохимических ландшафтов // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. С. 55–61.
50. *Сывороткин В.Л.* Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 252 с.
51. *Фащук Д.Я., Айзатулин Т.А., Дронов В.В. и др.* Гидрохимическая структура слоя сосуществования кислорода и сероводорода в Черном море // Океанология. 1990. Т. 30. №2. С. 253–263.
52. *Федонкин М.А.* Изменение доступности металлов и эвкариотизация биосферы в докембрии // Современные проблемы геологии. Тр. Геол. ин-та РАН, 2004. Вып. 565. С. 426–447.

53. *Федоров В.Д.* Изменения в природных биологических системах. М.: РАГС, 2004. 367 с.
54. *Фролов В.Т.* Генетическая типизация морских отложений. М.: Недра, 1984. 224 с.
55. *Хатчинсон Д.* Лимнология. Географические, физические и химические характеристики озер. М.: Прогресс, 1969. 592 с.
56. *Хрусталева Г.К.* Петрология горючих сланцев. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЭЛБИ сервис», 1999. 256 с.
57. *Чумаков Н.М., Сергеев В.Н.* Проблема климатической зональности в позднем докембрии. Климат и биосферные события // Климат в эпохе крупных биосферных перестроек. Тр. ГИН РАН. Вып. 550. М.: Наука, 2004. С. 271–289.
58. *Шаламов И.В., Бгатов В.И., Кужельный Н.М., Лизалек Н.А.* Газовое поле зоны минерального питания растений // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ // Материалы Международной конференции памяти академика П.Н. Кропоткина, 20–24 мая 2002 года, г. Москва. М.: ГЕОС, 2002. С. 71–74.
59. *Шапоренко С.И.* Анаэробный слой гидросферы: концепция выделения и закономерности существования // Изв. АН. Сер. географ. 2000. №4. С. 19–28.
60. *Шапоренко С.И.* Понятие «Водная масса» и его применимость к морским бассейнам с анаэробными зонами // Изв. РАН. Сер. геогр., 2009. №5. С. 57–65.
61. *Шапоренко С.И., Киосе С.И.* Влияние метеорологических условий на развитие анаэробных процессов в димиктических водоемах в летний период (на примере оз. Глубокое Рузского района Московской области) // МиГ. 2004. №8. С. 89–104.

S.I. Shaporenko

THE HYPOTHESIS OF A TWO-LAYER HYDROSPHERE: BASIS AND MAIN RESULTS OF THE NEW CONCEPT

The certainty of four statements considering anaerobic layer can be an evidence of offered hypothesis about two-layer structure of hydrosphere. There are specific bio- and hydrochemical processes which spread in all places, continuity of existence in the Earth's geological history, and association of it with exogenous and endogenous processes available.

There have been specified next ecological functions: maintenance of potential ability of formation of life, based on oxygen energetics; concentration of free oxygen in hydrosphere and atmosphere and regulation of it's concentration by dumping of organic matter; speedup of evolution of biological forms; creation of vast resources of organic matter on the forage reserve of stagnant basins and deep carbon of the entrails of the earth.

Д.Я. Фащук

МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ГЕОГРАФИИ

На основании анализа возможных причин низкой эффективности реализации в XXI в. положений концепции устойчивого развития в области морского природопользования делается заключение о том, что ее причина состоит, прежде всего, в недостаточном использовании при этом аппарата географической науки. В этой связи предлагается концепция нового направления конструктивной географии – морской экологической географии. Определяются актуальность, предмет и цель его исследований, основные методологические принципы. Обосновывается объективная необходимость обязательного участия специалистов этого направления в разработке и реализации национальных и международных программ исследования Мирового океана, при решении практических задач морского природопользования, а также при разработке рекомендаций и мероприятий по охране морских экосистем.

Введение

Изложенное ниже, по-видимому, не укладывается в традиционное представление о географо-гидрологических исследованиях, но, как представляется автору, является одним из перспективных направлений их дальнейшего развития, поскольку моря и океаны, морская среда должны быть интересны для гидрологов-географов не в меньшей мере, чем суша земного шара.

В декларации «Повестка дня на XXI век», принятой Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (г. Рио-де-Жанейро, 1992), практически впервые в истории хозяйствования человека на нашей планете, главы государств и правительств, ведущие промышленники и ученые мира открыто заявили о необходимости, наконец-то, перехода от бессистемной эксплуатации природных ресурсов к устойчивому развитию для сохранения биосферы, а следовательно, самих себя.

Как известно, понятие «устойчивое развитие» было впервые сформулировано в 1987 г. в докладе Международной комиссии по окружающей среде и развитию (Комиссия Брундтланд). Оно предполагает организацию современной хозяйственной деятельности таким образом, чтобы будущим поколениям жителей Земли остался «фронт

работ» для удовлетворения своих потребностей. Схема реализации этого положения в конкретных действиях представлялась, на первый взгляд, весьма просто:

темпы потребления возобновляемых природных ресурсов сегодня не должны превышать скорость их естественного восстановления;

темпы развития и внедрения технологий искусственного производства невозобновляемых источников промышленного сырья должны быть выше скорости их истощения;

объемы сбросов или захоронения отходов хозяйственной деятельности человека не должны превышать способность окружающей среды их «переработать».

Тем не менее, итоги первых 10 лет развития мирового сообщества под знаменем стратегии «устойчивого развития», подведенные на Международном Саммите глав государств (Йоханнесбург, 2002), показали, что воплощение в жизнь ее основных позиций происходит далеко «не гладко» и встречает на своем пути значительные трудности.

Современные проблемы морского природопользования

Поводом и стимулом для подготовки предлагаемой статьи послужили несколько взаимосвязанных обстоятельств, которые, по мнению автора, имеют непосредственное отношение к вопросам эффективности реализации природоохранных мероприятий и рационального природопользования на морских акваториях – составной части концепции устойчивого развития «Повестки дня на XXI век».

1. Среди причин, создающих сегодня проблемы при реализации новой концепции, не последнее место занимают парадигмы человеческого мышления и вопиющая экологическая безграмотность на всех уровнях мирового социального организма – от правительственных чиновников до руководителей предприятий промышленного и аграрного комплекса, от большинства ведущих ученых до педагогов школ и преподавателей вузов, не говоря уже о простых тружениках городов и сел.

В течение прошлого «триумфального» века научно-технического прогресса за годы многочисленных социалистических пятилеток и капиталистических экономических бумов человеческое сообщество в своем безудержном стремлении хорошо жить, зарабатывая много денег, как-то незаметно потеряло инстинкт самосохранения, оторвавшись от главного объекта хозяйствования и источника своего благо-

получия – матушки-природы. В результате в нынешнем XXI веке ее дремучий «властелин» (даже с докторской степенью или министерским портфелем) вместо заповеди «*не навреди*» по-прежнему руководствуется легкомысленным тезисом – «*где-то теряем, а где-то находим*» или *«прибыль – любой ценой»*, продолжая маскировать этим истинную позицию – «*после меня хоть потоп»*. Печальный опыт такой замены в полной мере оправдал известное пророчество о том, что дорога в ад усеяна благими намерениями (Фащук, 2005). Разработчики теории устойчивого развития, предполагая необходимость реализации для этой цели принципов социальной справедливости, сохранения высокого качества окружающей среды, не учли огромной инерции человеческого мышления, которая не могла не сказаться на сроках и эффективности решения поставленных задач.

Подтверждением справедливости такого предположения служит история становления концепции биосферы как планетарной экосистемы (Абакумов, 1991). Догадки о зависимости жизни на Земле от условий окружающей среды стали возникать в научных кругах со второй половины XVI века. К этому времени вместе с потоком богатств, хлынувших в испанскую казну из открытого Колумбом (1492) Нового Света, столицы и крупные города ведущих европейских государств наполнились огромным количеством экзотических растений, привезенных конкистадорами в качестве «сувениров из Америки» своим владыкам и друзьям. В результате на европейском континенте начали активно возникать и развиваться искусственные уголки природы – ботанические сады (1545 г. – Падуя, 1547 г. – Пиза, 1567 г. – Болонья, 1577 г. - Лейден, 1593 г. – Гейдельберг, 1623 г. – Москва и др.). И вот тут-то оказалось, что в европейских условиях завезенные со всех концов света растения ведут себя по-разному и требуют, в этой связи, при уходе индивидуального внимания. Естественно, что научная мысль, моментально отреагировав на установленный феномен, активно заработала в направлении его описания, теоретического объяснения и практического применения.

Только через 300 лет (!) после этого «открытия», в 1866 г. немецкий биолог Эрнст Геккель (1834–1919) предложил термин «экология», затем в 1875 г. австрийский геолог Эдуард Зюсс (1831–1914) впервые сформулировал понятие «биосфера», и, наконец, в 1877 г. немецкий зоолог и микробиолог Карл Мебиус (1825–1908) предложил определение «биоценоз». После этого понадобилось еще более 50 лет, чтобы эти категории стали общепринятыми в научной практике и полу-

чили дальнейшее развитие – только в 1935 г. увидело свет учение об экосистемах английского фитоценолога А.Тенсли, и в естествознании появился его термин «экосистема», а в 1940 г. российский геоботаник Владимир Николаевич Сукачев (1908–1967) разработал очень близкую к экосистеме концепцию «биогеоценоза».

Таким образом, для того чтобы концепция экосистемного подхода из формального знания перешла в глубокое сознание, даже светилам науки понадобилось более трех веков (!). Не составляет большого труда подсчитать, что с того момента, как такой принцип «прижился» в умах ученых (1935–1940), до Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992) прошло всего полвека (!), а после провозглашения декларации «Повестка дня на XXI век» до наших дней – и того меньше... Остается только восхищаться оптимизмом авторов концепции устойчивого развития, наивно полагавших, что за это историческое мгновение можно «изменить мозги» министров, бизнесменов, фермеров и множества других простых обывателей, от решений и действий которых, тем не менее, зависит успех «борьбы за выживание» человечества.

После такого незамысловатого анализа становятся понятными многие удивительные факты, фиксируемые как отечественными, так и зарубежными специалистами в области природопользования и охраны окружающей среды. Только за 1970–1990 гг., например, в нашей стране и за рубежом были опубликованы десятки решений и постановлений по вопросу экологии и охраны морской среды. Все они призывали «сконцентрировать», «усилить», «объединить» (Айбулатов, 2005). В национальных и международных программах исследования того или иного моря, района Мирового океана неизменно присутствовали фразы «комплексный, системный подход», «экологический мониторинг». Их результат нам всем хорошо известен…

Следуя логике приведенного выше анализа, призывы, лозунги и директивы были формальными, преждевременными – обращались в пустоту. Они не могли быть реализованы, так как в сознании потенциальных исполнителей еще не было глубокого понимания, что это значит и зачем это нужно. Именно поэтому даже сегодня, несмотря на многолетнюю историю исследований, решение многих морских экологических задач затягивается на долгие годы, часто оставаясь только на уровне гипотезы.

2. В конце XX – начале XXI вв. в практике морского природопользования прочно утвердилась система мониторинга, на которую исследователи возлагали большие надежды. Ее реализация при про-

ведении на морской акватории того или иного вида работ (особенно связанных с разведкой и добычей минеральных ресурсов, развитием марикультуры и др.) действительно позволила собрать огромные массивы информации, характеризующей условия среды и их изменения в соответствующих районах моря. Тем не менее результаты проводимого контроля только в редких случаях подвергаются комплексному анализу для конструктивных практических и прогностических выводов.

Такое положение дел определяется не только огромным объемом наблюдений, выполняемых во время мониторинга, и, соответственно, объективным недостатком времени у исследователей для анализа и прогноза их результатов. В большинстве случаев его причиной оказывается отсутствие методологических принципов оперативного анализа получаемой информации, а также соответствующей квалификации у исполнителей.

В решении этих вопросов сегодня в большинстве случаев ведущие позиции занимают высококвалифицированные инженеры-наблюдатели, которые прекрасно владеют методами формального математического и компьютерного анализа, методиками физических, химических, биологических и других видов аналитических определений, но, к сожалению, не склонны к творческому абстрактному мышлению и системному обобщению материалов. Естественно, что при таком подходе главное в работе – методически корректно выполнить наблюдения, формально описать их результаты, вовремя сдать отчет, оправдать смету затрат и грамотно составить заявку на расходы следующего года, а не выяснить, например, причину гибели рыбы или аномального состояния условий морской среды.

В итоге собранные бесценные гидроэкологические сведения остаются лежать «мертвым грузом» в архивах и фондах нефтедобывающих или иных компаний. Они дают возможность ответить на вопросы: каким и когда море бывает, сколько и чего содержат его воды, кто и в каком количестве в них обитает? И в лучшем случае – оценить временные и пространственные тенденции в изменении компонент морской экосистемы. Но эти данные, к сожалению, не позволяют узнать: почему море именно такое, по какой причине в нем происходят те или иные изменения, что может произойти с ним при смене внешних воздействий? В итоге промышленники, формально выполнив требования очередной директивы или постановления в области рационализации природопользования, продолжают слепо уничтожать природу на пути к «будущему процветанию».

Понять и спрогнозировать жизнь морского водоема по приказу невозможно. Для этого нужен не только грамотный исполнитель-наблюдатель, но и ученый-аналитик, способный оценить и применить достижения различных областей морской науки для решения системы «интегральных уравнений», какими являются современные морские экологические проблемы, для анализа информации, прогностических оценок и конструктивных практических выводов. Он должен обладать универсальным *междисциплинарным* стилем мышления и научной интуицией, а воспитание ученых-экологов, способных комплексно творчески мыслить, сомневаться и чувствовать природу, в нашей стране, как и в других странах, происходит очень медленно. Никакими директивами и постановлениями этот дефицит заполнить невозможно, а значит, нельзя в срочном порядке повысить качество диагноза и прогноза морских экологических ситуаций, оперативно реализовать положения концепции устойчивого развития в этой сфере природопользования.

3. После Конференции в Рио-де-Жанейро в 1990-х гг. во всех уголках нашей планеты резко возрос интерес к экологическим проблемам, проявившийся прежде всего в создании и развитии системы экологического образования, хотя с 1980-х гг. в мировой практике уже существовал вид образования «в области окружающей среды» (Environmental Education). В США и некоторых странах Европы были организованы ассоциации экологического образования, а в университетах многих стран мира будущие экологи обучались на кафедрах «Environmental Sciences» или «Environmental Studies».

На Международном Саммите глав государств (Йоханнесбург, 2002), кроме подведения итогов, были также намечены пути повышения эффективности дальнейшей реализации концепции «устойчивого развития» (Глазовский, 2003). В частности, для реализации декларации «Повестка дня на XXI век» потребовался новый тип образования - «Education for Sustainable Development» (ESD), т.е. образование для устойчивого развития, в целях устойчивого развития, для устойчивости (Мазуров, 2003; Касимов и др., 2004, 2005). Его концептуальная основа принципиально отличается от существовавшего ранее экологического образования прежде всего тем, что в нем не предусмотрена строгая «вертикаль» образовательного процесса. Так, цель ESD – не решать «Где мы сейчас», а выяснить «Куда должны идти»; смысл ESD – не конкретный продукт «Получение квалификации», а процесс «Создание компетентности»; результат ESD –

не инструкция «Как зарабатывать деньги», а желание «Соучаствовать в дальнейшем обучении». В этой связи в системе ESD совсем другие содержательные и методические принципы. Учебный план здесь – не «Окончательная схема», а «Опыт, учет конкретной ситуации»; получаемые знания – не «Фиксированные, но абстрактные и единые», а «Изменяющиеся, но реальные и многовариантные». Таким образом, в новой системе ESD традиционные «Пассивное образование и его результат – узкая специализация» превращаются в «Активное обучение и его результат – широкие, гибкие, междисциплинарные знания». «Образовательная система» при этом становится «Системой обучения», а «Формальное образование» переходит в «Обучение в течение жизни» (Садовничий и др., 2006).

В СССР, за четверть века до Конференции ООН 1992 г., была разработана концепция рационального природопользования очень близкая к идее устойчивого развития. В начале 1990-х гг. в рамках этой концепции была создана специальность «Охрана окружающей среды и рациональное природопользование». Экологическое образование в *классических* университетах включало специальности «Экология», «Геоэкология», «Природопользование». В *технических* университетах был курс «Безопасность жизнедеятельности» и «Защита окружающей среды». Сегодня в России разработан первый вариант Национальной стратегии образования ESD для классических университетов. В его основе лежит необходимость получения студентами широких междисциплинарных системных знаний, базирующихся на комплексном подходе к развитию общества, экономики окружающей среды (Садовничий и др., 2006).

Благодаря финансовой поддержке Московского фонда школьного книгоиздания, созданного Ю.М. Лужковым в 2006–2007 гг., автор статьи опубликовал в издательстве ОАО «Московский учебник» серию книг, адресованных будущему поколению морских природопользователей и экологов, их школьным преподавателям, с общим названием «Под Веселым Роджером – к тайнам океанов» (Фащук, 2006а, б; 2007а, б, в). В 5 томах *«Книги для чтения будущим Магелланам»* была предпринята попытка в популярной форме привлечь внимание молодежи к морским экологическим проблемам, познакомить их с историей исследования Мирового океана и эволюции нашей планеты, прикоснуться к тайнам зарождения жизни, рассказать о ее разнообразии, познакомить с факторами среды и природными процессами – «дирижерами» этой жизни, с богатством минераль-

ных ресурсов океанов, представить современную роль человека в жизни океана, в положительных и отрицательных последствиях их взаимодействия. Тем не менее, до настоящего времени универсальных учебных пособий по указанным дисциплинам для высшей школы не существует.

4. Наконец, еще один факт, послуживший поводом и стимулом для подготовки данной статьи. В настоящее время в результате активного развития средств вычислительной техники и аппарата прикладной математики наряду с полевыми наблюдениями в море математические модели стали частью фундамента научного понимания природы океана, важнейшим элементом при решении конкретных экологических задач. Сегодня в мире разработаны сотни их видов и типов. Этот аппарат помогает исследователям понять механизмы функционирования и взаимодействия экосистем Мирового океана, спрогнозировать возможные изменения условий морской среды, научиться управлять ее состоянием. Тем не менее, несмотря на успехи моделирования (в плане количества разработанных моделей), океан по-прежнему не торопится раскрывать свои «тайны» математикам, физикам, химикам, биологам, гидрологам. Качество их морских экологических прогнозов, разработанных на основе модельных расчетов, сегодня, мягко говоря, оставляет желать лучшего. Некоторые из отечественных моделей, отмеченные даже Государственной премией в период бума моделирования в 1970-е гг., давно преданы забвению, так как на практике оказались всего лишь инструментом для упражнений в расчетах, имеющих мало общего с реальной природой (Фащук и др., 2005).

Заключение о том, что любая математическая модель представляет собой только аппарат в руках исследователя, оригинальностью не отличается. Иными словами – от качества заложенной в любую модель информации, основанной на понимании природы объекта моделирования, зависит и качество полученного с ее помощью прогноза. А ведь еще в древние времена классик античной философии Аристотель, прекрасно понимая несовершенство многих своих теорий, полагал, что *«искать истину и легко, и трудно, ибо очевидно, что никто не может ни целиком ее постигнуть, ни полностью ее не заметить, но каждый добавляет понемногу к нашему познанию природы, и из совокупности всех этих фактов складывается величественная картина»*. Действительно, в силу индивидуальных особенностей сознания человека, его воспитания, образования и множества других причин, в мире сегодня существует огромное количество ученых,

знающих, например, о Мировом океане *«все»*. Но реально среди них нет ни одного, знающего *«все правильно»*. Отсутствие при этом попыток связать отдельные знания – *«все эти факты»* оказывается причиной того, что долгожданная *«величественная картина»* у модельеров, к сожалению, *«складывается»* очень редко.

Историческая роль географической науки в решении задач природопользования

Именно географическая наука оказывается сегодня связующим звеном между человеком и природой! Поиск и верное понимание ее законов, причинно-следственных связей физиками, химиками, биологами, математиками без участия географов, в том числе гидрологов, малоэффективны. Мировой опыт исследований убеждает в том, что сегодня представители многих фундаментальных наук, занимающиеся решением практических задач морской экологии (да и не только морской), редко получают желаемый результат (Медоуз и др., 2007). Полагаю, что причина этого состоит, прежде всего, в пассивном или очень «робком» участии географов в этом процессе. А ведь вдохнуть жизнь в уравнения и формулы экологических моделей, обеспечить *«совокупность»* используемых данных предопределено судьбой именно этим специалистам. История развития географической науки подтверждает реальность такого предположения.

В 1942 г. вице-президент АН СССР академик А.Е. Ферсман (1883–1945) в статье «География и война» отмечал, что география, считавшаяся описательной наукой, стала ведущей силой при решении важнейших задач мирового конфликта. Объясняя причины этого, он подчеркнул, что география – совсем не наука об отдельных фактах окружающего нас мира. География – наука о связях, о глубочайших соотношениях, которые существуют в природе между отдельными явлениями и трудящимся в ней человеком. Практическая значимость для жителей планеты развития географо-экологических исследований представляется в этой связи не менее важной, чем вклад в свое время отечественных военных географов в Победу над фашизмом (Абрамов, 2005).

В послевоенные годы академик И.П. Герасимов ввел в естествознание термин *«конструктивная география»,* подчеркивая значимость географической науки при решении не только военных, но и важных практических народно-хозяйственных задач. *Военная геогра-*

фия оказалась одним из ее направлений. В современном изменчивом мире особую актуальность (на уровне фундаментальных наук) приобретает еще одно направление конструктивной географии – *экологическая география*.

В 1970-х гг. у истоков рождения теоретических основ физической географии Мирового океана стал советский географ, академик К.К. Марков (1905–1980). Отмечая необходимость сближения дифференцированных наук на основе обобщающей науки географии, он определил сущность географического подхода при исследовании процесса взаимодействия человека с природой. По его мнению, она состоит в познании совокупности географических условий, исследовании природных явлений в единстве, взаимосвязи и обусловленности.

Наряду с изучением пространственной структуры, основных свойств вод и процессов, протекающих в Мировом океане, среди задач физической географии К.К. Марков выделял исследование взаимозависимости природы океана и материков, природопользование и влияние общественного воспроизводства на океан и океана – на общественное воспроизводство. При этом изучаются как планетарные общегеографические закономерности жизни океаносферы, так и конкретные физико-географические особенности этой части биосферы.

В начале 1970-х гг. коллективом исследователей, сторонников идей К.К. Маркова, в который вошли специалисты в области физики океана (В.Л. Лебедев), химии моря (Т.А. Айзатулин) и морской биологии (К.М. Хайлов), была предложена концепция необходимости перехода при исследовании океана от фактографического знания к системному анализу физических, химических, биологических и других процессов, формирующих условия среды и определяющих состояние морских гидробионтов. В дальнейшем эти авторы развили учение В.И. Вернадского о биологической структуре океана, роли пограничных слоев в «скоплении» морских организмов – «сгущении жизни». Подход позволял рассмотреть объект со всех сторон, понять его природу, используя *оптимум* информации. С его помощью в 1973 г., было, например, предсказано существование на дне океана очагов биологической активности (Айзатулин и др., 1976). Эти очаги, «оазисы жизни», основанной на процессе хемосинтеза, вскоре были найдены подводными аппаратами в районе островов Галапагос в Тихом океане (глубина около 3000 м).

К сожалению, предложенная концепция не получила развития у морских исследователей конца XX века. Парадигмы современно-

го естествознания оказались сильнее, а монографии указанных авторов «Океан – как динамическая система» (Лебедев и др., 1974), «Океан: активные поверхности и жизнь» (Айзатулин и др., 1979), «Океан: фронты, дисперсия, жизнь» (Айзатулин и др., 1984), а также их дайджест в английском переводе «The Living Ocean» (Lebedev et al., 1989) остаются до сих пор практически не востребованными.

Концепция и методологические принципы морской экологической географии

К началу XXI в. хозяйственная деятельность на прибрежных морских акваториях резко активизировалась. Только с 1996 по 2000 гг. ежегодная морская добыча нефти, например, увеличилась с 10 до 25% от общей и составила в абсолютных величинах 0,7–0,9 млрд. т. Общемировая ежегодная добыча газа в конце XX в. достигла 2000 млрд. м^3, а доля морских разработок превысила 20% и составила более 300 млрд. м^3. При этом, общие мировые запасы нефти на 2008 г. оценивались в 200 млрд. т., а газа – 175 трл. м^3 (Рэдлер, 2008).

На севере Аляски, в море Бофорта и в канадском секторе Аляски, в районе дельты р. Маккензи в этот период были открыты самые крупные в Северной Америке запасы нефти (3 и 4,9–9,6 млрд. т). Полагают, что общие запасы нефтегазовых углеводородов в Арктике соизмеримы со всеми мировыми запасами нефти и газа. Потенциальные ресурсы только Баренцево-Карского и Южно-Карского бассейнов составляют 50–60 млрд. т условного топлива (в 3 раза больше, чем в Персидском заливе) (Фащук и др., 2003). Запасы Русановского и Ленинградского месторождений газа в Карском море в 2,5 раза выше всей современной мировой ежегодной его добычи, а общие извлекаемые запасы газа пяти открытых на шельфе о. Сахалин месторождений оцениваются в 5 млрд. т. По прогнозным оценкам, недра шельфа Северного Каспия, являющегося продолжением Прикаспийской нефтегазоносной провинции, содержат до 2–3 млрд. т углеводородов, 70% из которых составляет нефть.

Параллельно с активизацией поиска и разработкой морских месторождений углеводородов в XXI веке интенсифицировались морские транспортные перевозки, прокладка газо- и нефтепроводов, создание морских рыбоводных ферм, аквахозяйств по искусственному выращиванию моллюсков и водорослей, строительство портов, объектов морского туризма и рекреации. Экологические последствия

такого антропогенного пресса на морскую экосистему оказываются объектом исследования нового направления географической науки – морской экологической географии.

Предмет ее исследований – пространственно-временная изменчивость причинно-следственных связей абиотических и биотических компонент морской экосистемы под влиянием изменяющихся природных факторов и хозяйственной деятельности.

Цель исследований – причины изменения состояния морских экосистем и прогноз экологических последствий естественных и антропогенных воздействий для разработки научных основ управления и рационального морского природопользования.

Следуя логике предложенных определений, ответственность за формулировку и решение морских экологических задач, как и предполагал К.К. Марков 30 лет назад (Марков, 1970), ложится прежде всего на специалистов географов-океанологов, так как именно эта наука является самой емкой морской географической дисциплиной. Включая гидрологию, физику, химию, биологию, геологию моря, она изучает соответствующие процессы в морской среде, способна объединить профессионалов различных специальностей для достижения поставленной цели.

Основу концепции морской экологической географии составляет положение о том, что при решении морских экологических проблем и моделировании последствий возможных кризисных экологических ситуаций на морских акваториях, параллельно с традиционными приемами обобщения гидроэкологических данных, их анализ предлагается строить на базе информационной модели, представляющей комплекс «экологических изюминок» – наиболее значимых для практики аспектов изучения системы «море – водосбор» различными науками.

В соответствии с принципами системного подхода в морских географо-экологических информационных моделях выделяются основные природные и антропогенные процессы, определяющие состояние экосистем, анализируются существующие здесь причинно-следственные связи, характер их пространственно-временной изменчивости (Фащук и др., 1997). В этих информационных системах, как и в физических, по выражению известного немецкого физика-теоретика Макса Борна (1882–1970), наблюдаемая картина теряет в богатстве оттенков, но зато выигрывает в ясности. Именно они могут служить информационной базой для математического моделирования морских экосистем.

Логическая схема разработки географо-экологической модели морского водоема включает ряд операций: отбор, «сворачивание», анализ и наглядное представление информации, ранжирование процессов по экологической значимости, выявление и картографирование неблагоприятных для жизни моря последствий. Для этого разработаны алгоритмы экологических показателей и методы морского экологического картографирования, с помощью которых многочисленные цифровые и картографические материалы представляются в виде аналитических таблиц и диаграмм, морских диагностических экологических карт и генеральных карт-схем (Фащук, 1997; Фащук и др., 1997).

Получаемая в результате информационная модель морского водоема включает на только его экологически значимые режимные характеристики, но и систему карт и аналитических таблиц, отражающих все основные аспекты его жизни: природные (внешние и внутримассовые) и антропогенные факторы воздействия на морскую экосистему и территорию водосбора, состояние условий морской среды и популяций гидробионтов, а также тенденции и перспективы развития основных абиотических и биотических элементов экосистемы.

Учитывая тот факт, что интегральным показателем «здоровья» моря является состояние гидробионтов, географо-экологическое моделирование начинается с анализа биологических данных. Для ответа на вопросы, почему происходит сокращение популяций морских организмов или как отразится на их состоянии изменение условий среды, необходимо знать роль различных районов моря в формировании численности морских обитателей. Это связано с установлением здесь зон их массового скопления – *центров концентрации жизни*, на разных стадиях развития. В экологическом плане такой анализ интерпретируется как выделение на акватории моря районов высокой «*уязвимости*» организмов и объектов их питания к внешним воздействиям (Фащук и др., 1995). В модель также включаются карты типичного распределения и путей миграций донных промысловых организмов, сведения об условиях среды, оптимальных для гидробионтов, их толерантности к токсичным загрязняющим веществам и признаках интоксикации (Фащук и др., 1999).

Генеральная картосхема основных природных факторов наглядно представляет и содержит описание процессов, определяю-

щих формирование условий среды и жизнедеятельность обитателей моря. Она позволяет оперативно предсказать, что и когда можно ожидать от природы в том или ином районе моря.

Генеральная географо-экологическая картосхема антропогенных факторов и их последствий для морской экосистемы включает анализ и описание соответствующих процессов и явлений, позволяющих оперативно оценить экологическую ситуацию, сложившуюся в море, но уже по вине человека.

Комплексный анализ карт, диаграмм, таблиц географо-экологической модели морского водоема позволяет исследователю оперативно оценить возможные причины кризисных ситуаций или сузить зону их поиска, разработать научно обоснованные природоохранные мероприятия; определить возможные последствия для морских организмов катастрофического воздействия на морскую экосистему (залповый сброс загрязняющих веществ с речным стоком или сточными водами предприятий побережья, при авариях танкеров или нефтепроводов); сориентировать специалистов для принятия оптимальных безопасных решений при освоении морских ресурсов.

Заключение

В середине III в. до н.э. греческий математик, философ, поэт Эратосфен из Кирена (ок. 276–194 гг. до н.э.) предложил применять на картах пять широтных поясов и первым назвал географию географией. По его вычислениям, окружность Земли составила около 25 000 миль (по современным данным – 24 860 миль), жаркая зона занимает на ней 48^0, 24-й градус к северу и югу от экватора был обозначен как «линия тропика»**,** холодные зоны занимали по 24^0 от полюсов, ограничиваясь «Северным и Южным полярным кругом», а умеренные области располагались между тропиками и полярными кругами. За эти подвиги его заслуженно считают «отцом географии», но мало кому известно, что у своих завистливых современников Эратосфен имел еще два презрительных, с их точки зрения, прозвища – Бета и Пентатлос (Пятиборец). Первым снобы-профессионалы указывали на второстепенность его роли во многих областях науки, в том числе и в математике. Вторым – выражалось раздражение по поводу разнообразия его нематематических интересов, широты знаний, которые были вне понимания специали-

стов узкого профиля. В действительности же этими прозвищами античные «доброжелатели» невольно, сами того не подозревая, лишь подчеркивали уникальные особенности стиля мышления гениального географа всех времен (Дитмар, 1989).

Как знакомы современным географам, работающим в области конструктивной географии, такие «комплименты» от «жрецов науки» различных специальностей, в сферу интересов которых они непроизвольно вникают и часто «открывают глаза» специалистам-профессионалам на то, что они уже сделали и как это увязывается с достижениями других областей науки! Реализация принципов морской экологической географии на практике сегодня очень часто сопровождается подобного рода конфликтами, связанными с парадигмами профессионального стиля мышления, сложными межведомственными отношениями, характерами отдельных исследователей.

Автор уверен в том, что время и опыт по-прежнему остаются лучшими критиками и судьями всех идей и гипотез, а следовательно, и взаимоотношений между людьми. Как бы ни были высоки профессиональные амбиции и круты характеры ученых смежных специальностей, занимающихся исследованием природы, рано или поздно, уверен, они убедятся в эффективности синтеза результатов их исследований в рамках географо-экологического подхода для решения конкретных экологических проблем. Возможно, предлагаемая статья ускорит этот процесс. Объективная реальность, во всяком случае, настойчиво требует этого.

В современном мировом морском природопользовании очевиден ряд проблем и перспектив исследований, связанных как с природными (климатическими), так и антропогенными (хозяйственная деятельность) изменениями условий среды на нашей планете. В XXI веке к ним добавился ряд вопросов правового характера, так как во многих районах Мирового океана и внутренних морях России произошло обострение геополитической обстановки по причине открытия новых месторождений и освоения традиционных видов морских ресурсов, изменения экономической и политической ситуации в некоторых государствах СНГ и соответствующих отношений России с ведущими мировыми державами (Добролюбов и др., 2009).

К наиболее актуальным вопросам исследования Мирового океана сегодня можно отнести: влияние Мирового океана на состояние климатической системы планеты; антропогенные изменения морских экосистем; контроль условий морской среды в районах актив-

ной хозяйственной деятельности; обеспечение морских природопользователей надежной прогностической информацией об условиях среды, определяющих эффективность и безопасность их деятельности; установление границ экономических зон в Мировом океане России с Японией, Украиной и Норвегией.

Кроме того, по решению ООН, 1998 г. был объявлен Международным годом Мирового океана. В этой связи многие страны мирового сообщества разработали программы исследования и развития своих прибрежных вод, а также более широкого освоения ресурсов Мирового океана (www.fasi.gov.ru/sea). Так, 10 августа 1998 г. специальным Постановлением Правительства Российской Федерации была утверждена Федеральная целевая программа «Мировой океан». Основными ее разработчиками были 12 ведущих НИИ России, а главная цель – эффективное использование ресурсов и пространства Мирового океана в интересах экономического развития, обеспечения безопасности страны и охраны ее морских границ. Реализация программы рассчитана на 15 лет – до 2012 г. Комплекс ее проблем включает: международно-правовые, торговые, промышленные, транспортные, научные, военно-стратегические. На заключительном этапе реализации программы (2007–2012 гг.) предполагается формирование новой структуры морской деятельности во всех указанных сферах, отвечающей нуждам будущей стратегии как внутреннего развития страны, так и ее положения в мире.

2 сентября 1999 г. на специальной конференции в Монтере (Калифорния) вице-президент Соединенных Штатов Америки Альберт Гор доложил проект исследования Мирового океана США – «Повернемся к морю: будущее Америки в Мировом океане». Проект предусматривает проведение 150 поддерживаемых государством мероприятий по 25 научным направлениям, включающим защиту, восстановление, а также изучение океанских ресурсов США. Основу проекта составляет понимание жизненно важного значения ресурсов океана в будущем американской экономики, безопасности страны, здоровья и благосостояния ее народа. Не трудно убедиться в том, что цели создания этих двух крупнейших национальных проектов XXI века практически совпадают.

В результате реализации Федеральной программы «Мировой океан» будет получен огромный объем разноплановой межведомственной информации, на основании которой будут решаться основные ее задачи. Одна из них – разработка новой структуры на-

учной деятельности в сфере морского природопользования. Не последним гарантом успешности ее решения представляется широкое привлечение аппарата географической науки, включая ее современное направление – морскую экологическую географию.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Становление концепции биосферы как планетарной экологической системы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 13. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 25–43.
2. *Абрамов Л.С.* Вклад отечественной географии в Великую Победу // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. №2. С 5–13.
3. *Айбулатов Н.А.* Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. М.: Наука, 2005. 364 с.
4. *Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М.* Океан. Активные поверхности и жизнь / Под ред. чл.-корр. АН УССР В.И. Беляева. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 192 с.
5. *Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М.* Океан. Фронты, дисперсии, жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 192 с.
6. *Айзатулин Т.А., Лебедев В.Л., Суетова И.А., Хайлов К.М.* Граничные поверхности и география океана // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 1976. №3. С. 25–35.
7. *Глазовский Н.Ф.* Десять лет Рио – итоги и перспективы перехода к устойчивому развитию // Изв. РАН. Сер. географ. 2003. №1. С. 5–19.
8. *Дитмар А.Б.* От Птолемея до Колумба. М.: Мысль, 1989. 253 с.
9. *Добролюбов С.А., Фащук Д.Я.* Россия в международных программах исследования Мирового океана // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009 (в печати).
10. *Касимов Н.С., Мазуров Ю.Л., Тикунов В.С.* Концепция устойчивого развития: восприятие в России // Вестник РАН. 2004. Том 74. №1. С. 28–36.
11. *Касимов Н.С., Глазовский Н.Ф., Мазуров Ю.Л., Тикунов В.С.* География и образование для устойчивого развития // Вестник МГУ. Сер.5. География. 2005. №1. С. 38–49.
12. *Лебедев В.Л., Айзатулин Т.А., Хайлов К.М.* Океан как динамическая система. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 206 с.
13. *Мазуров Ю.Л.* Образование для устойчивого развития: содержание и макроструктура // Вестник МГУ. Сер.5. География. 2003. №4. С. 3–9.
14. *Марков К.К.* География океана // Материалы V съезда ГО СССР. Л., 1970. С. 3–7.

15. *Медоуз Даниелла, Рандерс Йорген, Медоуз Деннис.* Пределы роста. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 343 с.
16. *Рэдлер Мерилин.* Скромный прирост мировых запасов на фоне снижения добычи нефти // Oil&Gas Journal. 2008. 3(16). Pp. 8–9.
17. *Садовничий В.А., Касимов Н.С.* Становление образования для устойчивого развития в России // «Экология и промышленность в России», март 2006. С. 13–17.
18. *Фащук Д.Я.* Географо-экологическая модель морского водоема: Дисс. на соиск. ст. д.г.н. М.: ИГ РАН, 1997. 349 с.
19. *Фащук Д.Я.* О настоящем и будущем морской экологической географии // «Горизонты географии». Конференция к 100-летию К.К. Маркова. М.: МГУ, 2005. С. 265–275.
20. *Фащук Д.Я.* Антология морских авантюр. История открытия Мирового океана. М.: ОАО «Московский учебник», 2006а. 240 с.
21. *Фащук Д.Я.* Законы «морских джунглей». Происхождение и жизнь океанов. М.: ОАО «Московский учебник», 2006б. 240 с.
22. *Фащук Д.Я.* «Дирижеры» жизни океана. Природные факторы формирования условий среды в океане. М.: ОАО «Московский учебник», 2007а. 208 с.
23. *Фащук Д.Я.* Подводные кладовые Нептуна. Полезные ископаемые Мирового океана. М.: ОАО «Московский учебник», 2007б. 192 с.
24. *Фащук Д.Я.* Лекарства от «болезней» моря. Человек и Мировой океан. М.: ОАО «Московский учебник», 2007в. 256 с.
25. *Фащук Д.Я., Сапожников В.В.* Антропогенная нагрузка на геосистему «море – водосбор» и ее последствия для рыбного хозяйства (на примере Черного моря). М.: ВНИРО, 1999. 123 с.
26. *Фащук Д.Я., Архипов В.А., Шляхов В.А.* Концентрация массовых промысловых рыб Черного моря на разных стадиях онтогенеза и факторы, ее определяющие // Вопросы ихтиологии. Т. 35. 1995. №1. С. 34–42.
27. *Фащук Д.Я., Чепалыга А.Л., Шапоренко С.И.* Оценка состояния морских акваторий // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997. №6. С. 75–88.
28. *Фащук Д.Я., Чичерина О.В., Леонов А.В.* Географо-экологические аспекты математического моделирования морских водоемов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. №2. С. 26–37.
29. *Фащук Д.Я., Овсиенко С.Н., Леонов А.В., Егоров, А.П., Зацепа С.Н., Ивченко А.А.* Геоэкологические последствия аварийных морских разливов нефти // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. №5. С. 57–73.
30. *Lebedev V., Aizatulin T., Khailov K.* The Living Ocean. Progress Publisher. Moscow. 1989. 327 p.
31. www.fasi.gov.ru/sea.

D.Y. Fashchuk

SEA ECOLOGICAL GEOGRAPHY – NEW LINE IN THE CONSTRUCTIVE GEOGRAPHY

On the analysis of possible reasons for low efficiency of realization in the XXI century of the sustainable development conception concerning marine environmental management is concluded that first of all the reason is in the insufficient application of the geography science methods. In this connection a new direction of constructive geography, marine ecological geography, is offered. Actuality, object and purpose of the researches, basic methodological principles are determined. The objective necessity of obligatory participation of specialists in geography is grounded for development and realization of the national and international programs of research of the World Ocean, at the decision of practical tasks of marine environmental management, and also at development of recommendations and measures on the protection of marine ecosystems.

РАЗДЕЛ II. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

К.К. Эдельштейн

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИКОВЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ[1]

Предложены и сопоставлены показатели структуры материковых звеньев глобального гидрологического цикла. Показано, что чем громаднее горные системы и территория материка, тем больше перехват материком океанической влаги, тем интенсивнее материковый круговорот воды и больше речной сток с материка в Мировой океан. Выделены два географических типа структуры материкового влагообмена. Вычислен техногенный потенциал регулирования стока водохранилищами. Наибольшими его значениями отличаются Австралия и Африка, наименьшими Южная Америка и Азия.

Источником воды, формирующей материковые гидрологические циклы, служит влага, испаряющаяся с акватории Мирового океана. Потенциальная водообеспеченность каждого из материков определяется атмосферными потоками влаги, поступающими с океана на сушу. Величины этих потоков, средние за многолетний период аэрологических наблюдений, были определены в период Международного гидрологического десятилетия и опубликованы в монографии «Мировой водный баланс…» (1974). Эти же величины атмосферного влагообмена материков с океанами приводятся и в книге «Водные ресурсы России…» (2008). Но в ней представлены уточненные данные по речному стоку с материков, средние многолетние значения которого приводятся для периода 1921–1985 гг., на 15 лет более продолжительного, чем в монографии (Мировой.., 1974), и для большего числа створов, что несколько уточняет структуру материковых гидрологических циклов, рассмотренную в предшествующих публикациях (Эдельштейн, 1991, 2005; Edelstein, 1992).

[1] Исследования проведены в рамках работы НОЦ № 02.740.110336; НШ-4964.2008.5.

Показатели структурных различий материковых циклов

Важнейшая характеристика материковых гидрологических циклов – средняя многолетняя потенциальная водообеспеченность материков адвективной океанической влагой представлена в табл. 1 ее абсолютной V_a и удельной υ_a величинами. Последняя соответствует слою атмосферных осадков, которые бы выпали на материк в среднем за год при условии полной конденсации поступающей на него влаги:

$$v_a = V_a / F \text{ , мм/год,}$$

где V_a – средний годовой объем океанической влаги, поступающей с воздушными массами на материк, F – площадь его поверхности (без прилегающих островов) с характерным ее размером $L = F^{0,5}$.

Как видно на рис. 1, потенциальная водообеспеченность материков различается более чем втрое – от почти 1700 мм/год (Австралия) до 500 мм/год (Азия), а в Антарктиде она, по-видимому, менее 200 мм/год (Мировой.., 1974). В соответствии с влагонасыщенностью океанических воздушных масс наиболее велика потенциальная водообеспеченность материков, расположенных преимущественно в низких широтах (Австралия, Южная Америка, Африка). Но и во внутритропическом, и в умеренном климатических поясах четко прослежи-

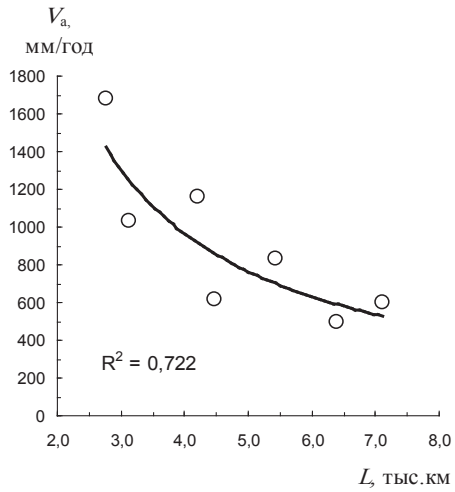


Рис. 1. Снижение удельной влагообеспеченности материков с увеличением их размера

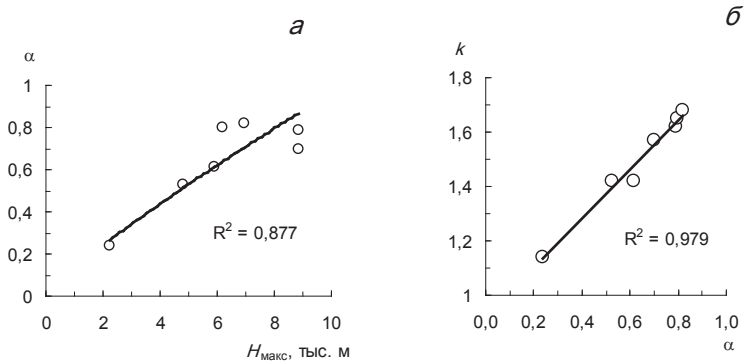


Рис. 2. Увеличение влагоперехвата наивысшими горными системами материков (а) и зависимость от него внутриматерикового влагооборота (б)

вается закономерность снижения потенциальной водообеспеченности с увеличением линейных размеров континентов.

Однако не вся влага (по-видимому, и соли), поступившая на континент с океана, выпадает в виде атмосферных осадков. От 8% этой влаги в Евразии до 76% в Австралии проносится воздушными массами транзитом и уходит на акваторию Мирового океана в составе атмосферного стока Q_a влаги с суши. Способность материка улавливать приходящую на него атмосферную влагу характеризует отношение $\alpha = \upsilon_a / x_a$ (x_a – средний слой адвективных осадков, поступающих с океана на материк), названное *коэффициентом влагоперехвата* (Эдельштейн, 1991). Его величина (табл. 1) зависит не столько от площади территории, как считал Г.П. Калинин (1968), сколько от его рельефа – высоты горных хребтов, которые преодолеваются влагонасыщенными воздушными массами (рис. 2 *а*).

Это подтверждается сравнением величин корреляционных отношений R^2 зависимости значений коэффициента α от морфометрических параметров $H_{макс}$ и L (табл. 2). Значение R^2 связи $\alpha = f(L)$ почти вдвое меньше, чем $\alpha = f(H_{макс})$, и статистически незначимо. Таким образом, не размер материка, а **абсолютная высота его горных систем служит главным орографическим фактором образования осадков из воздушных масс**, определяющим их восхождение и конденсацию переносимой влаги.

Особенно сильно перехватывается океаническая влага в экваториальном поясе Южной Америки благодаря Андам, в тропических

Таблица 1. Средние многолетние показатели структуры материковых гидрологических циклов (без островов и Антарктиды), по (Водные.., 2008, табл. 3.5, с. 64 и табл. 12.9, с. 514)

Характеристики	Евразия	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия
Размеры материков							
F, млн. км^2	50,575	9,800	40,775	29,530	20,060	17,800	7,615
L, тыс. км	7,11	3,13	6,39	5,43	4,48	4,22	2,76
H_{max}, км	8,85	4,81	8,85	5,90	6,19	6,96	2,23
Компоненты и показатели структуры циклов							
V_a, км^3/год	30200	10100	20100	24600	12300	20700	12800
υ_a, мм/год	597	1031	493	833	613	1163	1681
P_a, км^3/год	21170	5310	15860	15080	9790	16900	3040
x_a, мм/год	419	524	389	511	488	949	399
$\alpha = \upsilon_a/x_a$	**0,70**	**0,53**	**0,79**	**0,61**	**0,80**	**0,82**	**0,24**
P, км^3/год	33240	7540	25700	21400	16200	28400	3470
$\boldsymbol{k} = x/x_a$	**1,57**	**1,42**	**1,62**	**1,42**	**1,65**	**1,68**	**1,14**
$Q_{рс}$, км^3/год	16410	2900	13510	4050	7890	12030	352
$y_{рс}$, мм/год	324	296	334	137	393	676	46
Q_a, км^3/год	16800	7300	9500	18700	5300	7500	12250
$\chi = Q_{рс}/Q_a$	**0,98**	**0,40**	**1,42**	**0,22**	**1,49**	**1,60**	**0,03**
$\eta = y_{рс}/x$	**0,49**	**0,38**	**0,53**	**0,19**	**0,49**	**0,42**	**0,10**
$m_{иа}$, т/км^2×год	2,5	3,5	2,3	3,1	2,9	5,6	0,3
Σи, мг/л	94	127	87	167	92	46	201
$m_и$, т/км^2×год	23	32	21	21	28	29	7
m_s, т/км^2×год	164	78	184	59	102	134	48

Примечание. F – площадь, L – характерный размер территории, H_{max} – максимальная высота; V_a и υ_a – потенциальная водообеспеченность материка, P_a и x_a – объем и слой адвективных осадков, α – коэффициент влагоперехвата, P – объем атмосферных осадков, $m_{иа}$ – удельная масса морских солей, k – коэффициент влагооборота, Q_a – объем атмосферного стока влаги, $Q_{рс}$ и $y_{рс}$ – объем и слой возобновляемого речного стока, χ – коэффициент структуры материкового стока, η – коэффициент водного стока, $m_и$ – модуль ионного стока, Σи – минерализация воды, m_s – модуль стока наносов; жирным шрифтом выделены важнейшие показатели водообмена.

широтах Азии – горным системам хребтов от Тянь-Шаня до Гималаев, в умеренных широтах Северной Америки – Кордильерам. Благодаря особенностям рельефа слой адвективных осадков в Южной Америке вдвое выше, чем в плоскогорной Австралии, в полтора раза более потенциально влагообеспеченной. По той же причине различия в реальной водообеспеченности адвективной влагой (в сравнении с потенциальной влагообеспеченностью) между европейской и азиатской частями Евразии сокращается почти вчетверо, между Африкой и Северной Америкой – более чем в 10 раз (табл. 1).

Если из-за недостатка данных достаточно репрезентативных наблюдений величину концентрации ионов во всех адвективных океанических осадках принять в первом приближении одинаковой и равной в среднем 6 мг/л (Петренчук, 1979), то наибольшее поступление морских солей на единицу территории ($m_{иа}$) характерно для Южной Америки (табл. 1). Вдвое меньше морских солей приходит на поверхность Евразии, Африки и Северной Америки и почти в 20 раз меньше выпадает на Австралию. Массу океанических минеральных веществ, приносимых на материки с океана, необходимо учитывать при оценке химической денудации их территорий водным стоком (Эдельштейн, 2005).

Материкам-перехватчикам океанской влаги свойствен ослабленный атмосферный сток влаги с континента и потому интенсивный внутриматериковый гидрологический цикл с большими значениями коэффициента влагооборота $k = x/x_a$ (табл. 1). Г.П. Калинин (1968), используя оценки величины этого коэффициента для бассейна р. Оки и всей Европейской части СССР, Каспия, США, Евразии и других территорий, показал, что влагооборот возрастает с увеличением размера исследуемого региона. Эта тенденция подтверждается и положительной связью $k = f(L)$ для совокупности рассматриваемых материков, которая, однако, судя по значению R^2 в табл. 2, статистически незначима. Вместе с тем степенная зависимость величины k от максимальной высоты горных цепей статистически значима (обеспеченность p >95% при числе коррелируемых пар значений $n = 7$).

Очевидно, что величина k определяется значением коэффициента влагоперехвата α: корреляционное отношение $R^2 = 0{,}98$ положительной линейной связи между ними (рис. 2*б*) имеет обеспеченность p >99%. Коэффициент влагооборота k характеризует осредненное число циклов оборота местного водяного пара, образующегося на материке вследствие испарения воды с его поверхности. Статистическая оценка показала (Edelstein, 1992), что величина этого коэффициента

Таблица 2. Значения корреляционного отношения R^2 для зависимостей двух показателей интенсивности внешнего (α) и внутреннего (k) водообмена материков от значений их морфометрических параметров

Коэффициент	Максимальная высота H_{max}	Характерный размер $L = F^{0,5}$
Влагоперехвата, α	0,877	0,489
Влагооборота, *k*	0,823	0,414

не зависит от осредненных для территории каждого материка величин энергетических факторов местного влагооборота, определяющих интенсивность испарения, – радиационного баланса, потерь тепла на испарение и турбулентного теплообмена земной поверхности с атмосферой, средние за многолетие значения которых опубликованы в «Атласе теплового баланса…» (1963).

Таким образом, в масштабах материков, территории которых расположены в нескольких климатических поясах, роль теплобалансовых характеристик нивелируется. На первый план выступает преобразование потоков атмосферной влаги орографическими факторами – высотой преграждающих им путь горных хребтов и размерами пересеченной и шероховатой поверхности континента. Этот вывод важно учитывать при моделировании климатических изменений речного стока на основе вероятностных расчетов температуры воздуха и осадков, выполненных с использованием моделей изменения глобального климата.

Различия в интенсивности влагооборота в континентальных гидрологических циклах приводят к тому, что слой суммарных осадков (океанического и местного происхождения) в Азии и в Северной и Южной Америке примерно на 30% больше их потенциальной водообеспеченности. В Европе, Африке и особенно в Австралии он существенно меньше потенциальной водообеспеченности. Интенсификация внутриматерикового влагооборота из-за перехвата потока влаги и местного испарения особенно сильна в Южной Америке. Она проявляется в росте среднего слоя осадков в Амазонии по мере удаления от океана к центру континента, в обратном плювиометрическом градиенте на восточном склоне Анд. Эти два необычных климатических явления свидетельствуют не об отсутствии континентальных воздушных масс в Южной Америке, будто бы «*слишком малой для их формирования*» (Мировой.., 1974, стр. 353), а о трансформации атлантических воздушных масс в еще более влагонасыщенную континентальную воздушную массу над Амазонией, отличную по своим свойствам

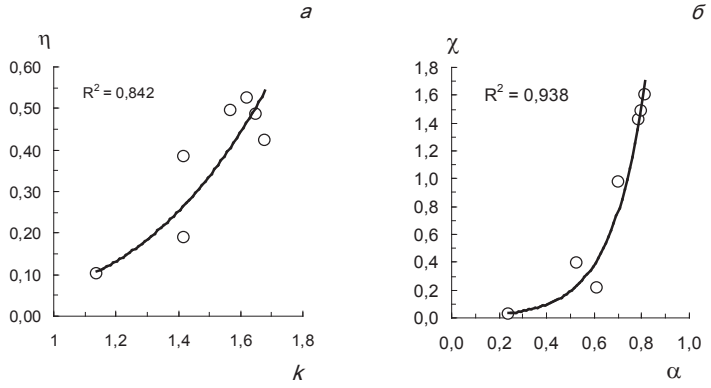


Рис. 3. Взаимосвязь показателей структуры материковых гидрологических циклов: а – коффициента стока с коэффициентом влагооборота, б – коэффициента структуры материкового стока с коэффициентом влагоудержания

и, по-видимому, аэрозольному составу от иссушенных и запыленных континентальных воздушных масс в Евразии, Африке и Австралии.

Между коэффициентом влагооборота k и коэффициентом стока η на материках имеется статистически значимая степенная зависимость (рис. 3 *а*): чем интенсивней внутриконтинентальный влагооборот, тем большая доля атмосферных осадков превращается в речной сток. Это еще более усиливает дифференциацию материков по располагаемым динамическим водным ресурсам.

Потенциально самая водообильная, Австралия, из-за наименьшего перехвата потока атмосферной влаги – материк с наименьшими водными ресурсами, а потенциально в полтора раза менее водообеспеченная, Южная Америка, из-за замедления Андами транзита влаги имеет в 15 раз больший слой речного стока. Аналогичную, но менее яркую, картину дает сравнение потенциальной и реальной водообеспеченности Африки и Евразии (табл. 1). **Эффект усиления воднoресурсной дифференциации материков в процессе формирования речного стока** особенно наглядно демонстрируется не степенной, а экспоненциальной, статистически весьма значимой зависимостью от коэффициента влагоперехвата α материком (рис. 3 б) соотношения средних за многолетие годовых объемов речного стока воды $Q_{\text{рс}}$ и атмосферного стока влаги Q_a с материка в океан. Это соотношение $\chi = Q_{\text{рс}}/Q_a$ названо *коэффициентом структуры материкового стока* (Эдельштейн, 2005). На графике $\chi = f(\alpha)$ точки-материки четко раз-

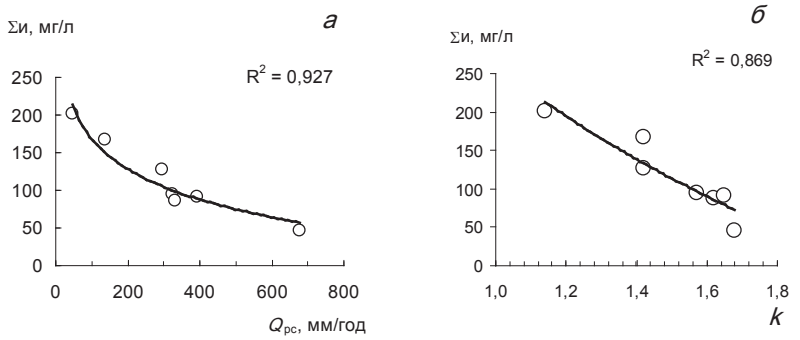


Рис. 4. Зависимость средней минерализации речных водных масс материков от среднего слоя водного стока (а) и коэффициента влагооборота k (б)

делились на два географических типа по структуре своего гидрологического цикла – на ***материки-перехватчики*** влаги – Азия и обе Америки, характеризующиеся значением $\chi > 1$, и ***материки-доноры*** влаги с $\chi < 1$ – Европа, Африка и Австралия, которые увеличивают вследствие местного испарения атмосферный вынос влаги. В результате речной сток становится в 3–5 и более раз меньше величины атмосферного стока влаги в океан. В экваториальном поясе материк-донор влаги – Африка по отношению к Азии, в тропическом – Австралия по отношению к Океании, в умеренном – Европа по отношению к Сибири, Алтаю и Средней Азии. Поэтому весь Евразийский континент в целом характеризуется значением структурного коэффициента $\chi \approx 1$.

Важно подчеркнуть, что материки обеих групп, различающихся типом структуры континентального гидрологического цикла, сосуществуют во всех трех климатических поясах. Это еще раз подчеркивает **ведущую роль орографии, консервативного в данную геологическую эпоху фактора, определяющего тот или иной тип функционирования материковых влагооборотов и ежегодно возобновляющихся водных ресурсов в глобальном гидрологическом цикле**.

Между средними значениями минерализации воды и слоя водного стока с материков связь статистически значима (рис. 4 *а*). По форме она сходна с подобными зависимостями, установленными для рек в каждой из гидрохимических зон суши, напоминает кривую разбавления любого раствора.

Подобная зависимость, статистически значимая, но с несколько меньшим значением R^2, имеется и между средней минерализаци-

ей речных водных масс и коэффициентом внутриматерикового влагооборота (рис. 4 *б*), что представляется не случайным. В результате многократного оборота влаги в местном гидрологическом цикле происходит природная дистилляция поверхностных вод суши вследствие увеличивающейся разбавляющей способности водообильных континентальных воздушных масс, формирующихся в зоне влажных экваториальных лесов. Например, в Амазонии удельная электропроводность воды в Риу-Негру составляет 9 мкСм/см, содержание основных катионов в лесном ручье у г. Манаус вдвое меньше, а в дождевой воде втрое меньше, чем в реке (Furch, 1984). Таким образом, минерализация осадков, выпадающих из местной воздушной массы, не менее, чем вдвое ниже характерной минерализации океанических атмосферных осадков. Другой пример ультрапресных вод (электропроводность 3,5 мкСм/см и минерализация менее 4,0 мг/л) – в речках бассейна р. Конго на плато Кунделунгу (Symoens, 1968).

Из-за сходной с гиперболой формы связи минерализации с расходом воды $\Sigma и = f(Q_{рс})$ наибольшее значение среднематерикового модуля ионного стока $m_и$ = 32 т/(км^2×год) имеет Европа, территория со средними величинами (в сравнении с остальными континентами) минерализации и стока (табл. 1). Этот показатель вещественной структуры материкового стока меньше и в гораздо более водообильной Южной Америке из-за малого значения средней минерализации речных водных масс, и в маловодной Австралии, хотя здесь речные воды в среднем наиболее минерализованы.

Между средним модулем стока наносов m_s (табл. 1) и коэффициентом внутриматерикового влагооборота k имеется статистически значимая экспоненциального вида связь (R^2 = 0,796). У материков-перехватчиков влаги средний модуль стока наносов >100 т/(км^2×год), а у материков-доноров – 50–78 т/(км^2×год) (Львович и др., 1991), вероятно, из-за меньшей средней величины энергии водного стока, поскольку относительно мал средней уклон поверхности материков этого географического типа.

Таким образом, различия в структуре материковых гидрологических циклов отчетливо и статистически значимо определяют суммарную величину среднего годового стока речных водных масс с каждого континента, а также выносимых в них масс растворенных и взвешенных минеральных веществ, характеризующих вещественный состав материкового речного стока.

Завершая рассмотрение географических типов формирования речного стока на материках, важно отметить, что это природное явление – разномасштабное. В зависимости от размера рассматриваемой территории изменяется роль отдельных географических факторов его формирования. «*Реки – продукт климата*», – хорошо известное высказывание А.И. Воейкова особенно очевидно при анализе стока рек, расположенных в разных климатических (природных, ландшафтных) поясах или зонах. На малых водосборах не только горных, но и равнинных, возрастает роль рельефа (высоты, пространственной ориентации склонов, их уклона), увеличивающего разнообразие ландшафтных условий формирования склонового и руслового стока воды. Однако и для крупнейших рек мира сток следует считать зависящим от орографических особенностей материков. Эти особенности определяют тип внешнего влагообмена материка с Мировым океаном, а внутриматериковый гидрологический цикл еще больше усиливает различия генетической структуры влаги и других переносимых веществ в речных и воздушных массах.

Изначальная неравномерность выпадения атмосферных осадков во всех регионах суши определяет колебания стока в речных системах, размах которых увеличивается суточной, синоптической и сезонной изменчивостью интенсивности испарения с территорий. Чем меньше интенсивность стока (его слой или модуль водного стока), тем сильнее его вариация, тем больше различия генетического состава речных водных масс в отдельные фазы водного режима, что проявляется в большей изменчивости минерализации и мутности воды. Лишь замедление стока в речных бассейнах благодаря частичному преобразованию его поверхностной составляющей в подземную, регулированию озерами, болотами, водохранилищами и прудами способствует уменьшению его изменчивости. Увеличивающийся при этом базисный сток стабилизирует состав континентальных водных масс благодаря физическим, физико-химическим и биохимическим процессам самоочищения воды. В итоге улучшаются ее питьевые качества.

Тенденции водохозяйственной интенсификации материковых циклов

В XX веке влияние хозяйственной деятельности общества на глобальный гидрологический цикл стало наиболее заметным в его континентальных звеньях. Это вызвано тем, что народонаселение Земли, выросшее за это столетие почти в 4 раза, увеличило потребление воды

Таблица 3. Оценка интенсификации материковых гидрологических циклов на расчетные водохозяйственные уровни 1980 и 2000 гг. (по (Водные.., 2008))

Составляющие, коэффициенты	Европа		Азия		Африка		Северная Америка		Южная Америка		Австралия	
	1980	2000	1980	2000	1980	2000	1980	2000	1980	2000	1980	2000
Водопотребление WS, км^3/год	449 438	463 447	1742 1702	2357 2276	166 123	235 176	676 649	705 674	117 109	182 163	23,5 20,4	32,5 27,6
Безвозвратное водопотребление, AE, км^3/год	165	182	1045	1377	82	111	194	212	58,7	78	9.6	13,6
Дополнительное испарение с водохранилищ, RE, км^3/год	12,7	14,4	45,5	59,6	35,0	37,0	33,3	36,8	8,10	20,5	2,62	3,00
Коэффициент влагоперехвата α	0,53		0,79		0,61		0,80		0,82		0,24	
Антропогенные атмосферные осадки AP, км^3/год	87	96	826	1088	50,2	67,7	155	170	48,1	64,0	2,3	3,3
Коэффициент влагооборота k_{2000}		1,45		1,72		1,43		1,68		1,69		1,141
Коэффициент водного стока η	0,38		0,53		0,19		0,49		0,42		0,10	
Антропогенный речной сток AQ, км^3/год	33	36	438	577	9,5	12,9	76	83	20,2	26,9	0,23	0,33

в 6,5 раз. Часть этой воды не возвращается в водный объект, из которого она была изъята, и эту часть называют в водном хозяйстве «безвозвратное водопотребление». Основная ее масса испаряется в процессе хозяйственного использования воды, а некоторая ее доля инфильтруется, пополняя подземные водные ресурсы. По мере урбанизации и развития тепловой и атомной энергетики, других водоемких производств, использующих воду для охлаждения теплоносителей, промывки изделий, удаления отходов производства и быта, безвозвратное водопотребление все больше становится антропогенным (или точнее, техногенным) испарением (*A*E) в структуре материковых гидрологических циклов.

Остальная вода, изъятая из поверхностных водных объектов и подземных водоносных слоев, возвращается в эти же или соседние водные объекты после использования в виде сточных вод. Они отличаются измененным составом взвешенных и растворенных веществ, зависящим от степени загрязнения природной воды бытовыми и производственными отходами. По уточненным оценкам (Водные.., 2008, табл. 12.16), водопотребление за XX век увеличилось в 6,9 раз, безвозвратное – в 6,6 раз, а сброс сточных вод в водоисточники – в 7,2 раза.

В величину безвозвратного водопотребления *A*E принято включать и дополнительное испарение с водной поверхности водохранилищ (*R*E), которыми затоплены земельные угодья. По данным (Водные.., 2008, табл. 12.15), к 2000 г. суммарная площадь водохранилищ в мире достигла 356,3 тыс. км^2, а величина дополнительного испарения воды с них – 169,5 км^3/год, т.е. *R*E = 8,6% *A*E. В этой оценке использована разность значений среднего годового слоя испарения с открытой воды и с поверхности окружающей суши, что, как правило, приводит к завышению величины этих дополнительных потерь стока. Расчеты испарения с суши базируются на метеорологических данных метеостанций, которые никогда на размещаются на речных поймах, периодически затапливающихся в высокие половодья и потому имеющих большую увлажненность и, по-видимому, больший слой испарения по сравнению с его значениями, приводимыми на картах испарения с суши.

Антропогенное испарение, называемое безвозвратным водопотреблением, с позиций гидроэкологии – это важнейшая компонента водохозяйственного баланса речного бассейна, региона, материка. При рациональном природопользовании она – основа высокопродук-

тивного орошаемого земледелия (чем больше затраты воды на транспирацию, тем больше урожай сельскохозяйственных культур), основа санитарно-гигиенического благополучия населения, наиболее эффективная форма самоочищения водных ресурсов от загрязняющих веществ в процессе природной дистилляции воды, сопровождающем интенсификацию внутриматерикового гидрологического цикла. Чем больше испарится воды из используемых водных ресурсов при водопотреблении, тем меньший их объем превратится в сточные воды, загрязняющие водные объекты гидросферы. Одновременно антропогенное испарение способствует частичному восстановлению расходуемых исходно чистых динамических водных ресурсов в континентальных звеньях гидрологического цикла вследствие интенсификации внутриконтинентального влагооборота.

Очевидно, что степень антропогенной интенсификации материкового гидрологического цикла в первую очередь зависит от развития водного хозяйства, но результирующие изменения компонентов этого цикла зависят от его структуры, определяемой, как показано выше, преимущественно орографическими особенностями континентов. Впервые важнейшие составляющие водохозяйственного баланса отдельных материков были оценены в монографии (Шикломанов, Маркова, 1987). Они отражали состояние мирового водного хозяйства к началу 1980-х годов. В монографии (Водные.., 2008) эти данные подверглись уточнению и пополнены аналогичными данными на водохозяйственный уровень развития общества к 2000 г., что позволяет судить о современной тенденции антропогенного воздействия на структуру материковых гидрологических циклов. В табл. 3 сопоставляются основные компоненты и показатели этой структуры для шести географически разнотипных материков.

Полное водопотребление *WS* на материках в 1980 и 2000 гг. представлено в табл. 3 в двух вариантах, различающихся между собой на несколько процентов. Это связано со сложностью сбора и обработки исходной неоднородной водохозяйственной информации, о которой пишут авторы разделов 12.6.1 и 12.6.3 коллективной монографии (Водные.., 2008), применявшие, по-видимому, различные методики обобщения исходных данных при составлении таблиц 12.16 и 12.15. Для оценки роли безвозвратного водопотребления в антропогенном изменении структуры материковых гидрологических циклов использованы ниже в табл. 3 данные табл. 12.15 (Водные.., 2008, стр. 538), чтобы не завысить величины антропогенного испарения *A*E и в то же

время учесть приводимые в этой таблице величины дополнительного испарения с водохранилищ *R*E.

Из сопоставления значений *WS* на всех материках виден продолжающийся в последнее 20-летие XX века рост полного водопотребления: от небольшого – в 2–4% в Европе и Северной Америке, где водное хозяйство наиболее развито, до умеренного в Азии и Австралии – 34–35% и ускоренного в Африке – 43% и особенно в Южной Америке – на 50%. Примерно такими же темпами увеличивалось в этот период и безвозвратное водопотребление *A*E в тех же парах материков, каждая из которых включает разнотипные гидрологические циклы: материк-влагоперехватчик и материк-донор влаги. Доля безвозвратного водопотребления в полном водопотреблении составляет почти неизменно в среднем 50% – от 30% в Северной Америке до 65% в Азии с ее обширными орошаемыми массивами земель и наибольшими дополнительными потерями воды на испарение с водохранилищ, достигшими почти 60 км^3/год (табл. 3).

Водяной пар, образующийся при антропогенном испарении, вместе с влагой, испарившейся с суши, смешиваются в атмосфере материков с адвективной влагой океанического происхождения. Поэтому, в первом приближении, допустимо принять, что для оценки объема образующихся из влаги антропогенного испарения *A*E атмосферных антропогенных осадков (*A*P) можно использовать среднемноголетнее значение коэффициента влагоперехвата α (табл. 1), т.е. $A\text{P} = \alpha \cdot A\text{E}$. Рассчитанные так значения особенно заметно увеличились за рассматриваемое 20-летие на материках-влагоперехватчиках, особенно в Азии – на 260 км^3/год. Даже в Австралии – материке-доноре с наиболее сильно выраженным транзитом атмосферной влаги и ее стоком на окружающие океаны – величина антропогенных осадков увеличилась почти в полтора раза (табл. 3).

Рассчитанные с учетом дополнительных антропогенных осадков значения коэффициента влагооборота k_{2000} на уровень развития водного хозяйства 2000 г. (табл. 3) характеризуют антропогенную интенсификацию внутриконтинентального влагооборота: в Азии он увеличился почти на 7%, в Европе и Северной Америке – почти на 2%, в Африке и Южной Америке – менее 0,5%. Малость увеличения значений *k* на этих разнотипных материках объясняется различными причинами. В африканском гидрологическом цикле велика интенсивность транзита атмосферной влаги, вовлекающего в атмосферный сток и большую часть водяных паров антропогенного происхо-

ждения. В южноамериканском цикле, наоборот, настолько интенсивен внутриконтинентальный влагооборот, что рост на 20 км^3/год антропогенного испарения (в основном из-за увеличения *RA* вследствие бурного строительства водохранилищ) слабо повлияло на влагооборот, в котором участвуют атмосферные осадки (табл. 1), на порядок большие в сравнении с африканским гидрологическим циклом.

Увеличение атмосферных осадков за счет безвозвратного водопотребления привело и к возникновению дополнительного антропогенного речного стока $AQ = \eta \cdot AP$ (η – коэффициент стока). Величины AQ на всех материках увеличивают динамические водные ресурсы, многократно компенсируют потери стока на дополнительное испарение с водохранилищ (за исключением материков-доноров влаги Африки и Австралии) и усиливают разбавление сточных вод в загрязняемых речных системах.

Несмотря на успехи в развитии водного хозяйства в XX веке, наибольшими гидроэкологическими проблемами в большинстве стран мира остаются наводнения и дефицит водных ресурсов, особенно недостаток воды, пригодной для питьевого водоснабжения. По оценкам экспертов ООН, частота и опасность наводнений возрастают вследствие антропогенной деградации природной среды. Это связано с ростом населения, нерегулируемой урбанизацией, что усиливает уязвимость городского и сельского населения во время стихийных бедствий (Глобальная.., 2000). Так, например, в 1998 г. самыми частыми стихийными бедствиями были 240 ураганов и 170 наводнений, принесших 85% общемирового материального ущерба. По сведениям, собранным Дартмутской обсерваторией наводнений Ганноверского университета (штат Нью-Джерси, США), наибольшее число наводнений зарегистрировано в Азии, на территории крупнейшего материка-влагоперехватчика. Он отличается от двух других материков этого типа водообмена самой малой долей базисного стока (26%) (табл. 4) из-за слабой естественной зарегулированности речных систем. В Азии еще недостаточно развита сеть больших водохранилищ – основных техногенных регуляторов стока средних и крупных рек.

В табл. 4 рассчитан ***техногенный потенциал регулирования стока*** Θ с континента. Этим термином названо (Эдельштейн, 2005) отношение суммарного полезного объема водохранилищ ($\sum W_{\text{п}}$) при НПУ к объему надбазисного стока Ф за его многоводные фазы при расходах воды в реке, превышающих их среднегодовое значение –

Таблица 4. Оценка техногенного потенциала регулирования материкового стока в его многоводные фазы

Водохозяйственные характеристики	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия
Речной сток $Q_{рс}$, км^3/год	2900	13510	4050	7890	12030	352
Базисный сток ϕ, % $Q_{рс}$	34	26	35	29	35	–
Надбазисный сток Ф, км^3/год	1914	9997	2632	5602	7820	~300
Число водохранилищ, n	576	815	176	915	109	89
Плотность сети водохранилищ ψ, 1/млн км^2	55	19	6	46	6	12
Полезный объем $\Sigma W_п$, км^3	258	792	400	677	176	38
Техногенный потенциал регулирования стока Θ, %Ф	12	7	14	12	2	13

Примечание. n – число водохранилищ, по данным табл. 12.8, площадь материков и суммарный полезный объем водохранилищ, по данным табл. 12.9 (Водные.., 2008).

$\Theta = \sum W_п/\Phi$, где $\Phi = \sum Q_м \times t$, $Q_м > \bar{Q}$ ($\bar{Q}$ – средний многолетний расход воды, м^3/с) и t = 86 400 с. Средняя годовая величина вызывающего наводнения надбазисного стока Ф получена по разности величин среднего годового стока рек ($Q_{рс}$, табл. 1), т. е. динамических водных ресурсов материка, и среднего за многолетний период базисного речного стока ($\phi \cdot Q_{рс}$) с материка:

$$\Phi = Q_{рс} \times (1 - \phi),$$

где ϕ – доля базисного речного стока с материка в его средней многолетней величине $Q_{рс}$.

Наибольшее число погибших в наводнениях 1998 г. оказалось в Африке, где количество наводнений было втрое меньше, чем в Азии. Несмотря на большой суммарный потенциал имеющихся там водо-

хранилищ, наводнения оказались самыми губительными вследствие не только малой плотности сети водохранилищ (табл. 4), но и явно недостаточного суммарного полезного объема водохранилищ в северном, западном и центральном гидрологических районах континента с низким базисным стоком (ϕ <0,30) (Эдельштейн, 2005а). Наибольший материальный ущерб от 13 наводнений в 1998 г. понесло хозяйство в Южной Америке. На этом материке-влагоперехватчике еще более водообильном, чем Азия, явно недостаточен техногенный потенциал регулирования речного стока. Плотность сети больших водохранилищ здесь столь же мала, как в Азии (табл. 4), несмотря на продолжающееся интенсивное гидротехническое строительство. Число жертв и материальные убытки минимальны в Европе, материке-доноре, где из-за структуры материкового гидрологического цикла масштаб наводнений не столь велик, как в Азии и Южной Америке, а главное, вдвое больше плотность сети крупных водохранилищ. Существенно сокращены жертвы и ущербы от наводнений в Северной Америке – материке-влагоперехватчике с крайне изменчивым режимом речного стока. В США создана самая густая сеть водохранилищ, около 50% которых имеют исключительно противопаводковое назначение. В стране со столь развитым регулированием речного стока прогнозируемые вероятные климатические его изменения в 15–20%, по мнению В. Грэфа (Graf, 1999), будут многократно меньше тех, что вызваны работой гидроузлов, последствия которой реальны, поддаются оценке и управлению.

Результаты анализа данных табл. 4, которыми уточнены средние многолетние величины речного стока, формирующегося на материках, а размеры полезной емкости водохранилищ мира относятся к 2000 г. (Водные.., 2008), практически полностью повторяют выводы о различиях значимости техногенного регулирования стока на материках с различным типом структуры гидрологического цикла, полученные ранее (Эдельштейн, 2005) по данным иных источников водохозяйственной информации. Совпадение выводов подтверждает наличие выявленных тенденций антропогенного преобразования материковых гидрологических циклов.

Регистрируемые до сих пор жертвы и материальные убытки от наводнений, как это ни парадоксально, нередко связаны с сооружением плотин в речных долинах. В нижних бьефах гидроузлов наблюдается увеличение урбанизации пойм. Эта негативная в социальном от-

ношении тенденция отмечается во многих странах мира (в США, России, Бразилии, Индии). Эта тенденция – следствие в корне ошибочного, но бытующего среди населения и незнакомых с гидрологией муниципальных служащих мнения, что водохранилища предотвращают наводнения. В действительности, **водохранилищами лишь ограничивают наводнения.** Уменьшая на гидроузлах максимальные расходы воды, сокращают частоту речных наводнений, высоту и площадь затопления поймы. Но наводнения редкой повторяемости в нижних бьефах гидроузлов неизбежны так же, как и случающиеся несколько раз в столетие природные катастрофические наводнения до начала регулирования стока. При таких гидрологических условиях диспетчерская служба гидроузла обязана осуществлять сброс воды через все его водоводы и водосбросы для предотвращения разрушения плотины. При максимальном расчетном расходе сброса воды, обеспеченность которого 1% (и тем более 0,1%), происходит затопление поймы в нижнем бьефе гидроузла. При правильно организованном оповещении населения об этом вынужденном водохозяйственном мероприятии человеческие жертвы маловероятны. Материальный ущерб может возмещаться при проведении соответствующей политики страхования имущества.

В настоящее время все более распространенным становится утверждение о происходящем на всех континентах учащении экстремально многоводных и маловодных фаз речного стока. Одни специалисты считают это следствием природного или антропогенного потепления климата на Земле. При этом в качестве главной причины увеличения природного оранжерейного (парникового) эффекта в атмосфере рассматриваются антропогенные (техногенные) выбросы CO_2 и других газов. При этом игнорируется антропогенное обогащение атмосферы водяным паром безвозвратного водопотребления, которое сохраняет тенденцию роста, опережающего рост численности населения Земли. Не это ли антропогенное преобразование материковых гидрологических циклов является наибольшим техногенным вкладом в увеличение оранжерейного эффекта, потепления зим и увеличения местных ливневых осадков, вызывающих паводки и наводнения?

Другие ученые (Антропогенные воздействия.., 2003) видят причину этой тенденции в том, что почти все виды нарастающего антропогенного преобразования ландшафтов речных бассейнов увеличивают внутри- и межгодовые колебания речного стока. Такова его реакция на сведение лесов, осушительные и ирригационные мелиорации

земель, их урбанизацию, а также на разнообразные виды реконструкции русловой сети, отбор воды на водоснабжение. Увеличение колебаний водного стока неизбежно усиливает изменчивость и концентрации растворенных и взвешенных веществ, ухудшает тем самым питьевые и технологические качества водных ресурсов. Это обостряет дефицит пригодной для водоснабжения воды.

В регионах с дефицитом воды используются различные мероприятия, технология которых продолжает совершенствоваться с целью сокращения себестоимости получаемых дополнительных водных ресурсов. Одни направлены на увеличение вовлекаемых в материковый гидрологический цикл чистых вод (стимуляция осадков, опреснение морских вод, использование талой воды айсбергов), другие – на сбережение и охрану водных ресурсов (совершенствование орошения, очистка сточных вод), третьи – на пространственно-временное их перераспределение посредством сооружения каналов и водохранилищ.

По мнению Г.П. Калинина (1968), перераспределение водных ресурсов позволяет подняться в их использовании и охране с локального (местного) уровня до бассейнового и даже межбассейнового уровня. Перераспределение будет применяться все больше по мере развития производительных сил общества. Сокращение числа сооружаемых больших водохранилищ в конце XX в. – явление временное. Лишь такие водоемы способны осуществлять глубокое сезонное и многолетнее регулирование стока в крупных водохозяйственных системах и обеспечивать межзональное его перераспределение. Внутриматериковая дифференциация регионов по условиям формирования стока и локализация очагов антропогенного испарения с ростом безвозвратного водопотребления все более остро будет ставить перед водным хозяйством задачу крупных переброс стока. При их проектировании и оценке их эффективности важно учитывать не только особенности внутриматерикового влагооборота, но и географический тип всей структуры материкового гидрологического цикла.

Значимость зональных и азональных географических факторов – орографических, гидрографических, метеорологических, гидрологических, гидрохимических – существенно различна в разномасштабных явлениях круговорота веществ и энергии, образующих всей своей совокупностью материковый гидрологический цикл. На территории материков, расположенных в нескольких климатических поясах, на первый план выступает преобразование потоков атмосферной влаги орографическими факторами – высотой преграждающих им путь

горных хребтов и размерами пересеченной и шероховатой поверхности континента. Это важно учитывать гидрологам при моделировании климатических изменений речного стока на основе прогнозов изменения температуры воздуха и осадков с использованием моделей глобального климата.

Орографическая обусловленность структуры внешнего и внутреннего водообмена материков-доноров и материков-влагоперехватчиков, несомненно, служит причиной как различия их потенциальных и реальных водных ресурсов, так и остроты гидроэкологических проблем развития общества на их территориях. Свойственная материкам-влагоперехватчикам природная интенсификация внутреннего влагооборота увеличивает остроту проблем ограничения масштабов наводнений и ослабления водного дефицита, решение которых видится лишь во все более глубоком регулировании речного стока, в его межбассейновом и межзональном перераспределении с помощью сложных водохозяйственных систем.

На этом пути развития мирового водного хозяйства возникают многочисленные технические и социально-экономические проблемы, решение которых тормозится не только различным уровнем экономического развития многочисленных стран, но и неодинаковыми экологическими знаниями различных слоев населения, несовершенством законов, регулирующих отношение общества к окружающей природной среде и водным ресурсам суши. Решение этих проблем может быть достигнуто при комплексном и корректном подходе к оценке последствий уже осуществленных водохозяйственных проектов в различных географических условиях. Корректность таких оценок невозможна без количественно обоснованного анализа причин наблюдающегося изменения природной среды в районах преобразования стока, раздельного учета влияния климатических изменений, роста различных форм антропогенной нагрузки на внутриматериковый гидрологический цикл, на водосборы и водные объекты, которая вовсе не связана с гидротехническим строительством для пространственно-временного регулирования стока.

Литература

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 367 с.
2. Атлас теплового баланса земного шара / Под ред. М.И. Будыко. М.: Изд. Междуведом. геофиз. комитета, 1963.
3. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
4. Глобальная экологическая перспектива (ГЕО-2000 – доклад ЮНЕП ООН о состоянии окружающей среды в конце тысячелетия) / Пер. с англ. М.: ИнтерДиалект+, 2000. 398 с.
5. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 377 с.
6. *Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.Л., Медведева Г.П., Мелешко А.В.* Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши Земного шара. М.: МГК РАН, 1991. 336 с.
7. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 638 с.
8. *Петренчук О.П.* Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 264 с.
9. *Шикломанов И.А., Маркова О.Л.* Проблемы водообеспечения и переброски речного стока в мире. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 294 с.
10. *Эдельштейн К.К.* Особенности материковых звеньев глобального гидрологического цикла // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1991. №3. С.95–102.
11. *Эдельштейн К.К.* Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.
12. *Эдельштейн К.К.* Гидрология материков. М.: Издательский центр «Академия», 2005а. 304 с.
13. *Edelstein K.K.* Global Hydrologic Cycle and Its Continental Links // GeoJournal, 1992. №27.3. Pp. 263–268.
14. *Furch K.* Waterchemistry of Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwater // The Amazon Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. 1984. P. 156–182.
15. *Graf W.L.* Dam nation: A geographic census of American dams and their hydrologic impacts // Water Resources Research. V. 35. 1999. №4. P. 1305–1311.
16. *Symoens J. J.* La mineralisation des eaux natureeles // Exploration hydrobiologique du bassin du lac Bangweolo et du Luapula, 1968. P. 33–45.

K.K. Edelstein

GEOGRAPHICAL TYPIFICATION OF THE CONTINENTAL HYDROLOGICAL CYCLE STRUCTURES AND TENDENCY TO THEIR ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

The structure indexes of the continental links of the Global Hydrologic Cycle are proposed and compared. It is shown that the greater are mountain ranges and continent area the more intensive is the capture of advective moisture by the continent, more intensive is a water cycle and the higher is the river flow from the continent. Two types of the continental water exchange structure are marked out. The technogenic potential of the river flow regulation by reservoirs is calculated. Australia and Africa have the largest values of this potential but Asia and South America have the least.

М.А. Лукьянович

СТРУКТУРА РЕЧНОГО СТОКА В ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ КОНТИНЕНТОВ

Классификация М.И. Львовича дополнена новыми типами водного режима рек мира, определены типы сезонного распределения стока для регионов, по которым у М.И. Львовича не имелось фактических данных, детализирована и расширена классификация типов водного режима.

Обилие рек на земном шаре, а также многообразие их гидрологического режима вызывают необходимость их классифицировать. Сезонное распределение стока находится в тесной взаимосвязи с источниками питания рек, которые, в свою очередь, зависят от климатических условий в речных водосборах. Определение вклада различных источников питания в суммарный годовой сток во время различных его фаз (половодье, паводки, межень) необходимо для расчета и прогноза величины речного стока, химического состава речных вод и водных масс в озерах и водохранилищах, которые питаются реками. Подобная классификация полезна при решении вопросов, связанных с водохозяйственным проектированием.

О классификации водного режима рек написано много региональных работ, но большинство из них предложены давно, когда авторы не имели еще достаточно надежных и достоверных многолетних данных. В наиболее известной классификации водного режима рек мира М.И. Львовича (1945), в основном повторенной в его работе (Львович, 1974), использованы данные по месячным слоям осадков, испарения и стока. Здесь в качестве начальных данных используются среднемесячные значения.

Наиболее распространенный метод расчета долей различных источников питания и внутригодового распределения стока – это графическое расчленение гидрографа реки. При этом обычно учитываются данные о режиме атмосферных осадков и снеготаяния в бассейне реки, величина и внутригодовое распределение испарения, время добегания вод, характер связи поверхностных и грунтовых вод. В последние годы все чаще начинают использоваться сложные математические модели формирования стока.

Целью работы является уточнение классификации М.И. Львовича, дополнение ее новыми типами водного режима рек мира, опреде-

ление типов сезонного распределения стока для регионов, по которым у М.И. Львовича не имелось фактических данных, детализация классификации типов водного режима, а также оценка устойчивости типизации сезонной структуры стока на примере рек в разных географических поясах суши. Основой исходных данных послужили карты Атласа мирового водного баланса (1974) и база данных ЮНЕСКО Global River Discharge в Интернете.

Речной сток имеет четыре основных источника питания: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное. Преобладание одного из этих источников накладывает на водный режим реки определенный отпечаток и характеризует географические и климатические условия, в которых формируется ее гидрологический режим. М.И. Львовичем была разработана схема классификации рек земного шара, предусматривающая выделение типов режима по доминирующему источнику питания. Для определения вклада в годовой сток реки того или иного источника приняты три градации:

1) *исключительное значение* – в тех случаях, когда сток, обусловленный одним из источников питания, превышает 80% величины годового стока реки, остальные источники питания могут не учитываться;

2) *преимущественное значение* – если сток одного из источников питания составляет от 50 до 80% суммарного годового стока, с указанием и других источников питания, составляющих более 10% годового стока;

3) *преобладающее значение* – имеет место, когда река питается несколькими источниками (обязательно более двух), вследствие чего вклад каждого из них может оказаться менее 50%.

Таким образом, для определения типа питания реки в соответствии со схемой классификации, предложенной М.И. Львовичем, необходимо установить процентные доли вклада в сток источников питания в пределах трех градаций: менее 50%, от 50 до 80% и более 80%. При этом допустимы небольшие ошибки в несколько процентов, так как это, как правило, редко приводит к неопределенности в определении водного режима реки.

М.И. Львовичем были использованы материалы по стоку почти 400 рек мира, которые распределены по земному шару крайне неравномерно. Большая часть створов расположена на реках зарубежной Европы и Европейской части России, в странах ближнего за-

рубежья; и очень незначительно их количество в странах Азии, Африки, Южной Америки, особенно в высокогорных и пустынных районах, а также на Крайнем Севере России, Аляски и Канады.

Рассмотренным типам для простоты обозначения присвоены буквенные индексы: латинскими буквами R, S, G и U показывается преобладающий источник питания: дождевое (R), снеговое (S), глетчерное (G) и подземное (U). Если буква заглавная, то подразумевается «исключительный вклад» данного источника (например, S – «исключительно снеговое питание»), если рядом с заглавной буквой стоит индекс «х», то подразумевается «преимущественное» питание данным источником (например, Rx – «преимущественно дождевое питание»), если строчная буква с индексом «х», то – «преобладающее» питание данным источником (например, Gx – «преобладающее ледниковое питание»).

Сезонное распределение стока – это второй признак, дополняющий схему классификации, предложенную М.И. Львовичем. Он характеризует водный режим по преобладанию величины стока в тот или иной календарный сезон года. Даже при одинаковых источниках питания, в зависимости от температуры воздуха, распределения слоя осадков и слоя испарения, преобладающий сток может наблюдаться в разные сезоны. Например, таяние снежного покрова и, следовательно, увеличение стока рек в высоких широтах происходит летом, а в умеренных широтах – весной. Наибольшая часть годового стока на реках экваториальной зоны проходит осенью и весной, а в областях с муссонным климатом многоводный период приходится на лето и т. д. М.И. Львович (1945) отмечает условность принятых для оценки внутригодового распределения стока календарных сезонов. Однако на этот путь отказа от генетических сезонов приходится, по его мнению, становиться во всех случаях, когда обобщение стока производится для больших пространств суши.

Сезонное распределение стока выражается в процентах от годового, и для определения сезона с преобладающим стоком приняты те же градации, что и для источников питания рек: P – преобладающий сток весной, E – преобладающий сток летом, A – преобладающий сток осенью, H – преобладающий сток зимой. Соответственно регистром букв и индексом «у» показывается процент объема сезонного стока в годовой его величине (например, P – «исключительно сток весной» (более 80%), Ру – «преимущественно сток весной» (50 – 80%), ру – «преобладающий сток весной» (менее 50%)).

Таблица. Частота встречаемости отдельных типов водного режима рек по преобладающему источнику питания и сезону с преобладающим стоком

Зональные и азональные источники питания		Сезонное распределение стока											
		Весна			Лето			Осень			Зима		
		P	**Py**	**py**	**E**	**Ey**	**ey**	**A**	**Ay**	**ay**	**H**	**Hy**	**hy**
Дождевое	R		2	23		41	37		25	33	1	11	14
	Rx		7	43	2	43	42		25	48		12	36
	rx		4	15		9	6			1			9
Снеговое	S	9	3		2								
	Sx	3	44	23	5	12	7						
	sx		2	19	1	21	16					1	1
Ледниковое	G												
	Gx					2							
	gx			2		14	5						
Подземное	U	**Равномерное распределение стока**											
	Ux					4			1	2		1	2
	ux			5		1							
Пустынный	D	3											

Сочетание двух рассмотренных выше признаков, принятых для классификации, дает более или менее полную характеристику основных черт водного режима рек земного шара. М.И. Львовичем было выявлено 38 типов водного режима: 19 относится к дождевому питанию, 10 – к снеговому, 4 – к ледниковому и 5 – к питанию преимущественно подземными водами.

При дифференциации рек по источникам питания и сезонному распределению объема их стока наиболее сложно определение соотношения вклада источников питания, когда их более двух (три или четыре). Например, при питании реки тремя источниками (грунтовые воды, снеговое и дождевое питание) на спаде половодья бывает очень сложно отличить, где еще снеговое питание, а где уже начинается подземное. Во время снеготаяния не вся талая вода сразу идет на питание реки, часть ее фильтруется в почву, а через один-два месяца начинается грунтовая подпитка водотока этой водой, превратившейся в подземную составляющую стока.

В данной работе для расчета долей различных источников питания использованы методики, предложенные М.И. Львовичем (1945), П.С. Кузиным (1960), Г.П. Калининым (1968) и В.М. Евстигнеевым (1990), с незначительными изменениями и дополнениями.

В ходе данной работы рассматриваются зональные реки. Речная система называется зональной (иногда интразональной), если ее водосбор целиком расположен в той же природной зоне, что и сам водный объект. В ходе работы рассмотрено около 700 створов на всех континентах: в Европе –155, Азии – 176, в Африке – 118, в Северной Америке – 101, в Южной Америке – 87, в Австралии и Океании – 63.

В результате расчета для каждого створа среднемноголетних значений составляющих ежемесячных водных балансов водосбора (данные по слою атмосферных осадков и слою испарения определялись по диаграммам карт Атласа мирового водного баланса (1974)) произведена оценка преобладания того или иного источника питания, а также преобладания объема стока в каждый из 4 сезонов. Выделено 52 типа водного режима рек на территории суши. По аналогии с таблицей в монографиях М.И. Львовича (1945 и 1974) результаты оценки сезонной и генетической структуры водного стока зональных рек мира показаны в таблице. Стало очевидным, что к типам водного режима М.И. Львовича следует добавить еще один тип: пустынный в бесснежных тропических и экваториальных зонах, где отдельные паводки редки и возможны в любое время года, а при осреднении длинного ряда лет можно получить гидрограф с якобы большой зарегулированностью. Таковы реки: Катчи в Мавритании, Белая Вольта в Буркина-Фасо или Бата – приток р. Шари в ЦАР и Чаде.

Из выявленных 52 типов речного режима 24 относятся к группе «преимущественно дождевого питания», 16 – «преимущественно снегового», 7 – «преимущественно подземного», 4 – «преимущественно ледникового». В группе «пустынный тип» реки характеризуются очень маленькой величиной стока, а их питание, как правило, – отдельным ливнем (иногда несколькими), проходящим раз в год или даже реже (практически 100%-ное дождевое питание).

В работе М.И. Львовича (1945) по районированию рек мира было выявлено лишь 38 типов. При этом пять (13%) из них только теоретически. М.И. Львович (1945) указывает, что группы режимов R-ey, Rx-E, Rx-H, rx-ay, GE получены по косвенным данным и носят гипотетический характер, но наличие их в природе, особенно групп Rx-H и GE, не вызывает сомнений. По имевшимся в его распоряжении данным о стоке рек земного шара, для этих групп не удалось подобрать примеров. Примеры для трех типов найдены: R-ey – р. Шара-Мурен

в Центральном Китае, р. Кришна на полуострове Декан в Индии, р. Шуэли в Мьянме, реки Уотерхауз и Херберт в Австралии и другие); Rx-E – р. Каладан в Бангладеш и небольшая река на полуострове Катхинвар в Индии; rx-ay – р. Ламбро в Италии. Реальность других 33 типов подтверждена; помимо этого, обнаружено 15 новых типов, которых нет в монографиях (Львович, 1945 и 1974).

Наиболее часто встречающиеся типы сезонной модификации речных водных масс – это «преимущественно дождевое питание с преобладающим стоком осенью» (Rx-ay, 48 рек из 700) и «преимущественно снеговое питание со стоком преимущественно весной» (Sx-Py, 44 реки). Первый типичен для восточного склона Анд на северо-западе Аргентины, Перуанских Анд, северного побережья Венесуэлы, южной части Мексики, территории Танзании и юга Кении, области в верховьях р. Луалаба, Эфиопского нагорья, западной части ЦАР, южной части Чада и почти на всех островах Океании. Второй тип водного режима обычен для рек на большей части территории России.

Также часто встречаются следующие типы речного режима: «преимущественно дождевое питание с преобладающим стоком весной» (Rx-py, 43 реки), «преимущественно дождевое питание с преимущественно летним стоком» (Rx-Ey, 43), «преимущественно дождевое питание с преобладающим летним стоком (Rx-ey, 42), «почти исключительно дождевое питание с преимущественным летним стоком» (R-Ey, 41 река из рассмотренных).

Самые распространенные виды питания – «преимущественно дождевое» (258 рек из 700) и «почти исключительно дождевое» (187), реже встречаются «преимущественно снеговое» (94 реки) и «преобладающее снеговое» (61 река). Самые распространенные сезоны с преобладающим стоком – «преимущественно сток летом» (147 рек) и «преобладающий сток весной» (130), реже встречаются «преобладающий сток летом» (113) и «преобладающий сток весной» (84 реки). В выборке очень мало рек с преобладанием ледникового питания (23 реки) и с преобладанием подземного (16 рек). В ней не оказалось рек с почти исключительным ледниковым питанием и почти исключительным подземным питанием, а также рек с почти исключительным стоком осенью. М.И. Львович (1945 и 1974) выделял реки смешанного питания с долей в годовом стоке каждого источника в отдельности менее 50%. Таких среди 700 рек – 132 (19%).

Из вновь обнаруженных 20 типов водного режима наибольшее число рек с весенними и зимними паводками: R-ру (23), R-Ну (11) и Rx-Ру (7), остальные типы встречаются редко: R-Ру (2), R-Н (1), rx-Ру (4), rx-Еу (9), S-Ру (3), S-Е (2), Sx-Р (3), sx-Ру (2), sx-Ну (1), sx-hy (1), gx-ру (2), Ux-Еу (4), Ux-Ау (1), Ux-ау (2), Ux-Ну (1), Ux-hy (2),ux-Еу (1).

При сравнении полученных результатов по определению долей преобладающего источника питания на территории России и сопредельных государств с данными, приведенными в монографии «Гидрография СССР» (Давыдов, 1955), было установлено, что они практически совпадают с оценкой этого автора. Различия в долях в питании рек отдельными источниками не превышают 3–5%. Однако, полученные результаты, вероятно, более репрезентативны, так как использованы данные, осредненные за многолетний период, а не по гидрографу одного года или нескольких лет.

Оценочные расчеты 9000 ежемесячных водных балансов для вдвое большего числа рек мира показали прогностическую ценность классификационной матрицы типов водного режима рек мира, разработанной М.И. Львовичем более 60 лет назад. В нее добавлены еще 20 вновь установленных типов структуры стока. И их число может быть увеличено при структурном анализе гидрометеорологических данных.

Установлена репрезентативность выделяемых типов, для большинства рек повторяющихся даже в годы экстремальной водности.

Расширенная классификация водного режима рек может быть использована для типизации водных масс рек мира по двум признакам: по их генетической структуре и по соотношению объемов их сезонных модификаций.

Представляется, что создание еще более фундаментальной классификации водного режима рек мира – это реальный путь к созданию серии карт материков и их крупных регионов, характеризующих пространственное распределение речных водных масс зонального класса с различным химическим составом. Подобная карта Г.А. Максимовича (1955) требует детализации и уточнения подобно выполненному исследованию.

Одной из актуальных задач дальнейших исследований является определение влияния на типы водного режима рек современных изменений климата и хозяйственной деятельности на водосборах.

Литература

1. Атлас мирового водного баланса. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
2. *Давыдов Л.К.* Гидрография СССР. Ч. 2. Гидрография районов. Л.: Изд. ЛГУ, 1955. 600 с.
3. *Евстигнеев В.М., Зайцев А.А., Сваткова Т.Г., Чалов Р.С., Шенберг Н.В.* Водный режим рек СССР (карта для высшей школы масштаба 1:8 000 000) // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1990. №1. С. 10–16.
4. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 377 с.
5. *Кузин П.С.* Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 455 с.
6. *Львович М.И.* Элементы режима рек земного шара. М.: Гидрометеоиздат, 1945. 126 с.
7. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 274 с.
8. *Максимович Г.А.* Химическая география вод суши. М.: Географгиз, 1955. 328 с.

Lukyanovich M.A.

RIVER RUNOFF STRUCTURE IN THE HYDROGRAPHIC NET OF CONTINENTS

Classification by M.I. Lvovich is completed by new water regime types of the world rivers, types of seasonal runoff distribution for regions on which M.I. Lvovich did not have data are defined, classification of water regime types is detailed and expanded.

С. В. Долгов

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РЕЧНОГО СТОКА В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ [1]

Установлены закономерности пространственно-временной изменчивости вертикальной структуры речного стока в Европейской части России, получен ряд статистических зависимостей, отражающих различные ее аспекты. Оценены изменения стока, его поверхностной и подземной составляющих в зависимости от изменений средних многолетних годовых осадков и температуры воздуха.

Введение

Эффективность и точность используемых в гидрологии методов расчета и прогноза во многом зависит от полноты знаний о процессах формирования речного стока и возможности их детализации. Между тем в гидрологических расчетах преобладают подходы, базирующиеся на интегральных для речного бассейна показателях. Особенно это относится к стоку, величина которого определяется по данным гидрологических стационаров, замыкающих речные бассейны, с весьма разнообразными условиями его формирования. Анализ их гидрологической роли осложнен тем, что в стоке отражается влияние как плановой ландшафтной структуры речного бассейна, так и его вертикальной поясности (ярусности).

В гидрологических расчетах чаще всего в качестве операционных единиц фигурируют отдельные элементы ландшафтной структуры, то есть изучается плановая структура стока. Однако вертикальной упорядоченности водосборной площади пока что должного внимания не уделяется, несмотря на то, что в этом направлении любая территория гораздо более неоднородна, чем в плане. Именно на пути более детального изучения вертикальной структуры стока, отражающей особенности гидрологической поясности речного бассейна, видятся перспективы совершенствования расчетных и прогнозных методов.

В наиболее общем виде особенности вертикальной структуры стока устанавливаются выделением поверхностной и подземной его

[1] Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00665) и программы № 11 фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН.

составляющих. Одним из первых такую дифференциацию предложил осуществить Г.Н. Высоцкий (1932, 1960). В дальнейшем она получила развитие в работах Б.И. Куделина (1960), О.В. Попова (1968), М.И. Львовича (1950), А.Н. Бефани (1959), И.С. Зекцера (1977) и других авторов. В основе этой дифференциации лежит расчленение гидрографов речного стока, исходящее из различий в динамике поверхностного и подземного стекания воды. Составлены карты этих составляющих для различных регионов мира. В основном, однако, прояснены средние многолетние характеристики. Много вопросов остается в оценке вклада поверхностной и подземной составляющих в пространственно-временную изменчивость суммарного стока, в соотношении этих составляющих в годы разной водности, в оценке изменений вертикальной структуры стока в результате возможных изменений климата и т.д. Кроме того, в ряде работ (Бефани, 1959; Воронков, 1970; Коронкевич, 1986, 1990 и др.) показано, что названные составляющие стока, в свою очередь, могут быть дифференцированы в соответствии с высотным ярусом и более четким генетическим происхождением, например, с выделением стока верховодки, формирующейся в почвах и грунтах.

Выбор уровня дифференциации разреза зависит от характера решаемых задач и степени освещенности фактическими данными. Далеко не во всех случаях бывает возможным оценить генетические составляющие стока, соответствующие всем слоям разреза, вплоть до элементарных. Нехватка данных приводит к необходимости определенных упрощений. Для многих целей бывает достаточно выделять в речном бассейне хотя бы поверхностный и подземный ярусы формирования стока, соответственно выделяя его поверхностную и подземную составляющие. Но даже эта, упрощенная до двух точек, схема учета неоднородности разреза позволяет обнаружить важные региональные закономерности пространственных и временных изменений вертикальной структуры речного стока.

Цель данной работы заключается в выявлении закономерностей пространственных и временных изменений вертикальной структуры стока, обусловленных вариациями климатических факторов.

Исходные данные

В работе использованы данные многолетних наблюдений (по состоянию на 1980 г.) за атмосферными осадками по 162 метеостанциям. Они представлены 486 рядами осадков в целом за гидрологический год (с ноября по октябрь), а также за холодный (ноябрь – март) и теплый

(апрель – октябрь) периоды. Данные об осадках получены из банка данных DSI-3720, созданного в Национальном центре климатических данных США (NCDC NOAA). В эти данные внесены приборные поправки, в том числе поправки на смачивание, к показаниям осадкомеров Третьякова (после 1950-х гг.) и дождемеров Нифера (в более ранний период). В рядах осадков остались пропуски вследствие отсутствия измерений по различным причинам. Кроме того, в них могут содержаться неточности, связанные с перемещением некоторых станций, заменой приборов и т.д. Для минимизации издержек, связанных с разного рода неточностями, и сохранения возможности сопоставимости с ранее выполненными водно-балансовыми оценками (Коронкевич, 1990; Водные ресурсы.., 1967 и др.) эти данные были приведены к распределению годовых осадков, предложенному ГГИ и ГГО (Водные ресурсы.., 1967). Приводка норм осадков банка данных DSI-3720 ($\mathbf{X}_{\text{база}}$) к принятым в качестве эталона нормам осадков ($\mathbf{X}_{\text{ГГИ}}$) была выполнена по установленной нами достаточно тесной ($\mathbf{R} = 0{,}88$) коррелятивной зависимости:

$$\mathbf{X}_{\text{база}} = 0{,}76\mathbf{X}_{\text{ГГИ}} + 42{,}08$$

Эта зависимость использовалась для определения норм рядов осадков, интерполированных в центры тяжести речных водосборов.

Кроме того, в качестве исходной информации использовались многолетние данные по температуре воздуха (Коронкевич и др., 2007).

Другой массив исходной информации представлен многолетними наблюдениями за речным стоком и его составляющими по 192 гидрометрическим створам. Подземная составляющая была определена в лаборатории подземного стока ГГИ[2] путем генетического расчленения гидрографов по методике Б.И. Куделина[3] за каждый год наблюдений. Поверхностная составляющая рассчитана по разности речного и подземного стока. Кроме этих показателей, были подготовлены ряды коэффициента подземного питания рек (доли подземной составляющей в суммарном речном стоке). В основном привлекались данные о стоке средних рек с площадями водосборов от 1000–1500 км^2 до 50 000 км^2 и находящихся в наименее измененных условиях. Такие реки, как правило, дренируют типичные водоносные горизон-

[2] В ходе совместных с кафедрой гидрогеологии МГУ работ по региональной оценке ресурсов подземных вод (Почвенно-геологические.., 1984 и др.).

[3] Несмотря на методические различия, методики расчленения М.И. Львовича и Б.И. Куделина дают в целом сходные результаты, особенно в применении к равнинным речным бассейнам (Коронкевич, 1990).

ты, и данные по их стоку отражают физико-географическую зональность. Для пространственной привязки рядов стока по топографическим картам после оконтуривания границ водосборов были определены координаты (широта и долгота) их центров тяжестей.

Методика исследований

К наиболее важным, предварительно рассмотренным вопросам, относятся оценка сопряженности между гидрологическими полями, заданными в центрах тяжести водосборов, и метеорологическими полями, измеряемыми на метеостанциях с другими координатами, интерполяция и экстраполяция рядов наблюдений, восстановление имеющихся в них пропусков. В связи с этим был разработан соответствующий алгоритм вероятностно-статистического моделирования и реализован в виде компьютерной программы на языке программирования Фортран-90. Та или иная из перечисленных задач решается в зависимости от задаваемого режима. При рассмотрении данного элемента водного баланса (предиктанта) в общем случае задаются три группы предикторов – его ряды со сдвижкой до 5 лет («автопредикторы»), ряды других элементов водного баланса и факторов, ряды-аналоги. Это позволяет наиболее полно использовать исходную информацию, учесть возможную связь анализируемого элемента водного баланса с другими элементами, а также учесть особенности структуры его многолетних колебаний. Построению итоговой модели предшествует несколько этапов отбора наиболее значимых рядов-предикторов на независимом материале, обладающих максимальной коррелятивной связью с расчетным пунктом и слабо коррелированных между собой. В связи с пропусками в рядах предикторов и изменением водности от года к году состав предикторов может меняться. Их окончательный выбор для данного года осуществляется путем проведения проверочных расчетов на выделяемом для этого периоде адаптации. Эти расчеты производятся также на независимом материале. Отбор оптимального состава и числа предикторов осуществляется по минимуму отношения среднеквадратической погрешности проверочных расчетов к среднеквадратическому отклонению анализируемого ряда. При работе в режиме интерполяции в зависимости от характера решаемых задач имеется возможность выбора ее способа, в том числе с использованием пространственно-корреляционных функций, весовой анизотропной интерполяции и простого усредне-

ния данных ближайших пунктов. Надежность расчетов оценивалась также на независимом материале.

Наряду с традиционным рассмотрением абсолютных и относительных величин гидрометеорологических показателей анализировались и их нормированные значения. При этом все исходные ряды (речного, подземного и поверхностного стока, коэффициентов подземного питания и др.) были трансформированы в календарные ряды обеспеченности (водности). Затем для каждого года относительно суммарного речного стока была определена его водность (обеспеченность (Чеботарев, 1978)) в каждом из 192 пунктов. Для каждого года была также рассчитана усредненная по всей территории (по 192 пунктам) водность. Это позволило объективным образом отобрать годы различной водности для дальнейшего анализа. В качестве многоводного года был выбран 1966 г. Усредненная по всей территории обеспеченность речного стока за этот год составила около 20%. Маловодным является 1975 г. (обеспеченность – 80%), а средним по водности – 1969 г. (47%). Помимо реального пространственного распределения анализируемых показателей осадков и стока, в эти годы анализировалось также расчетное пространственное распределение для лет обеспеченностью 5, 50 и 95%, задаваемой одинаковой для всей рассматриваемой территории.

Каждый из полей-элементов структуры стока дает представление о различных аспектах его пространственно-временной изменчивости и отражает преимущественно роль зональных факторов. Генетический ее анализ заключается в оценке, прежде всего, роли поверхностной и подземной составляющих. В техническом отношении эта задача может быть решена одним из способов согласования гидрологических полей (оценки их сопряженности) (Сачок, Цуркова, 1984; Жук, Долгов, 1985). В качестве меры сопряженности использовался коэффициент корреляции.

В итоге для показателей различной обеспеченности (5, 50 и 95%) и лет различной водности были построены электронные карты распределения по территории речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, степени соотношения и сопряженности между ними (рис. 1, 2), а также сопряженности стока с осадками. Представленная на картах информация о пространственно-временных соотношениях элементов водного баланса дает дополнительную возможность для выявления закономерностей формирования речного стока в годы разной водности.

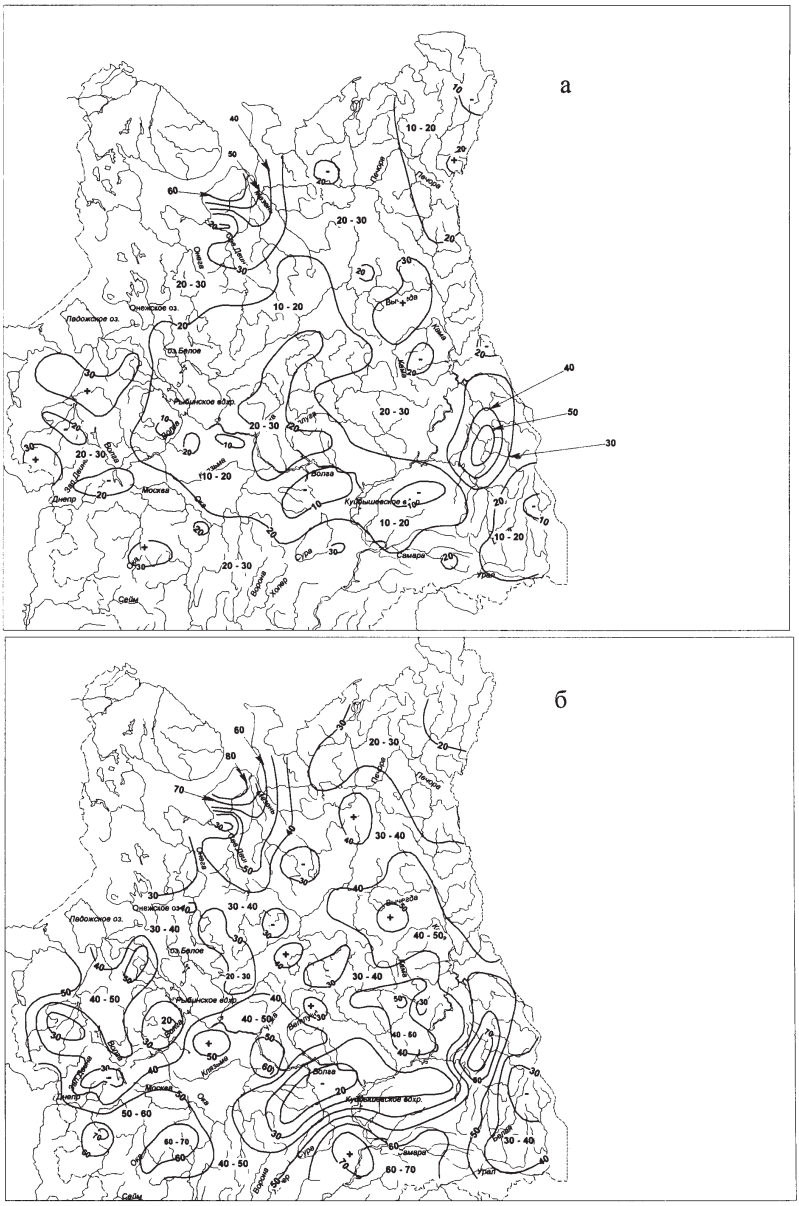


Рис. 1. Годовой поверхностный сток 5% (а) и 95% (б) обеспеченности (в мм слоя)

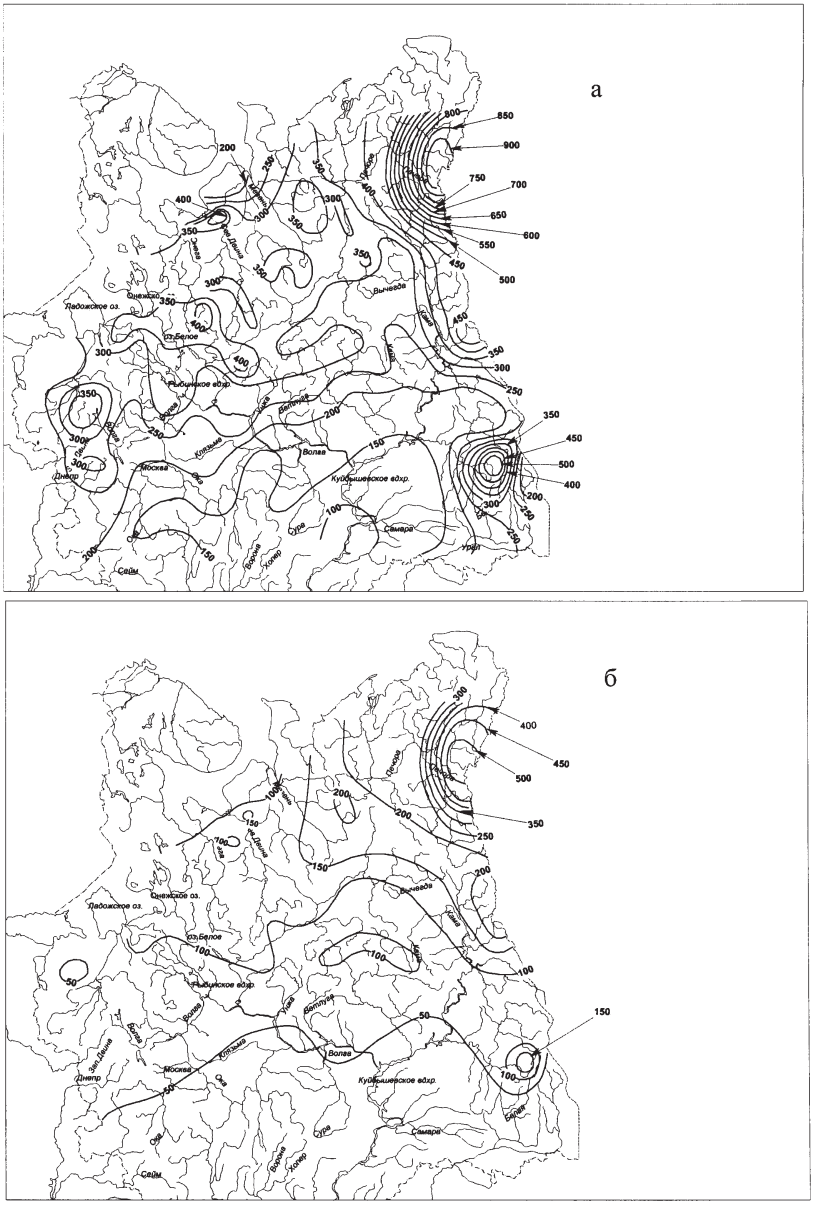


Рис. 2. Коэффициент подземного питания рек в годы 5% (а) и 95% (б) обеспеченности суммарного стока (в %)

Таблица. Коэффициент годового речного стока

Тип ландшафтов	Маловодный 1975 г.	Многоводный 1966 г.
Северная тайга	0,40–0,60	0,45–0,65
Средняя тайга	0,20–0,40	0,40–0,55
Южная тайга	0,15–0,35	0,25–0,50
Лесостепь	0,10–0,15	0,15–0,30
Степь	0,06–0,10	0,10–0,15
Северо- и Средне-Уральской области	0,50–0,85	0,60–0,85
Южно-Уральская обл.	0,15–0,50	0,20–0,60

Пространственное распределение структуры речного стока в годы разной водности

Наименее благоприятные условия для формирования стока отмечаются в маловодные годы. Их коэффициент стока, как правило, ниже коэффициента стока многоводных лет (табл.).

Степень изменчивости водности рек по территории за конкретные годы оценивалась коэффициентом вариации, т.е. анализировалась изменчивость ежегодных полей водности, заданной в каждом из 192 пунктов величиной обеспеченности стока. В результате получена достаточно тесная статистическая зависимость (рис. 3 а). Она показывает, что с уменьшением водности года пространственная изменчивость речного стока уменьшается. В маловодные годы «поле» стока становится более однородным, чем в многоводные годы, когда может наблюдаться даже несовпадение «знака» водности отдельных районов с ее оценкой для территории в целом.

Пространственное распределение речного стока за конкретные годы обусловлено, прежде всего, особенностями гидрологического функционирования поверхностного яруса речного бассейна. Оно тесно связано с поверхностной составляющей стока (рис. 4 а). Влияние подземного яруса проявляется практически синхронно с поверхностным ярусом, с небольшой разницей в обеспеченности суммарного речного и дренируемого реками подземного стока, составляющей около 10%. Но связь речного стока с подземным стоком не столь тесная, характеризуется существенным разбросом точек (рис. 4 б). К этому приводит значительная инерционность процессов формирования подземного стока, что, в частности, отражается в высокой его внутрирядной связности. По сравнению с рядами поверхностного стока в них не так часто встречаются случаи смены маловодного (многоводного) года многоводным (маловодным). Другая причина

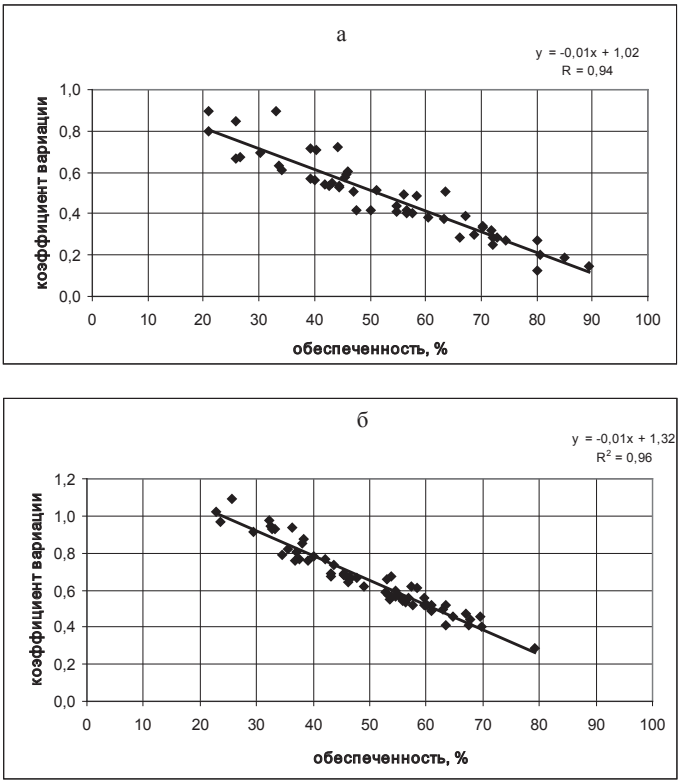


Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации пространственного распределения годового речного стока (а) и годовых осадков (б) в отдельные годы от их усредненной по территории величины (в % обеспеченности)

заключается в достаточно высокой пространственной изменчивости коэффициента подземного питания рек.

Зависимость, представленная на рис. 4 б, интересна и тем, что она свидетельствует о небольших возможностях подземной емкости речного бассейна осуществлять «глубокое» многолетнее регулирование суммарного речного стока. По нашей оценке, подземная составляющая стока реагирует прежде всего на осадки текущего года и в меньшей степени – на осадки предшествующих лет (в основном от 2 до 5, реже – до 7 лет). То есть имеет место «неглубокое» регулирование, существенное лишь в пределах 2–3 лет. Причем в маловодные годы регулирующая роль подземной емкости

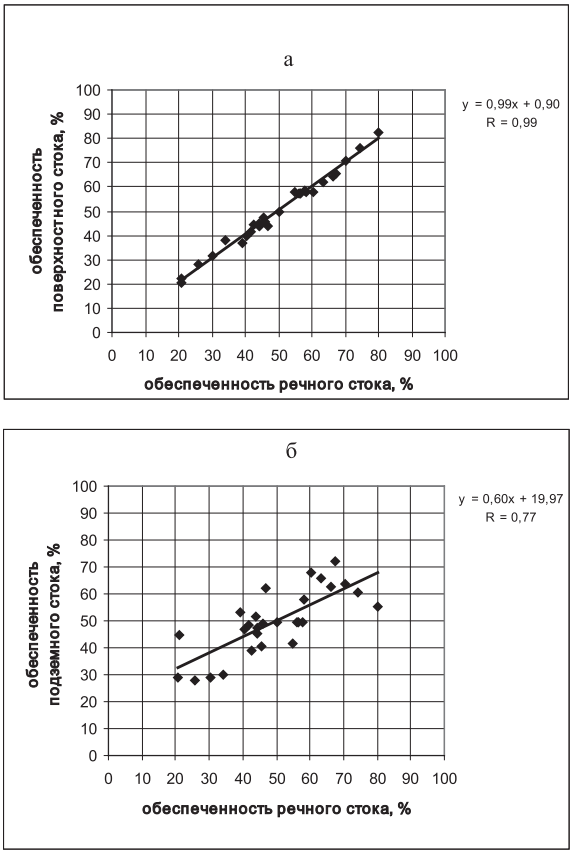


Рис. 4. Связь обеспеченности поверхностного стока (а) и подземного стока (б) с обеспеченностью суммарного речного стока

речного бассейна возрастает – с уменьшением водности увеличивается доля подземного питания.

Интересно, что поверхностная составляющая стока в многоводном 1966 г. была больше, чем в маловодном 1975 г. (в среднем на 84%), в то время как суммарный речной сток увеличился лишь на 58%. Гораздо меньшую величину составило увеличение подземного стока (5%). Он по причине высокой инерционности оставался близким к норме. В целом по территории произошло уменьшение коэффициента питания рек поверхностными водами с 75 (1966 г.) до 61% (1975 г.), а коэффициент подземного питания рек, напротив, увеличился с 25 до 39%. Приведенные данные показывают, что подземным

ярусом речного бассейна оказывается, хотя и «неглубокое», многолетнее регулирование суммарного речного стока, но весьма заметное.

Анализ пространственного распределения суммарного речного стока за отдельные годы показал, что независимо от водности лет оно так же, как и поверхностная его составляющая, в основных чертах подчиняется физико-географической зональности, в основном широтной (высотной на западном склоне Урала). Но в многоводные годы, когда роль поверхностного стока возрастает, оно характеризуется более высокой изменчивостью.

Закономерности многолетних колебаний речного стока и его составляющих

В имеющихся многочисленных публикациях межгодовая динамика речного стока обычно изучается без учета его генетической неоднородности. Нами предпринята попытка анализа этих колебаний с учетом того обстоятельства, что речной сток состоит как минимум из поверхностной и подземной составляющих.

На примере 18 бассейнов с достаточно продолжительными (более 40 лет) и репрезентативными рядами наблюдений установлено, что основную роль в формировании структуры многолетних колебаний суммарного речного стока играет его поверхностная составляющая. Частота совпадения водности отдельных лет в рядах речного стока с водностью лет в рядах поверхностного стока весьма высока. Коэффициент корреляции составляет 0,93–0,99. Весьма тесным образом связаны с поверхностной составляющей и такие параметры многолетних колебаний суммарного стока, как коэффициент вариации (рис. 5 а) и коэффициент автокорреляции (рис. 5 б).

Вместе с тем существенную роль играет и подземный ярус речного бассейна (рис. 5 в, г). Основное отличие многолетних колебаний подземного стока от колебаний поверхностной составляющей заключается в том, что вероятность появления многоводных (маловодных) лет после маловодных (многоводных) для подземного стока меньше. Кроме того, для него характерна тенденция к формированию группировок маловодных и многоводных лет. Связь многолетних колебаний речного стока с его подземной составляющей достаточно тесная (коэффициент корреляции изменяется преимущественно в пределах 0,50–0,80). Это приводит к появлению заметной внутрирядной связности в рядах полного стока (особенно для смежных лет). Она всегда выше в рядах подземного сто-

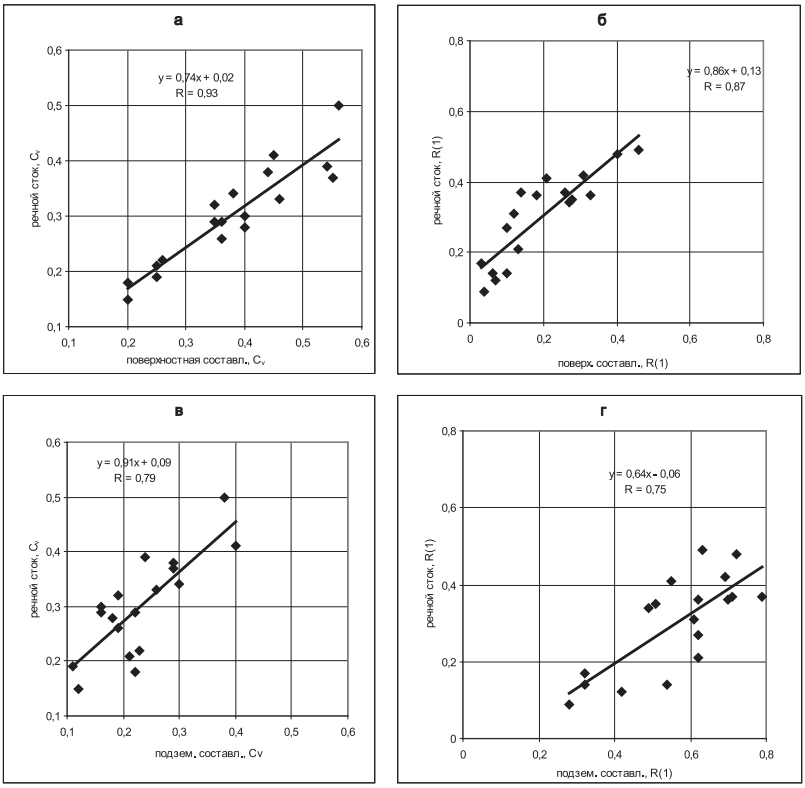


Рис. 5. Связь коэффициентов вариации (а, в) и автокорреляции (б, г) речного стока с коэффициентами вариации и автокорреляции его поверхностной (а, б) и подземной (в, г) составляющих

ка (рис. 5 г). Обнаруживается и достаточно тесная связь между коэффициентами вариации речного и подземного стока (рис. 5 в). Зависимости, представленные на рис. 5 в, 5 г, свидетельствуют о той важной роли, которую играет подземный сток в формировании структуры многолетних колебаний суммарного речного стока, приводя к заметной коррелятивной связи между его величинами за смежные годы, уменьшая амплитуду колебаний суммарного стока и препятствуя появлению экстремально высоких и низких его значений.

Известно, что в отличие от среднемноголетних условий водный баланс за отдельные годы является не замкнутым, поскольку осадки текущего года продолжают участвовать в формировании подземного стока и в последующие годы. Степень влияния инерционности этого

процесса, иными словами, переходящих из года в год запасов влаги в речном бассейне, можно проследить по коэффициентам корреляции между смежными членами рядов речного и подземного стока. В распределении их по территории обнаруживается сходство и проявляются некоторые черты физико-географической зональности.

Наибольшие значения коэффициентов автокорреляции свойственны лесостепным и степным рекам с засушливым климатом и с глубоким залеганием грунтовых вод. Коэффициенты автокорреляции суммарного речного стока здесь изменяются преимущественно в интервале от 0,2 до 0,4, достигая максимума в Приуралье (R(1)=0,4–0,6). Они обусловлены значительной инерционностью подземной составляющей стока с весьма высокими коэффициентами автокорреляции (R(1)=0,6-0,8).

В районах лесной зоны с неглубоким залеганием грунтовых вод и развитием верховодки подземный сток более динамичен и наблюдается уменьшение корреляционной связи между смежными элементами его рядов до 0,2-0,4, а речного стока до значений, находящихся в пределах ошибок расчета. Таким образом, в лесной зоне возможности естественного многолетнего регулирования речного стока его подземной составляющей сравнительно невелики (в отличие от сезонного регулирования).

В пространственном распределении коэффициентов автокорреляции кроме зональных факторов существенную роль играют и азональные физико-географические и гидрогеологические условия. Так, повышенная инерционность процессов формирования подземного стока (R(1)=0,6-0,8) и, как следствие, речного стока (R(1)=0,4-0,6) свойственна рекам сильно закарстованного Уфимского плато, что обусловлено наличием хорошо проницаемой зоны аэрации и водообильных закарстованных отложений, дренируемых реками.

Климатические изменения вертикальной структуры речного стока

Оценка климатических изменений стока осложнена генетической его неоднородностью. Особенностью влияния климатических факторов, в том числе и элементов водного баланса (осадков и испарения), является то, что непосредственно оно оказывается не на суммарный речной сток, а на его поверхностную и подземную составляющие. В результате в пространственном распределении стока отражаются основ-

ные черты распределения этих составляющих, в свою очередь унаследованные от пространственной изменчивости климатических факторов.

Так, в распределении по изучаемой территории осадков за отдельные годы наблюдается отчетливо выраженная следующая закономерность (как и для речного стока (рис. 3 а)) – с их увеличением возрастает и изменчивость по территории (рис. 3 б). Иными словами – в многоводные годы поле осадков менее однородно, чем в маловодные. Но и в маловодные годы пространственная изменчивость осадков остается существенной. Например, осадки холодного периода маловодного 1972 г. (для территории в целом) изменялись по бассейну Волги в широком интервале – от 35–55% обеспеченности (в Приуралье) до 75–95% и более (на верхней Волге). Близкими к норме (55–75%) они были на средней Волге.

Годовые осадки оказывают наиболее существенное влияние и на многолетние колебания суммарного речного стока. Теснота связи стока с годовыми осадками (по территории в среднем R=0,67) больше, чем отдельно с осадками холодного (ноябрь – март) (R=0,61) и теплого (апрель – октябрь) (R=0,62) периодов. В распределении по изучаемой территории коэффициентов корреляции стока и осадков обнаруживаются некоторые черты физико-географической зональности. Так, в северных районах они выше, чем в южных районах. В южном и юго-восточном направлении коэффициенты корреляции с осадками холодного периода увеличиваются, а с осадками теплого периода уменьшаются.

Выявленные закономерности относятся, в первую очередь, к годам со средней водностью рек (25%<P<75%). Так, усредненный по всей территории коэффициент корреляции стока с годовыми осадками для этих лет равен 0,69. Он мало отличается от выше приведенного коэффициента корреляции (R=0,67), рассчитанного без расслоения исходных рядов стока на выборки разной водности. Интересно, что в маловодные (P>75%) и в многоводные (P<25%) годы коэффициент корреляции возрастает до 0,84–0,85. Это свидетельствует о том, что роль осадков возрастает при формировании стока в экстремальные по водности годы.

В пространственном распределении коэффициентов корреляции подземного стока с осадками зональные черты выражены слабее, из-за влияния азональных факторов, в первую очередь, особенностей рельефа и геологического строения территории, что находит отражение в существенно меньших их значениях и в изменении по территории

в более широком диапазоне (от 0 до 0,7). Невысокая теснота связи с осадками (R<0,4) отмечается на возвышенностях и в районах распространения глинистого типа зоны аэрации. Например, в пределах Среднерусской возвышенности коэффициент корреляции подземного стока с осадками не превышает 0,2. Тем не менее, динамика подземного стока, также как и суммарного стока, обусловлена в первую очередь колебаниями годовых осадков. Причем в формировании подземной составляющей стока заметную роль играют осадки не только за текущий, но и за ряд предшествующих лет (преимущественно от 2 до 5 лет). Коэффициенты корреляции с осадками при этом увеличиваются в среднем на 0,1–0,2. Это приводит к «сглаживанию» многолетних колебаний подземного стока за счет уменьшения экстремумов маловодных и многоводных лет. Поэтому временная изменчивость подземного стока (по территории в среднем C_v=0,21) меньше, чем временная изменчивость суммарного (C_v=0,27) и поверхностного (C_v=0,34) стока.

Для различного рода расчетов, особенно прогнозного характера, в том числе в связи с глобальным потеплением климата, значительный интерес представляет оценка степени изменений речного стока и его составляющих в зависимости от изменений климатических факторов. Достаточно информативным для этого может быть анализ пространственных градиентов стока (Коронкевич и др., 2007), т.е. скорости его изменения в каком-либо направлении относительно изменения данного фактора в этом же направлении. Наиболее важным является направление максимальной изменчивости стока, отражающее смену зональных условий его формирования. В отличие от коэффициента стока, характеризующего долю осадков, выпавших за расчетный период (например, годовой) и пошедших на образование стока в данном бассейне, градиент определяется по разнице долей стока этого и сравниваемого с ним бассейна. Правда, осложнение в применении такого градиента для прогнозных оценок сопряжено с необходимостью принятия гипотезы об эргодичности, т. е. о возможности замены временных рядов пространственными выборками, что не всегда бывает эффективно. Кроме того, существует вероятность того, что сток сравниваемых бассейнов будет определяться различиями не только в климатических условиях, но и в хозяйственной деятельности, а также в ландшафтной структуре.

Для выявления роли годовых осадков в климатических изменениях стока использовались средние многолетние данные по 49 рекам с площадью водосбора преимущественно от 2000 до 4000 км^2 (Водные ресурсы.., 1967). Физико-географические условия в пределах водосборов

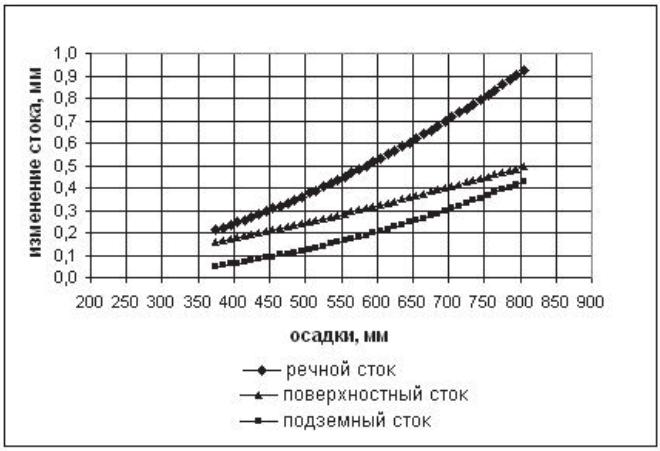


Рис. 6. Изменение речного стока и его составляющих при увеличении осадков на 1 мм

таких рек, как правило, не испытывают значительных изменений (Владимиров, 1976). Сначала по этим данным были получены зависимости стока и его составляющих от осадков. Рассчитанные затем для каждой из 49 рек и для каждого элемента структуры стока градиенты (изменение стока при изменении осадков на 1 мм) позволили построить графики их связи со средними многолетними годовыми осадками (рис. 6, 7), использованными в качестве показателя зональных условий.

Таким образом, было получено зонально-межзональное изменение градиентов структуры стока в целом для Европейской части России. Задавая данные об изменении годовых осадков, можно с использованием полученных градиентов ориентировочно определить, насколько осадки могут повлиять на структуру годового стока при изменении их на 1 мм. Расчеты градиента суммарного стока по предлагаемой в данной работе схеме оказались в итоге близкими к ранее полученной оценке (Коронкевич и др., 2007), но выполнены они в более широком диапазоне изменения осадков от 375 до 800 мм.

Величина изменений стока, наблюдающихся в связи с изменением осадков, максимальна на севере лесной зоны и в лесотундре – 0,8–0,9 мм на 1 мм увеличения осадков и снижается до 0,2–0,3 мм в южных районах. Причем на севере Русской равнины следует ожидать на каждый мм роста осадков увеличение поверхностного стока на 0,45–0,50 мм, а на юге – лишь на 0,15–0,20 мм, а подземного сто-

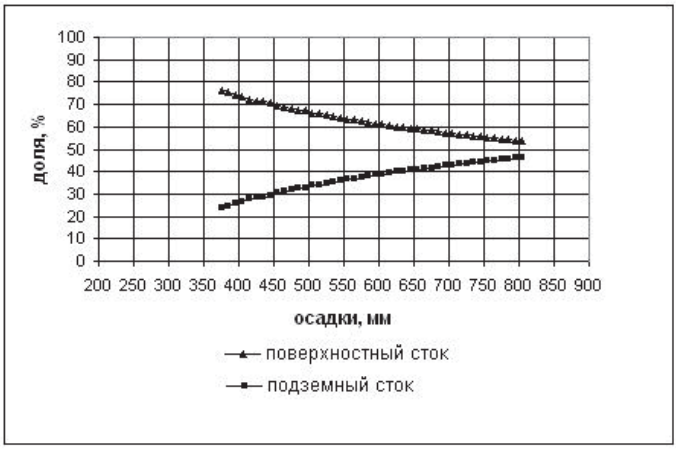


Рис. 7. Доля градиентов поверхностной и подземной составляющих в градиенте полного стока (при увеличении осадков на 1 мм)

ка – соответственно на 0,35–0,40 мм и на 0,05–0,1 мм. В то время как в хорошо увлажненных северных районах увеличение осадков может привести к увеличению в первую очередь подземной составляющей до 45% (относительно градиента суммарного стока), то в южных засушливых районах, напротив, более благоприятные условия наблюдаются для быстрого роста поверхностного стока до 75%.

Для оценки пространственного градиента изменения структуры стока в зависимости от среднегодовой температуры воздуха использовались данные по 68 административным областям и республикам (Коронкевич и др., 2007). Этими данными охвачена лесная, лесостепная и степная зоны Русской равнины. Поскольку ее северная часть осталась слабо освещенной, были добавлены результаты собственной оценки – сток и температура, усредненные по северной тайге, северной и средней тайге вместе и отдельно по средней тайге. На основе всех этих данных был построен график связи среднемноголетних величин суммарного стока и температуры. По найденной зависимости был осуществлен переход к анализу 49 рек, упомянутых выше. Для их суммарного стока и его составляющих получены соответствующие зависимости, представленные на рис. 8. На нем показаны изменения по территории структуры стока в зависимости от изменений температуры. Затем по этим зависимостям были рассчитаны градиенты – изменение показателей стока, приходящееся на 0,1 градуса температу-

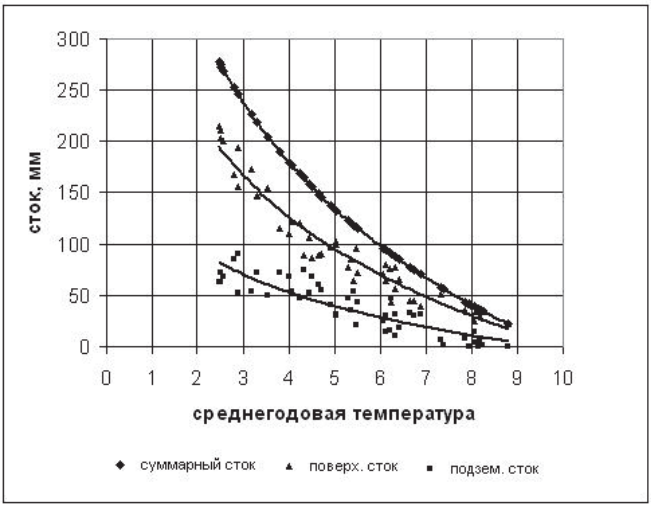


Рис. 8. Связь стока и его составляющих
с температурой

ры (рис. 9). Полученные нами результаты расчетов градиентов стока несколько выше, чем в работе (Коронкевич и др., 2007), поскольку были добавлены три точки по северной части и рассматривались нелинейные зависимости. Кроме того, в данной работе анализировалось направление наибольшей изменчивости стока, преимущественно с севера на юг. В то время как в ранее выполненной оценке (Коронкевич и др., 2007) анализировалось в основном меридиональное направление – для исключения влияния осадков на температурный градиент стока. Разница в оценках усредненного по территории в целом градиента стока небольшая и составляет около 15% (соответственно 41 и 35 мм стока на 1 градус изменения температуры).

В итоге было получено зонально-межзональное распределение температурных градиентов элементов структуры стока. Задавая данные об изменении температуры, можно с использованием полученных градиентов ориентировочно определить, насколько температура может повлиять на изменение показателей стока при изменении ее на 0,1 градуса. Наибольшая величина градиента стока и его составляющих наблюдается в северных районах с низким испарением – 6,5–8 мм снижения стока на 0,1 градус увеличения температуры (в том числе для поверхностного и подземного стока соответственно – 4,5–5,5 мм и 2–2,5 мм). При увеличении температуры, в том чис-

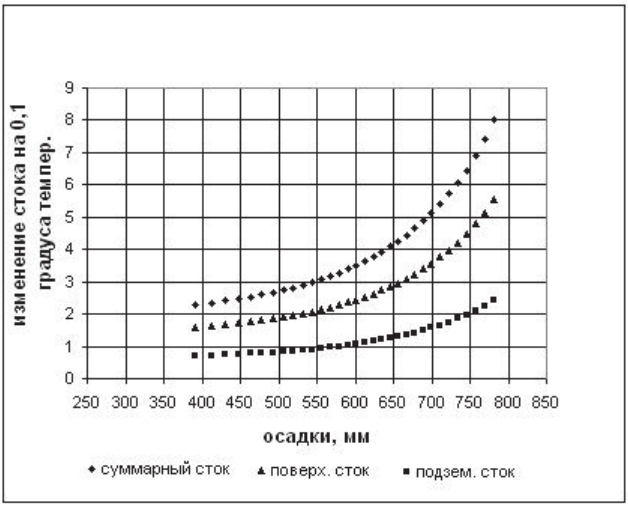


Рис. 9. Изменение стока и его составляющих при увеличении температуры на 0,1 градуса

ле в связи с глобальным потеплением климата, здесь может наблюдаться наиболее существенное снижение стока. Не столь заметно оно в засушливых южных районах. В южном направлении величина температурного градиента снижается – до 2,3–2,5 мм уменьшения полного стока на каждую 0,1 градуса роста температуры (в том числе для поверхностного и подземного стока соответственно – 1,6–1,7 мм и 0,7–0,8 мм). В отличие от градиента стока по осадкам структура температурного градиента по территории остается практически постоянной. Везде повышение температуры на 0,1 градуса приводит к уменьшению поверхностного стока на 70% и подземного на 30% (относительно градиента полного стока).

Следует заметить, что использование для прогнозных задач полученного зонально-межзонального распределения температурного градиента стока, в основу расчетов которого положена реально наблюдаемая пространственная ситуация, может оказаться недостаточно эффективным. Проблема, наряду с выше отмеченными недостатками использования для этого пространственных градиентов, заключается в том, что с увеличением по территории годовой температуры отмечается и снижение годовых осадков (R=0,49), а не только рост испарения. Полученное распределение градиента стока в интегральном виде и отражает эту картину, причем при сложившемся среднем многолет-

нем соотношении температур холодного и теплого периодов, а также осадков за эти периоды. Однако при прогнозировании климатических изменений стока, в частности в связи с глобальным потеплением климата, важно знать вклад холодного и теплого периодов в прогнозную величину роста годовой температуры. Гидрологические последствия увеличения температуры этих сезонов противоположны. Если это произойдет за счет холодного периода, сток увеличится, а если за счет теплого периода – сток уменьшится. Рассмотрение сезонного аспекта изменений стока, а также оценка его градиентов по временным рядам является предметом дальнейших исследований.

Заключение

Разработана методика комплексного регионального пространственно-временного анализа вертикальной структуры речного стока, позволяющая рассчитывать различные его показатели и соотношения, в том числе заданной обеспеченности, моделировать ряды их среднегодовых значений в пунктах при отсутствии наблюдений, осуществлять компьютерное картографирование получаемых результатов. Для показателей различной обеспеченности (5, 50 и 95%) и лет различной водности были построены электронные карты распределения по территории речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, степени соотношения и сопряженности между ними, а также сопряженности стока с осадками.

Анализ пространственного распределения суммарного речного стока за отдельные годы показал, что независимо от водности лет оно так же, как и поверхностная его составляющая, в основных чертах подчиняется физико-географической зональности, в основном широтной (высотной на западном склоне Урала). Но в многоводные годы, когда роль поверхностного стока возрастает, оно характеризуется более высокой изменчивостью.

Установлено, что основную роль в формировании структуры многолетних колебаний суммарного речного стока играет его поверхностная составляющая. Вместе с тем существенную роль играет и подземный ярус речного бассейна. Основное отличие многолетних колебаний подземной составляющей стока от колебаний поверхностной составляющей заключается в том, что вероятность появления многоводных (маловодных) лет после маловодных (многоводных) для подземного стока меньше. Кроме того, для подземной со-

ставляющей характерна тенденция формирования группировок маловодных и многоводных лет.

Получен ряд статистических зависимостей, отражающих различные аспекты пространственно-временной изменчивости структуры речного стока и его факторов. Показано, что между показателями пространственно-временной изменчивости суммарного речного стока и его генетических составляющих – поверхностного и подземного стока – существует достаточно тесная связь.

Для территории Европейской части России оценены пространственные градиенты изменений полного речного стока, его поверхностной и подземной составляющих, обусловленные изменениями многолетних значений годовых осадков и температуры воздуха. Полученные результаты представляют интерес для решения прогнозных задач и оценки соотношения природных и антропогенных факторов в формировании речного стока. Дальнейшее развитие данного направления исследований видится в оценке роли антропогенных факторов в пространственно-временной изменчивости вертикальной структуры речного стока, в оценке ее сезонных и региональных особенностей, а также в оценке градиентов стока по временным рядам.

Литература

1. *Бефани А.Н.* Вопросы теории и расчета подземного стока // Тр. III Всесоюз. гидролог. съезда. Л.: Гидрометеоиздат, 1959. Т.10. С. 127–134.
2. *Владимиров А.М.* Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 295 с.
3. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 200 с.
4. *Воронков П.П.* Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 188 с.
5. *Высоцкий Г.Н.* Лес и его значение в борьбе с засухой и за полноту и равномерность речного стока // Соц. лесное хоз-во и агролесомелиорация. 1932. №1.
6. *Высоцкий Г.Н.* О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов // Избранные труды. Гос. изд-во с.-х. литературы. М.: Наука, 1960. 435 с.
7. *Жук В.А., Долгов С.В.* Согласование полей подземного стока рек и стокоформирующих факторов // Перспективные методы планирования и анализа экспериментов при исследовании случайных полей и процессов: Тез. докл. II Всесоюзной конференции. Севастополь, 2–4 октября 1985 г., Ч. 2. М.: Московский энергетический институт, 1985. С. 141–142.

8. *Зекцер И.С.* Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. М.: Наука, 1977. 173 с.
9. *Коронкевич Н.И.* Полиструктурный анализ в исследовании водного баланса территории // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1986. №3. С. 16–27.
10. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
11. *Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Зайцева И. С.* О влиянии изменения годовых значений температуры воздуха и осадков на сток рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. Геогр. 2007. №5. с. 64–70.
12. *Куделин Б.И.* Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд. МГУ, 1960. 344 с.
13. *Львович М.И.* О методике расчетов изменений питания рек подземными водами // Докл. АН СССР. 1950. Т. 75. №2.
14. *Попов О.В.* Подземное питание рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 291 с.
15. Почвенно-геологические условия Нечерноземья. М.: Изд. МГУ, 1984. 608 с.
16. *Сачок Г.И., Цуркова Т.Ф.* Сопряженность полей подземного стока в реки и режимообразующих факторов на территории БССР. Рук. деп. в ВИНИТИ. Вып. 3: Геология, 1984. 6 с.
17. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 308 с.

S.V. Dolgov

SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES IN THE VERTICAL STRUCTURE OF THE RIVER FLOW IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Regularities for spatial-temporal changeability of vertical structure of the river flow in European part of Russia were found, a row of statistical dependences, reflecting its different aspects was gained. The changes of flow, its surface and underground components, depending on the changes of mean long-term annual precipitation and air temperature were estimated.

Н.И. Сенцова

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПО СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОГО СТОКА[1]

Рассматривается районирование речных бассейнов по характеристикам сезонной изменчивости речного стока. Для целей классификации на основе анализа временных рядов среднемесячных расходов воды сгенерированы новые ряды характеристик речного стока, учитывающих сезонную изменчивость. В результате многовариантных экспериментов в качестве наиболее информативных показателей внутригодовых изменений речного стока были выделены такие характеристики, как индексы сезонности, корреляционные функции и функции спектральных плотностей.

Для выявления групп однородных объектов использовалась программная система «TeleStat», предназначенная для статистического анализа многомерных данных и временных процессов. Районирование производилось с помощью кластерного анализа с использованием регрессионной модели на основе радиальных базисных функций. В качестве переменных использовались полученные наборы численных показателей для каждого пункта наблюдений. Веса переменных подбирались так, чтобы обеспечить сочетание как географической (координатной), так и критериальной близости объектов (гидрологических постов наблюдений). Проведенные процедуры регионализации по характеру сезонных колебаний речного стока позволили выделить однородные гидрологические районы на территории ряда крупных бассейнов рек России, в частности Волги и верхнего Дона.

Классификация рек дала возможность провести совместный анализ по группам однородных гидрологических объектов. Для каждого гидрологического района рассчитаны обобщенные статистические характеристики колебаний речного стока. Такие статистические параметры речного стока могут служить для его дальнейшего моделирования.

Применение расчетных и прогнозных методов по наблюдениям на отдельных гидрологических постах часто затруднено по разным причинам: неравномерное распределение пунктов наблюдений, недостаточная продолжительность временных рядов для статистического анализа, наличие трудно восстанавливаемых пропусков, значительных погрешностей в измерениях и т.д. Поэтому, несмотря на высокую компьютеризацию и наличие современных программных паке-

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-05-00807-а.

тов, возникают сложности, связанные как с обработкой больших массивов гидрологических данных, так и с их последующим использованием в моделях. Необходимо обрабатывать и анализировать каждый ряд, восстанавливать пропуски, искать выбросы, возможные ошибки и пр. С целью увеличения информации и для выявления возможных случайных ошибок следует проводить совместный анализ по группам однородных гидрологических объектов. Обобщенные статистические параметры речного стока, полученные для таких групп, могут служить для его дальнейшего моделирования.

В связи с этим следует проводить анализ временных рядов среднемесячных расходов воды с последующим выделением однородных гидрологических районов и получением для каждого из них обобщенных (региональных) характеристик колебаний речного стока. Другими словами, должна быть разработана их классификация.

Вопросам классификации рек и гидрологическому районированию уделяется много внимания. Классификация рек подразумевает их распределение по группам на основании выявленных наиболее существенных признаков, а районирование – результат обобщения полученной классификации для конкретной территории, что позволяет определять анализируемые характеристики слабоизученных объектов по аналогии с изученными. При решении задач, связанных с оценкой пространственного распределения речного стока и его сезонной изменчивости в современных условиях, возникает необходимость разработки новых вариантов районирования.

Выполненные нами научные исследования позволяют провести гидрологическое районирование ряда крупных речных бассейнов на территории РФ. С помощью разработанных стохастических моделей и методов оценивания были изучены особенности сезонных колебаний речного стока в различных физико-географических условиях (Болгов и др., 2005).

Основой для выбора районов послужил анализ внутригодового распределения речного стока путем формализации показателей его сезонной изменчивости и объединения (группирования) временных рядов среднемесячных расходов воды по разработанным для классификации алгоритмам.

Проведена предварительная обработка многолетних наблюдений за стоком воды на реках России. Информационной основой исследований послужили данные многолетних наблюдений за стоком рек на территории России. Из существующего архива данных на-

блюдений Росгидромета на гидрологических постах, содержащего более 5000 временных рядов со среднемесячными расходами воды, была проведена выборка рядов наблюдений, которые могут быть использованы для гидрологического районирования территории. С этой целью все имеющиеся в наличии временные ряды были исследованы на однородность, длительность, наличие пропусков и выбросов. Стоковые ряды, содержащие трудно восстанавливаемые пропуски, ряды длительностью менее 10 лет, а также подверженные значительному антропогенному воздействию (в частности, созданию водохранилищ), были исключены из дальнейшего анализа. В процессе первичной обработки были выявлены и восстановлены аномальные выбросы, заполнены пропуски в наблюдениях, рассчитаны необходимые статистические характеристики для каждого временного ряда. В результате был получен массив данных более чем по 1700 гидрологическим постам, содержащий файлы со среднемесячными расходами воды и координатами центров тяжести водосбора для каждого пункта наблюдений.

Для целей классификации на основе анализа временных рядов среднемесячных расходов воды сгенерированы новые ряды характеристик речного стока, учитывающие сезонную изменчивость. В результате многовариантных экспериментов в качестве наиболее информативных показателей внутригодовых изменений речного стока были выделены такие характеристики, как индексы сезонности, корреляционные функции и функции спектральных плотностей.

Влияние внешних факторов, действующих циклически с заранее известной периодичностью, определяет сезонные колебания речного стока. Наличие сезонных эффектов проявляется в виде острых узких пиков в периодограмме на соответствующей частоте (а при несимметричной форме сезонной волны – и на кратных частотах). В выборочной автокорреляционной функции также присутствуют выбросы для лагов (запаздываний), кратных периоду сезонности, но эти выбросы могут быть завуалированы присутствием тренда или большой дисперсией случайной компоненты.

Одна из наиболее простых моделей учета сезонности – модель сезонных эффектов, она является одной из принятых формализаций сезонных колебаний речного стока. В аддитивной форме этой модели ряд представляется в виде

$$Y(t) = T(t) + S(t) + e_t ,$$

где $T(t)$ – тренд, e_t – ошибка, а $S(t)$ – сезонная составляющая, которая определяется своими значениями на сезонном периоде длины L, $S(1)$, ... $S(L)$. Для однозначности параметризации модели обычно предполагают, что $S(1) + ... + S(L) = 0$. Значения $S(1)$, ... $S(L)$ называют индексами сезонности. В настоящей работе использовались нормированные индексы сезонности, определенные на основе методов декомпозиции по аддитивной модели Тейла-Важа (Кендалл, Стюарт, 1976).

Также была исследована частотная структура сезонных колебаний речного стока. Типичная функция спектральной плотности для рассматриваемых рядов среднемесячных расходов воды содержит четко выделенные максимумы (пики) на частотах, соответствующих периодам в 12, 6, 4 и 3 месяца. Поэтому для приближенного описания функции спектральной плотности рекомендуются ее относительные значения на этих частотах. Для учета остальных составляющих спектральной плотности используется величина, рассчитанная как разность между единицей и суммой относительных значений спектральной плотности на выделенных частотах.

Наборы показателей, полученные в результате обработки временных рядов наблюдений за среднемесячными расходами воды на реках России, выявленные в результате многовариантных экспериментов с разными наборами характеристик для более точного описания сезонных колебаний речного стока, послужили для гидрологического районирования на основе разработанных стохастических моделей и статистических методов оценивания.

Для выявления групп однородных объектов использовалась программная система «TeleStat», предназначенная для статистического анализа многомерных данных и временных процессов (Енюков, Ретинская, Скуратов, 2004). В процессе исследований данная система адаптировалась для анализа гидрологических данных, с учетом специфики имеющейся исходной информации, типичной для территории РФ (неравномерности распределения пунктов наблюдений по территории, временной неоднородности рядов, различной длительности наблюдений, наличия пропусков и аномальных выбросов и др.).

Районирование производилось с помощью кластерного анализа с использованием регрессионной модели на основе радиальных базисных функций. В качестве переменных использовались полученные наборы численных показателей для каждого пункта наблюдений. Веса переменных подбирались так, чтобы обеспечить сочетание как географической (координатной), так и критериальной близо-

сти объектов (гидрологических постов наблюдений). Включение координат центров тяжести водосборов как в зависимые (предикторные), так и в критериальные переменные позволило выделить однородные группы с учетом пространственного размещения гидрологических объектов.

Остановимся подробнее на процедурах регионализации с помощью кластерного анализа на основе радиальных базисных функций.

Решение проблемы одновременной группировки (кластеризации) рек по параметрам речного стока и в пространстве географических координат (районирование) основано на предположении, что географическая близость объектов влечет и близость соответствующих им характеристик речного стока (зависимых переменных). В этом случае подходящим методом является кластеризация на основе радиальных базисных функций (РБФ) в пространстве географических координат – широты S и долготы L. Далее эти переменные также именуются предикторными.

Критерий оптимальности группировки. Задача формализована следующим образом. Пусть имеется N объектов (рек), которые должны быть распределены на k групп. Число групп и их состав заранее неизвестны и должны быть определены в процессе решения задачи. При фиксированном числе классов критерием, по которому оценивается качество группировки объектов, служит остаточная дисперсия.

В качестве РБФ используется негативная экспоненциальная функция от расстояния между центром РБФ и объектом, а в качестве расстояния – взвешенное евклидово расстояние.

Модификация информационного критерия Акайке используется как критерий качества группировки с учетом числа классов.

При возрастании числа классов остаточная дисперсия и, следовательно, первое слагаемое в критерии Акайке убывает, тогда как второе слагаемое возрастает. Из двух группировок с разным числом классов более предпочтительной считается группировка с меньшим значением критерия Акайке (Енюков, Ретинская, Скуратов, 2004).

Алгоритм группировки. Алгоритм группировки основан на последовательном удалении «плохих» центров групп и состоит в следующем. Из N исходных объектов случайным образом выбирается достаточно большое количество ($M \approx 3\sqrt{N}$) объектов, которые рассматриваются как начальные центры классов. Для всех имеющихся центров пересчитываются остаточные значения для группировок, получающихся, если из текущего набора центров удаляется этот центр. Определяется центр, без которого остаточная дисперсия новой группиров-

ки увеличивается на минимальную величину. Проверяется значение критерия Акайке. Если его значение уменьшилось, из набора удаляется найденный центр и опять пересчитываются остаточные значения для группировок. В противном случае процедура останавливается. Количество групп равно количеству оставшихся центров. Объекты распределяются по группам по следующему правилу. Объект относится к той группе, до центра которой расстояние от объекта минимально (в пространстве предикторных переменных). Окончательно группировка выбирается по минимуму критерия Акайке по всем повторам.

Анализ резко выделяющихся (аномальных) значений наблюдений. Устойчивые оценки. Для получения устойчивых оценок средних, дисперсий и корреляций в исследовании производятся процедуры визуального анализа резко выделяющихся (аномальных) наблюдений. С этой целью используется подход на основе целенаправленного проецирования. Этот метод основан на целенаправленном проецировании с выбором проекций, подходящих для анализа аномальных наблюдений. Критерием, по которому ищутся такие проекции, является отношение двух оценок дисперсии – обычной и устойчивой, поскольку аномальные наблюдения существенно увеличивают величину оценки дисперсии. Таким образом, выбирается направление проецирования, на котором стандартная оценка дисперсии в наибольшей степени «испорчена» присутствием аномальных наблюдений. Хорошее приближение для определения направления, максимизирующего отношение дисперсий, получается из решения обобщенной задачи на собственные значения: $(S-lC)U=0$, где S – обычная оценка ковариационной матрицы; C – устойчивая оценка матрицы рассеивания; l – собственное число; U - направление проецирования.

Экспоненциально-взвешенная оценка используется в качестве устойчивой оценки. В качестве приближенного решения для направлений проецирования используются собственные вектора задачи, соответствующие первому, второму и т. д. по величине собственным числам. Всего же получается p векторов, упорядоченных по убыванию собственных чисел.

Таким образом, в результате применения вышеописанных процедур и методов выполняется гидрологическое районирование, отражающее особенности формирования сезонных колебаний речного стока, выявленные стохастическими методами.

Для примера рассмотрим результаты исследований по бассейнам рек Волги и верхнего Дона.

Бассейн реки Волги пересекает с севера на юг несколько физико-географических зон. Основная питающая часть водосбора Волги, от истока до Нижнего Новгорода и Казани, расположена в лесной зоне, средняя часть бассейна, до Самары и Саратова, – в лесостепной зоне, нижняя часть, до Волгограда, – в степной зоне, а южнее – в полупустынной зоне. Волгу принято делить на три части: верхняя Волга – от истока до устья Оки, средняя Волга – от впадения Оки до устья Камы и нижняя Волга – от впадения Камы до устья.

Бассейн верхнего Дона расположен в Центрально-Черноземном регионе России в пределах лесостепной зоны. С помощью предложенных выше методов и процедур выполнено районирование бассейнов Волги и верхнего Дона (рис. 1 и 2). В результате получены однородные гидрологические районы по сезонной изменчивости речного стока (Сенцова, 2008; Сенцова, 2009).

Как видно из рис. 1, в бассейне Волги четко выделяются верхневолжская часть, бассейны рек Оки и Камы, а также средняя и нижняя Волга. Для исследования из исходной базы данных было извлечено около 90 гидрологических постов с рядами наблюдений, удовлетворяющих вышеописанным условиям регионализации. К сожалению, из-за отсутствия современных данных, ряды были ограничены 1985 г.

Бассейн верхнего Дона до г. Лиски разделился на две части – левобережную и правобережную (рис. 2). Следует отметить, что для регионализации территории были использованы данные наблюдений по действующим по настоящее время 20 постам (до 2007 г.), учитывающие влияние современных климатических изменений.

Результаты проведенных исследований сопоставлялись с результатами существующего районирования по характеру питания рек с учетом географической зональности. Для этого была произведена оцифровка районов, выделенных в работах П.С. Кузина и др. (Кузин, 1960; Кузин, Бабкин, 1979). С помощью специально разработанных компьютерных программ для каждого района производился отбор гидрологических постов наблюдений из общей базы данных. Это позволило получить карту существующего районирования в электронном виде. Затем, на основе визуального анализа и построения таблиц сопряженности, сравнивались разные результаты районирования. Таблицы сопряженности представляют собой двухфакторные (двухвходовые) таблицы. Районы, выделенные в результате одного варианта районирования, образуют колонки таблицы, а районы, полученные по другому варианту – строки. Выбор «наилучшего» варианта классификации осуществляется по величи-

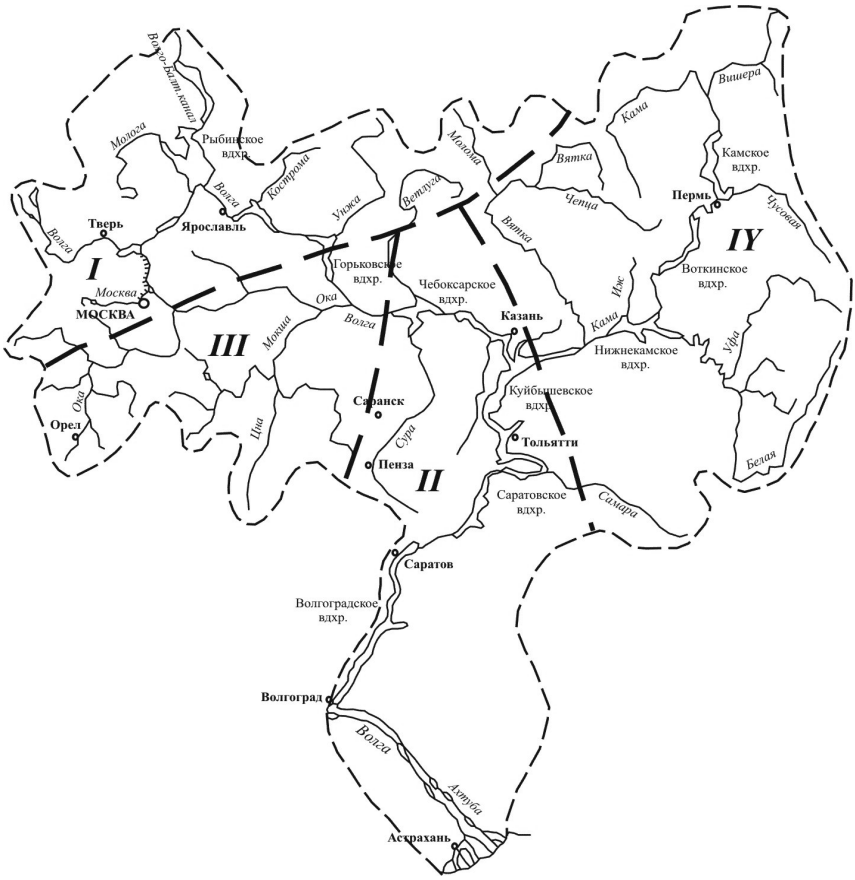


Рис. 1. Районирование бассейна Волги по характеристикам сезонной изменчивости речного стока

не несмещенных оценок корреляционных отношений (между группирующей и критериальными переменными). Для сравнения сходства классификаций вычисляется коэффициент Пирсона.

Сравнительный анализ показал, что выделенные по характеристикам сезонной изменчивости речного стока гидрологические районы на основе предложенных методов кластерного анализа не противоречат существующему районированию территории по типам водного режима рек и учитывают особенности формирования стока рек в разных физико-географических зонах. При этом статистические критерии оценки классификации для проведенного райони-

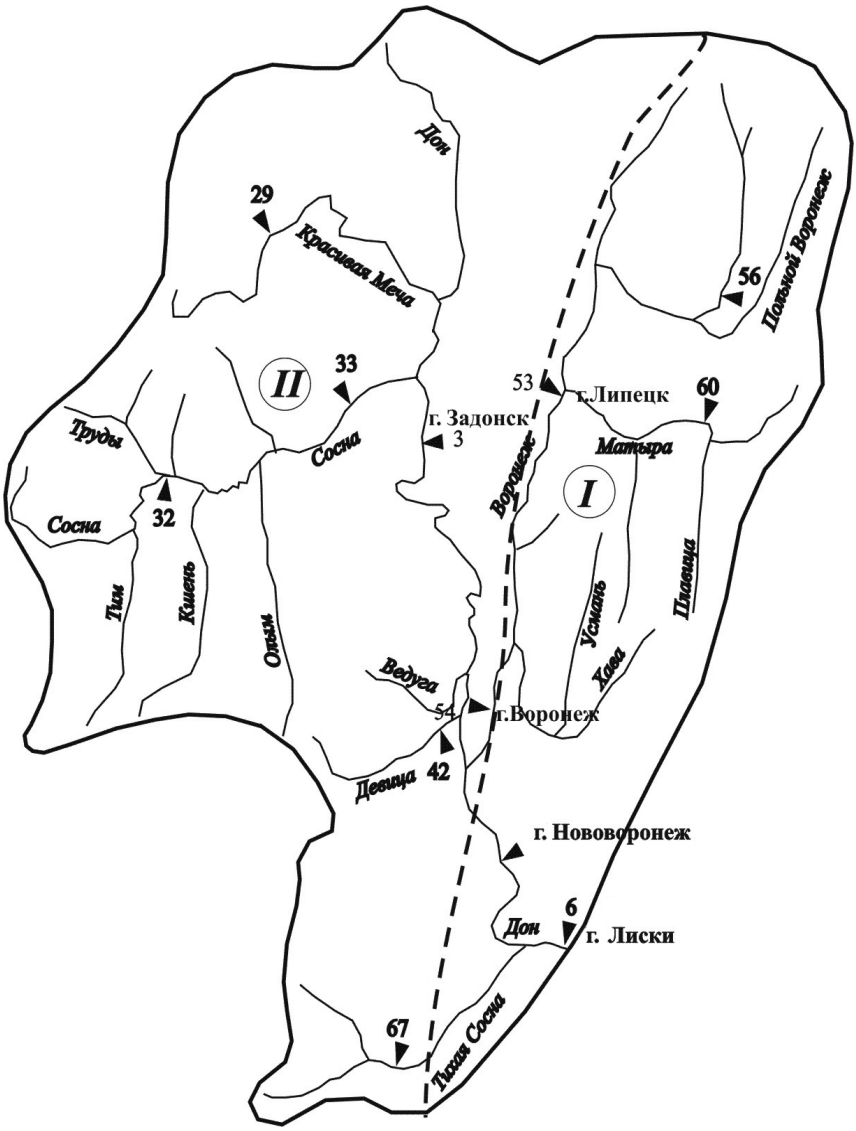


Рис. 2. Районирование бассейна верхнего Дона по характеристикам сезонной изменчивости речного стока

рования лучше, так как уменьшается количество групп, а также разброс (дисперсия) характеристик сезонного речного стока по объектам внутри них.

Классификация (группировка) рек позволила провести совместный анализ по группам однородных гидрологических объектов. Это дало возможность увеличить исходную информацию за счет ее соответствующего объединения и выявить возможные случайные ошибки. Обобщенные статистические параметры речного стока, полученные для таких групп, могут служить для его дальнейшего моделирования.

В связи с этим для каждого гидрологического района рассчитаны обобщенные (региональные) характеристики сезонных колебаний речного стока. Региональные оценки параметров стохастических моделей колебания речного стока получены на основе анализа всех репрезентативных рядов наблюдений на территории РФ. В результате для каждого однородного гидрологического района рассчитаны следующие обобщенные характеристики: параметры распределения речного стока по месяцам (коэффициенты вариации и их соотношение с коэффициентами асимметрии, автокорреляционные функции), спектральные функции распределения.

В частности, в пределах однородных гидрологических районов получены осредненные оценки параметров автокорреляционных функций с месячным интервалом дискретности для нормализованных последовательностей. Вследствие существенных различий в генезисе формирования стока для разных сезонов года корреляционная структура нормализованных последовательностей меняется для всех районов в зависимости от месяца года. Периоды устойчивой межени характеризуются большими коэффициентами корреляции стока смежных месяцев и слабым затуханием автокорреляционной функции в целом, что естественным образом объясняется преобладанием в питании этого периода грунтовой (подземной) составляющей. Сток весенних (половодных) месяцев слабо связан с предшествующими расходами воды. Автокорреляционные функции половодных месяцев быстро затухают.

Выполненный совместный спектральный и корреляционный анализ временных рядов показал различную сложность стохастических моделей для рек с различным гидрологическим режимом. Выявлено, что количество значимых гармоник определяется сложностью гидрологического режима. Режим стока рек с преобладанием дожде-

вых паводков может быть воспроизведен с помощью более простой стохастической модели, чем режим рек с выраженным весенним половодьем. По-видимому, для полного описания асимметричного половодного гидрографа требуется большее количество гармоник (в Фурье-анализе), что и отражается в форме спектральной плотности периодически коррелированного процесса.

Полученные обобщенные (региональные) показатели, отражающие пространственные закономерности сезонных колебаний речного стока, будут использованы в качестве параметров стохастических моделей речного стока.

Выводы

Разработанные стохастические модели и статистические методы оценивания позволили провести группирование гидрологических объектов наблюдений по сезонной изменчивости речного стока.

Применение оригинальных методов, связанных с анализом многомерных гидрологических данных, позволило получить новые варианты гидрологического районирования по характеру сезонных колебаний речного стока.

На основе многовариантных экспериментов с разными наборами показателей внутригодовых колебаний речного стока, полученных в процессе преобразования временных рядов среднемесячных расходов воды, проведено гидрологическое районирование ряда речных бассейнов на территории России. Регионализация производилась с помощью нового подхода к процедурам кластерного анализа с использованием регрессионной модели на основе радиальных базисных функций.

Даны оценки обобщенных (региональных) характеристик колебаний речного стока для каждого выделенного однородного гидрологического района. Полученные региональные показатели, отражающие пространственные закономерности сезонных колебаний речного стока на территории РФ, будут использованы в качестве параметров стохастических моделей речного стока.

Внедрение в гидрологические исследования фундаментальных результатов, полученных в области теории вероятностей и случайных процессов в последние десятилетия, способствует достоверности полученных результатов.

Литература

1. *Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И.* Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
2. *Енюков И.С., Ретинская И.В., Скуратов А.К.* Статистический анализ и мониторинг научно-образовательных интернет-сетей. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
3. *Кендалл М.Дж., Стюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
4. *Кузин П.С.* Классификация рек и гидрологическое районирование СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 455 с.
5. *Кузин П.С., Бабкин В.И.* Географические закономерности гидрологического режима рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 200 с.
6. *Сенцова Н.И.* Рациональное водопользование в бассейне Дона в условиях меняющихся антропогенных и климатических воздействий // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов». Часть 1. М.: МГУП, 2008. С. 402–408.
7. *Сенцова Н.И.* Пространственные закономерности сезонных колебаний речного стока в бассейне реки Волги: Сб. науч. трудов Всероссийской конференции «Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения». Барнаул, 2009. С. 204–216.

N.I. Sentsova

HYDROLOGICAL REGIONALIZATION OF THE RIVER BASINS ACCORDING TO SEASONAL VARIABILITY OF RIVER RUNOFF CHARACTERISTICS

Regionalization of the river basin according to characteristics of seasonal variability of a river runoff is considered. New series of river runoff characteristics are generated for classification on the basis of time series of monthly water discharges. As a result of multiple experiments sets of numerical parameters, which can be used for allocation of homogeneous hydrological areas, were obtained as a result of transformation of initial time series of monthly water discharges. These parameters include autocorrelation functions, indexes of seasonal prevalence and function of spectral density of monthly average water discharges.

Software system «TeleStat» destined for statistical analysis of multidimensional data and time processes was used for revealing of groups of homogeneous objects. Division into districts was made with the help of cluster analysis using regression model on the base of radial basic functions. Obtained sets of numerical parameters for each observational point were used as variables. Weights of variables were selected in order to provide the combination both geographical (coordinate), and criterion closeness of objects (hydrological gauges). Procedures of regionalization, which were carried out according to the character of seasonal fluctuations of river runoff, allowed to allocate homogeneous hydrological areas on the territory of some large Russia rivers, in particular Volga and the Upper Don.

Classification of the rivers gave the opportunity to carry out combined analysis on groups of homogeneous hydrological objects. Generalized statistical characteristics of river runoff fluctuations were calculated for each hydrological area. Such statistical parameters of river runoff can be used in its further modeling.

А.Г. Георгиади, И.П. Милюкова

СЦЕНАРНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА РЕК ВОЛГИ И ДОНА, ВОЗМОЖНЫХ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XXI ВЕКА

В основе методологии прогноза гидрологических последствий изменения климата лежит модель месячного водного баланса, разработанная в Институте географии РАН (Георгиади, Милюкова, 2002, 2006; Georgiadi, Milyukova, 2000, 2009). Она прошла апробацию в разных природных зонах России и показала надежность при воспроизведении современного речного стока и его сценарных изменений.

В качестве климатического сценария используется диапазон возможных климатических изменений для среднемноголетних условий периода 2010–2039 гг., который определяется по результатам осреднения численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле климатических моделей, исходящих из двух контрастных сценариев мирового социально-экономического развития (A2 и B1), включенных в программу последнего эксперимента 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models (Meehl et al., 2007).

В первой трети текущего столетия можно ожидать слабозаметного (до 5%) повышения годового стока в бассейне р. Волги и его более существенного роста (9–12%) в бассейне реки Дон. Потепление климата может вызвать весьма существенную трансформацию внутригодового распределения речного стока.

Введение

Наблюдаемое глобальное потепление климата, по мнению ряда ученых, вызванное, в основном, выбросом в атмосферу парниковых газов в результате деятельности человека – ведущий фактор, определяющий современную и особенно будущую динамику процессов в бассейнах крупнейших рек Русской равнины. Это обусловлено тем, что выявленная тенденция потепления климата может сохраниться в будущем, приводя к коренной перестройке климатического режима.

Опыт предшествующих исследований показывает, что попытки одновариантного прогноза, тем более на отдаленную перспективу, как правило, обречены на неудачу. Отсюда – актуальность вариантного рассмотрения будущей ситуации, основанной на различных сценариях развития событий.

Разрабатываемая методология долгосрочного сценарного прогнозирования изменений речного стока в крупных речных бассейнах

(Georgiadi et al, 2007; Georgiadi et al, 2009) основана на результатах оценки диапазона климатических изменений, полученных на ансамбле глобальных моделей и применении для расчетов гидрологических изменений модели месячного водного баланса.

Такой подход можно рассматривать как определенный этап многолетнего развития комплекса методов оценки гидрологических последствий глобальных изменений климата. Примерно 20–25 лет назад были начаты разработки методов расчета возможных в будущем изменений климата, вызванных антропогенными факторами. С этой целью стали применяться геологические и исторические аналоги будущих климатических условий и впоследствии – математические модели глобальной климатической системы.

На протяжении прошедшего времени все модули весьма сложной системы построения климатических сценариев неоднократно модифицировались, все более усложняясь. В исследованиях, касающихся гидрологических последствий глобальных изменений климата, можно выделить несколько этапов:

1. В 1970–1980-е гг. с этой целью использовались так называемые гипотетические сценарии изменения климата, в которых последние задавались неким диапазоном климатических условий, который практически никак не обосновывался. При этом акцент делался на исследовании чувствительности водных систем к изменению климатических условий.

2. В 1980–1990-е гг. в качестве сценариев возможного потепления климата используются результаты реконструкции теплых климатических эпох прошлого, основанные на традиционных палеогеографических методах и результатах воспроизведения климата на моделях общей циркуляции атмосферы.

3. В 1990–2000-е гг. для получения оценок гидрологических условий будущего достаточно широкое применение получили сценарии глобальных климатических изменений, основанные на численных экспериментах, выполненных на моделях общей циркуляции атмосферы и океана.

Следует отметить, что климатические модели непрерывно совершенствовались, таким образом, качество воспроизведения модельного климата существенно возрастало. Для разработки более или менее упорядоченных представлений о проблеме возможного

глобального потепления климата и его последствий вот уже более 15 лет реализуется специальная программа Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC). В рамках этой программы анализируются сценарии будущих климатических изменений, основанных на глобальных моделях общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО), которые признаются одним из наиболее перспективных инструментов решения этой задачи.

Под климатическим сценарием, следуя определению IPCC, понимается правдоподобная (или вероятная) эволюция климата в будущем, согласующаяся с предположениями об эмиссиях (сценариях эмиссий) парниковых газов и других атмосферных примесей, например, сульфатного аэрозоля, и с существующими представлениями о воздействии изменений концентрации этих примесей на климат. Соответственно под сценарием изменения климата подразумевается разница между климатическим сценарием и современным состоянием климата.

При использовании сценарного подхода к оценкам будущих гидрологических изменений приходится учитывать несколько видов неопределенностей, связанных с климатическими сценариями.

1. Сценарии изменений климата базируются на концепции антропогенного потепления климата. Она с соответствующей научной полнотой была, в главных чертах, сформулирована в 80-е годы XX века и в последующем совершенствовалась технология получения наиболее достоверных оценок.

Однако за последнее время, особенно за последние 5–10 лет, стали заметны некоторые концептуальные ограничения рассматриваемого подхода. В этом случае неопределенность сценарных климатических оценок будущего состояния климата возрастает и, по-видимому, правильнее рассматривать результаты моделирования климатов будущего для оценки не абсолютных величин, а диапазона возможных изменений.

2. Неопределенности глобальных социально-экономических сценариев (экономический рост, технология, народонаселение, управление).

3. Вытекающие из п. 2 неопределенности в сценариях эмиссий парниковых газов и аэрозолей в атмосферу.

В течение последних десяти лет в процессе реализации программы IPCC были выработаны две группы сценариев эмиссии парнико-

вых газов в атмосферу, которые были положены в основу построения сценариев изменения климата:

- с начала 1990-х гг. использовалось семейство сценариев IS92, из которого в России для гидрологических оценок предпочтение отдавалось семейству IS92a, дающему промежуточные значения среднеглобального повышения годовой температуры воздуха;

- с конца 1990-х гг. в качестве основного семейства климатических сценариев в программе IPCC используется улучшенная серия сценариев SRES (IPCC, 2001), и в последние годы реализуется новая серия расчетов климатических сценариев (Meehl et al, 2007), отличающаяся от предыдущей серии тем, что был изменен набор климатических моделей и они также были модифицированы.

4. Неопределенности в чувствительности среднеглобальных и региональных характеристик глобальной климатической системы, которая в разных моделях описывается по-разному. Это обстоятельство приводит к весьма противоречивым представлениям о характере и масштабах изменения регионального климата. При этом оценки современного климата, полученные с использованием разных моделей, также существенно различаются между собой.

До сих пор не разработано общепризнанной системы критериев отбора наиболее адекватных сценариев изменения климата (хотя такие попытки предпринимаются и помогают отбраковать «худшие» модели исходя из сопоставления современного модельного и наблюденного климата (Кислов и др., 2008 и др.), что в условиях многочисленности климатических моделей (их число превышает 20), включенных в программу IPCC, приводит к необходимости разработки специальных процедур, реализация которых в настоящее время начата.

Очевидно, что в этих условиях наиболее обоснованы оценки диапазона климатических изменений и необходима разработка метода расчета такого диапазона, основанного на результатах, полученных на ансамбле климатических моделей. В качестве климатического сценария предлагается использовать диапазон возможных климатических изменений, который определяется по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле климатических моделей (включенных в программу Межправительственной группы экспертов по изменению климата), исходящих из двух контрастных семейств сценариев мирового социально-экономического развития (A2 и B1). В качестве

оценки сценарного диапазона климатических изменений принимается среднее значение элемента по ансамблю моделей по каждому из указанных семейств сценариев.

Другая, не менее значительная проблема, связанная с использованием сценарных результатов, полученных на экспериментах на глобальных климатических моделях, состоит в том, что они весьма генерализованы по территории. Во многих случаях, прежде всего в горных районах, это приводит к серьезному ограничению применимости результатов моделирования. В связи с этим необходима разработка специальных методов (так называемых методов downscaling) для детализации полученных сценарных оценок с учетом особенности территории, прежде всего рельефа в горных регионах (Кислов и др., 2007). Для равнинных регионов эта проблема не столь актуальна.

К названным выше «климатическим» неопределенностям добавляются гидрологические. Основные источники таких неопределенностей – различия в используемых расчетных гидрологических методах (моделях), а также пространственная и временная «несостыкованность» данных наблюдений за гидрометеорологическими элементами и их факторами, включая различия в плотности сетей наблюдений.

За прошедшие два с лишним десятилетия сформировался целый спектр методов расчета гидрологических последствий глобальных изменений климата, начиная с достаточно простых зональных зависимостей годового стока от климатических элементов (Belyaev, Georgiadi, 1989; Georgiadi et al, 2000; Кислов и др., 2008), до существенно более сложных водно-балансовых моделей с декадным (Георгиевский и др., 1996; Шикломанов, Георгиевский, 2008) и месячным разрешением (Georgiadi, Milyukova, 2000 и др.), физико-математических моделей (Кучмент и др. 1990) и заканчивая моделями общей циркуляции атмосферы, в которых речной сток рассчитывается как остаточный член по разности между смоделированными атмосферными осадками и испарением.

Два первых подхода (назовем их гидрологическими) опираются на наиболее обоснованный, с нашей точки зрения, методический прием, который активно применяется в настоящее время. Суть его состоит в том, что в качестве исходных данных о палеоклиматических изменениях или возможных изменениях климата в будущем

используются результаты экспериментов на климатических моделях или ориентированные на прогноз результаты палеогеографических реконструкций (а также оценки, полученные с помощью других методических приемов), тогда как оценки собственно гидрологических изменений основываются на гидрологических методах, с разной степенью детальности описывающих процессы формирования водного цикла.

С участием авторов проведены первые оценки возможных неопределенностей сценарных прогнозов, связанных с использованием различных гидрологических моделей, что является одной из важных задач развития методологии.

Методология исследования

Предлагаемая методология позволяет получить долгосрочный сценарный прогноз изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах в результате глобальных и региональных изменений климата. В основе методологии прогноза гидрологических последствий изменения климата лежит модель месячного водного баланса Института географии РАН, которая прошла апробацию в разных природных зонах России и показала надежность при воспроизведении современного речного стока на уровне средних и крупных речных бассейнов.

Модель месячного водного баланса (ММВБ) разработана в Институте географии РАН специально для оценки гидрологических последствий ожидаемых глобальных климатических изменений в крупных речных бассейнах (Georgiadi, Milyukova, 2000; Георгиади, Милюкова, 2002, 2006). Она может быть отнесена к классу макромасштабных гидрологических моделей, которые активно разрабатываются в последние годы (Willmott et al, 1985; Yates, 1994; Fekete et al, 1999 и др.). В модели ММВБ описываются основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрация и аккумуляция влаги в почве, испарение, промерзание и оттаивание почвогрунтов, накопление снегозапасов и снеготаяние, формирование поверхностного и почвенного, грунтового и полного речного стока.

В этой модели учитываются макромасштабные неоднородности гидрометеорологических полей и других характеристик территории (почва, гидрогеологические условия и др.). Такой подход обеспечи-

вает необходимую степень точности моделирования изменений климата, получаемых в результате экспериментов на моделях общей циркуляции атмосферы. Модель прошла широкую апробацию для условий крупных речных бассейнов (Георгиади, Милюкова, 2002, 2006; Georgiadi et al, 2009 и др.), расположенных в разных природных зонах России, включая зону вечномерзлых грунтов.

В качестве климатического сценария используется диапазон возможных климатических изменений, который рассчитывается по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле из 11 климатических моделей, исходящих из двух контрастных сценариев мирового социально-экономического развития (А2 и В1), включенных в программу последнего эксперимента 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models, проведенного в рамках программы IPCC, и отобранных на основе сравнения наблюденного и модельного современного климата (Кислов и др., 2008).

Сценарные изменения климатических условий и речного стока в первой трети XXI столетия

Климатические условия. В бассейнах рек Волги и Дона в условиях первой трети века согласно обоим сценариям (А2 и В1) можно ожидать весьма сходного повышения среднегодовой температуры воздуха, находящегося в пределах 1,5–1,6^{0}С (табл.). Сценарии изменения среднегодового атмосферного увлажнения предсказывают его увеличение, которое, однако, находится в пределах нескольких процентов.

Ожидается, что наибольший рост осадков в обоих бассейнах произойдет в холодный период года (рис. 1, 2). В летние месяцы они могут даже уменьшиться. Такой характер внутригодового распределения устойчив для двух рассматриваемых климатических

Таблица. Изменения среднегодовых значений температуры воздуха (dT), атмосферных осадков (dP) и речного стока (dR) в первой трети XXI века

Река	A2 2025			B1 2025		
	dT, ^{0}C	dP, мм	dR, %	dT, ^{0}C	dP, мм	dR, %
Волга	1,5	23	5	1,6	24	3
Дон	1,5	13	12	1,5	15	12

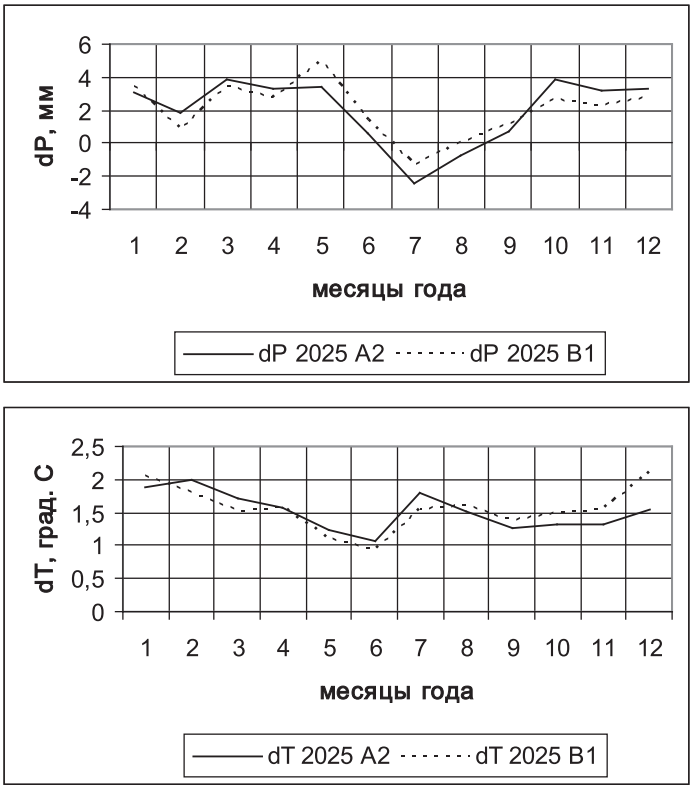


Рис. 1. Отклонения от современных значений среднемесячных сумм осадков (dP), температур воздуха (dT), обобщенных по ячейкам регулярной сетки 1^0x1^0, для бассейна Волги у Волгограда для первой трети XXI века по расчетам на ансамбле МОЦАО семейств сценариев: 1 – A2, 2 – B1

сценариев. Внутригодовое распределение положительных изменений температуры воздуха характеризуется, как правило, двумя сопоставимыми между собой «пиками», зимним и летним. В бассейне Дона (сценарий B1) «пик» летнего температурного повышения может превысить зимний.

Гидрологические условия. Для получения сценарной оценки изменения речного стока в бассейне Волги, возможного в первой трети и в середине XXI века, исходя из рассмотренных выше климатических сценариев были проведены расчеты на модели месячного водного баланса Института географии РАН.

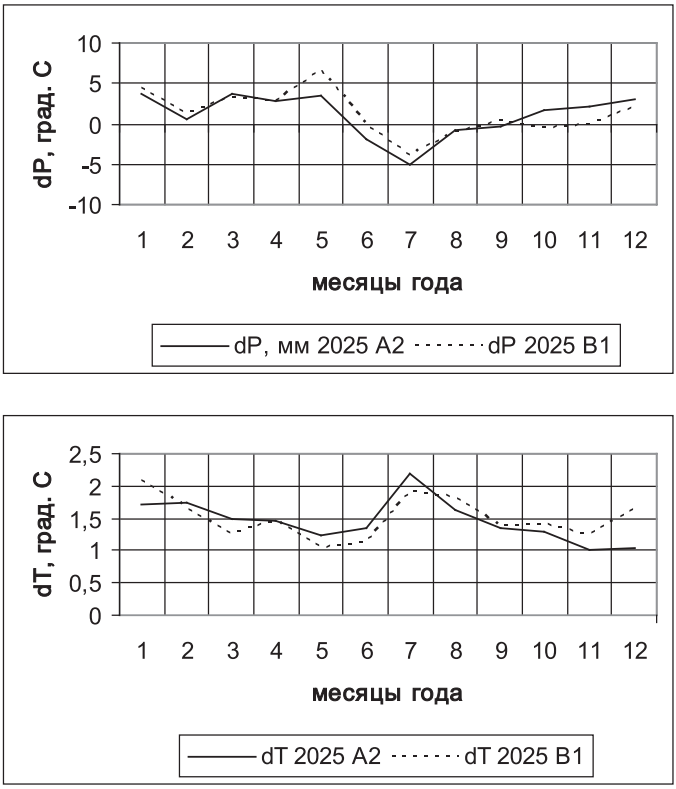


Рис. 2. Отклонения от современных значений среднемесячных сумм осадков (dP), температур воздуха (dT), обобщенных по ячейкам регулярной сетки 1^0x1^0, для бассейна Дона у ст. Раздорская для первой трети XXI века по расчетам на ансамбле МОЦАО семейств сценариев: 1 – A2, 2 – B1

Расчеты показали, что в случае реализации сценариев A2 и B1 в первой трети текущего столетия можно ожидать слабозаметное повышение годового стока в бассейне Волги (в пределах 3–5%) и его более существенный рост в бассейне Дона (9–12%).

Потепление климата в первой трети века может вызвать весьма существенную трансформацию внутригодового распределения речного стока (рис. 3), которое характеризуется его компактным преобразованием в период прохождения половодья, пик которого сместится на более ранние сроки. При этом может произойти рост максимального месячного стока в период половодья для условий обоих сценариев.

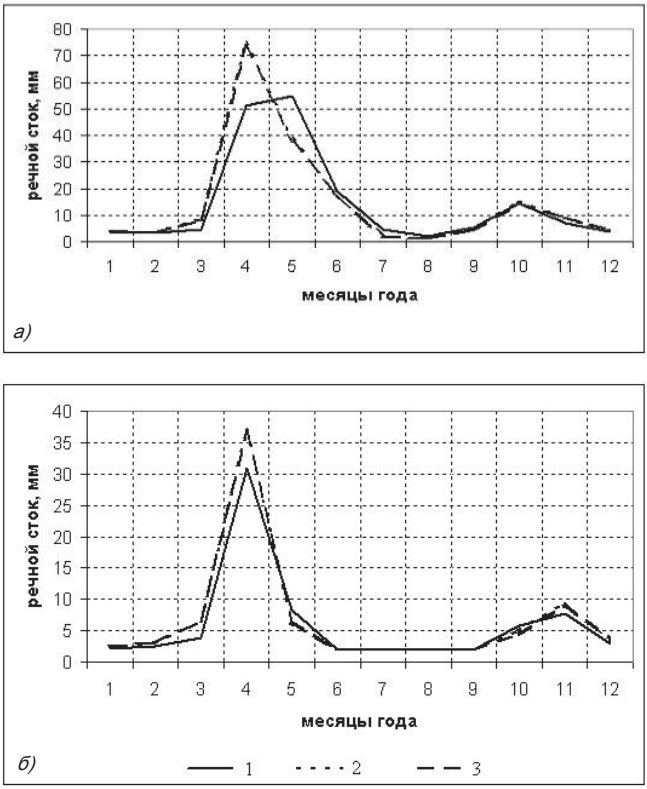


Рис. 3. Гидрографы слоев месячного стока, осредненных за период наблюдений и обобщенных по узлам регулярной сетки, для бассейнов рек: а) Волги и б) Дона: 1 – современный рассчитанный сток, 2 – сток в условиях климатического сценария А2, 3 – сток в условиях климатического сценария В1

Заключение

Предложенный подход применительно к крупнейшим речным бассейнам России, расположенным в разных природных условиях, может рассматриваться в качестве одной из основ для разработки сценарного прогноза гидрологических последствий вероятных в будущем изменений водных ресурсов, обусловленных изменениями глобального климата и социально-экономического комплекса.

Литература

1. *Георгиади А.Г., Милюкова И.П.* Масштабы гидрологических изменений в бассейне реки Волги при антропогенном потеплении климата // МиГ. 2002. №2. С. 72–79.
2. *Георгиади А.Г., Милюкова И.П.* Возможные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек Русской равнины в XXI веке // Водное хозяйство России. 2006. №1. С. 62–77.
3. *Георгиевский В.Ю., Ежов А.В., Шалыгин А.Л. и др.* Оценка влияния возможных климатических изменений на гидрологический режим и водные ресурсы рек бывшего СССР // МиГ. 1996. №11. С. 89–99.
4. *Кислов А.В., Георгиади А.Г., Алексеева Л.И., Бородин О.О.* Построение полей температуры воздуха и атмосферных осадков в районах с редкой измерительной сетью // МиГ. 2007. №8. С. 29–36.
5. *Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др.* Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: Макс Пресс, 2008. 290 с.
6. *Кучмент Л.С., Мотовилов Ю.Г., Назаров Н.А.* Чувствительность гидрологических систем. М.: Наука, 1990. 144 с.
7. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 3. СПбю: Метеоагентство Росгидромета, 2008. С. 159–163.
8. *Belyaev A.V., Georgiadi A.G.* River Runoff in the Northern Hemisphere under Conditions of Global Climate Warming by 1 dg C and 2 dg C // Hypothetical Scenario Essays for the Greenhouse Glasnost Program. Ed. by W.O.Roberts. Univ. Corp. for Atm. Res. Boulder. 1989. Pp. 6–7.
9. *B. M. Fekete, C. J. Vorosmarty, and W. Grabs.* Global Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances // Technical Report 22, Global Runoff Data Centre, Koblenz, Germany, 1999.
10. *Georgiadi A.G., Milyukova I.P.* Method of monthly water budget estimation under impact of global climate change // The Fourth International Conference on Global Continental Palaeohydrology-GLOCOPH 2000. Jointly with Symposium on Glaciation and Reorganization of Asia's Network of Drainage, August 21–26, 2000, Moscow and Central Part of Russian Plain, Russia // Conference papers and abstracts. Institute of Geography RAS. 2000. Pp. 106–109.
11. *Georgiadi A.G., Jai-Ho Oh, Yong Hee Lee.* Impact of Global Climate Warming on Macroscale Distribution of Mean Annual Water Budget Elements //

The Fourth International Conference on Global Continental Palaeohydrology-GLOCOPH 2000. Jointly with Symposium on Glaciation and Reorganization of Asia's Network of Drainage, August 21–26, 2000, Moscow and Central Part of Russian Plain, Russia. Conference papers and abstracts. Institute of Geography RAS. 2000. Pp. 22–27.

12. *Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kislov A.V., Barabanova E.A.* Integrated Scenarios of Long-Term River Runoff Changes within Large River Basins in the XXI Century // The Role of Hydrology in Water Resources Management. IAHS Publication, 327, Wallingford, UK. 2009. Pp. 45–51.
13. *Georgiadi A., Behrendt H., Kislov A., Koronkevich N., Milyukova I., Motovilov Yu., Shmakin A.* A system-analytic approach to assessment of future changes of water resources and climate-economy indices in Baltic Sea drainage basin. Presentation on Symposium on Socio-Environmental Modeling of the Baltic Sea Region. Uppsala Centre for Sustainable Development, 9–11 Nov, 2007.
14. *Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor.* The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research // Bulletin of the American Meteorological Society. 2007. Vol. 88. Pp. 1383–1394.
15. IPCC 2001. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D. J. Griggs et al (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. 881 p.
16. *Willmott, C.J., Rowe, C.M., Mintz, Y.* Climatology of the terrestrial seasonal water cycle // Journal of Climatology. 1985. Vol. 5. Pp. 589–606.
17. *Yates D., Strzepek K.* Comparison of Models for Climate Change Assessment of River Basin Runoff. WP-94-45, IIASA, Laxenburg, Austria. 1994. 48 p.

A.G. Georgiadi, I.P. Milyukova

SCENARIO ESTIMATION OF RIVER RUNOFF CHANGES IN VOLGA AND DON RIVER BASINS PROJECTED FOR FIRST THIRD OF XXI

As a basis of methodology for the projection of hydrological consequences of climate change the model of monthly water balance developed at Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Georgiadi, Milyukova, 2000, 2002, 2006, 2009). It has been approbated in different natural zones of Russia and has shown reliability for estimation of modern river runoff and its scenario changes.

As the climatic scenario the range of possible climatic changes for mean annual conditions for the period 2010–2039 which is defined by results of averaging of numerical calculations for deviations of climatic elements from their modern values spent on ensemble of climatic models, starting with two contrast scenarios of world social and economic development (A2 and B1), included in the program of last experiment 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models (Meehl et al, 2007) is used.

In first third of current century it is possible to expect less intensive increase (to 5 %) of an annual river runoff in Volga basin and its more essential growth (9–12 %) in Dona river basin. Climate warming can cause rather essential transformation of intraannual distribution of a river runoff.

А.Г. Георгиади, Е.А. Кашутина

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ В XXI СТОЛЕТИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ

Для условий Центральной лесостепи Русской равнины оценены сценарные изменения влагопереноса в системе «почва – растительность – приземный слой атмосферы», возможные в XXI веке в результате глобального потепления климата. Для оценки изменений влагопереноса для относительно небольших территорий использована физически обоснованная модель, описывающая основные процессы, протекающие в названной системе, включая транспирацию и физическое испарение (используется схематизация А.И. Будаговского), влагоперенос в зоне аэрации с учетом поглощения влаги корнями растений.

Согласно рассмотренным сценариям можно ожидать, что в Центральной лесостепи в течение XXI века усилится континентальность климата вегетационного периода. При этом значительно возрастет температура воздуха, и, наиболее вероятно, уменьшится количество осадков. Наибольшее снижение транспирации на угодьях с естественной или близкой к естественной растительности с длительным вегетационным периодом (в лесу, на косимых и некосимых участках степи, под многолетними травами) следует ожидать при реализации сценариев Метеорологического института Макса Планка, Германия (ECHAM/OPYC3) и Хадли Центра исследований климата, Великобритания (HadCM3). Ее самый большой рост, возможный при реализации сценария Геофизической лаборатории гидродинамики Принстонского университета США (GFDL-R30), характерен для посевных культур. Согласно проведенным расчетам наибольшее воздействие на функционирование растительных геосистем оказывает сценарное изменение количества выпавших осадков, тогда как роль изменений температуры воздуха относительно менее значима. В случае реализации сценариев ECHAM возможны критически низкие для существующего растительного покрова запасы влаги в почве.

Введение

Возможное поведение гидрологических систем в условиях меняющегося климата исследовалось многими авторами на различных по степени сложности моделях (Георгиади, Милюкова, 2002, 2006; Георгиевский и др., 1996; Кучмент и др., 1990; Шикломанов, Георгиевский, 2008; Georgiadi et al., 2009). Получены отдельные результа-

ты оценки возможных изменений увлажнения почвы как одного из компонентов водного цикла в условиях гипотетических климатических сценариев (Кучмент и др., 1990; Kuchment, Startseva, 1991). Более продвинутый характер носят прогнозы изменения увлажнения почвы земледельческих угодий в XXI веке, осуществляемые в рамках имитационного моделирования изменения агроклиматических ресурсов России и сопредельных стран при глобальном потеплении (Сиротенко, Павлова, 2003; Сиротенко, Грингоф, 2006).

Разработанная и параметризованная модель (Кренке, Кашутина, 2004; Кашутина, 1999) была использована для оценки гидрологического цикла вегетационного периода территории Центральной лесостепи Русской равнины при различных климатических сценариях, порой кардинально отличающихся. Подобные оценки могут быть полезны для дальнейшей разработки сценариев по оптимизации структуры хозяйственной деятельности на региональном уровне в долгосрочной перспективе.

Краткое описание модели

Модель включает в себя взаимосвязанные блоки испарения (по моделям испарения и транспирации А.И. Будаговского (Будаговский, 1986 а, б), модели поглощения почвенной влаги корнями растений (Molz, Remson, 1970) и перераспределения влаги в почвенной толще по уравнению диффузии.

Модификации модели прошли апробацию для территории Центральной лесостепи Русской равнины и были использованы для оценок влияния микромасштабной неоднородности физических свойств почвы на влагоперенос и мезомасштабной неоднородности потоков и ресурсов влаги в системе «почва – растительность – атмосфера» в разные по обеспеченности ресурсами тепла и влаги сезоны вегетации, а также для исторической реконструкции гидрологического цикла территории Центральной лесостепи с учетом ландшафтных изменений. Оценки основывались на материалах международных экспериментов КУРЭКС-88 и КУРЭКС-91, многолетних исследований Института географии РАН в Курской области и материалах Нижнедевицкой воднобалансовой станции. Модели параметризованы для основных плакорных геосистем зоны дифференцированно, с учетом их растительного и почвенного покровов.

Таблица 1. Площадь расчетных угодий на водосборе р. Сейм до г. Курска

Растительность	Площадь угодий в % от общей площади водосбора (без учета пойм)
Яровой ячмень	18,8
Озимая пшеница	13,3
Просо	1,4
Гречиха	1,8
Горох	1,6
Вика	0,6
Сахарная свекла	7,1
Кукуруза	6,6
Картофель	2,3
Пар	5,6
Многолетние травы	4,7
Однолетние травы	4,7
Леса и сады	6,4
Сенокосы и пастбища	14,2
Некосимая степь	1,0

Исходные данные

Современные условия. Расчетами были охвачены практически все геосистемы Центральной лесостепи. Их параметризация изложена в работе (Кашутина, 1999), а занимаемая ими площадь приведена в табл. 1. Не освещенными в расчетах остались болота, городские и прочие селитебные территории.

Необходимые для модельных расчетов параметры растительного покрова (динамика листового индекса, высота растительного покрова, фитопараметры модели Будаговского) задавались как осредненные за многолетний период для рассматриваемой территории (Учет разнообразия геосистем.., 1991; Савельева, 1974; Утехин и Хоанг Тьюнг, 1976). Эти величины предполагались постоянными для всех метеорологических сценариев и всех периодов расчета.

В качестве начальной весенней влажности почвы для пашни принималась величина, равная наименьшей влагоемкости. Подобная гипотеза о возможности равенства влажности почвы сразу после схо-

Таблица 2. Современный водный баланс вегетационного сезона (с 10 апреля по 10 октября) в Центральной лесостепи

Угодье, поле под сельскохозяйственной культурой	Составляющие водного баланса, мм					
	Изменение почвенного влагозапаса в слое 1 м (dw= Wк – Wн)	Испарение с поверхности почвы, ep	Транспи-рация, et	Суммарное испарение es=ep+et	Поток влаги в почве на уровне 1 м (u1)*	Невязка баланса в слое 1 м
Ячмень	–87,9	238,4	174,5	412,8	10,7	–7,8
Гречиха	–88,7	223,7	185,6	409,3	11,3	–4,0
Кукуруза	–89,6	245,1	165,6	410,7	11,9	–5,2
Пар	–21,9	337,8	0,0	337,8	20,0	–7,9
Лес	–137,9	58,9	558,8	617,6	–10,6	
Горох	–93,4	216,1	207,2	423,3	9,5	–11,5
Многолетние травы	–96,1	220,3	208,9	429,2	5,3	–10,5
Косимая степь	–87,1	218,9	216,7	435,6	4,1	–24,7
Однолетние травы	–83,2	257,4	163,6	421,0	9,8	–19,7
Картофель	–104,0	215,0	212,7	427,7	10,3	–6,1
Просо	–95,7	234,4	187,2	421,6	10,7	–8,6
Сахарная свекла	–105,5	140,1	397,8	537,9	–2,3	
Некосимая степь	–100,4	169,4	261,4	430,9	5,4	–7,9
Вика	–81,5	265,4	174,3	439,7	8,3	–38,6
Озимая пшеница	–93,1	209,8	214,3	424,1	7,6	–10,7

* Положительный поток влаги направлен от поверхностных почвенных горизонтов к глубинным.

да снежного покрова (в среднем 10 апреля) наименьшей влагоемкости не противоречит данным наблюдений для большинства лет (Афанасьева, 1966; Большаков, 1961; Коковина, 1974). Средний весенний влагозапас в слое 0–100 см на некосимой и косимой степи, в соответствии с имеющимися материалами наблюдений по Центрально-Черноземному заповеднику, составляет около 300 мм, что и было принято в расчетах, в лесу – в слое 0–200 см – 680 мм (Материалы стационарного изучения.., 1979).

Во всех вариантах расчета на модели не учитывался факт посева озимых культур в конце лета на некоторых полях. Считалось, что после уборки урожая пашни лишены растительности и расход воды из почвы идет в это время путем физического испарения. При этом, примерно с начала сентября, суммарное испарение, определяемое по модели для сельскохозяйственных полей, оказывается заниженным.

Современный водный баланс вегетационного сезона для разных типов поверхности представлен в табл. 2. Для участков под сахарной свеклой и под лесом – для растений с мощными, глубоко расположенными корневыми системами – предполагалось, что транспирация осуществляется из 2-метрового почвенного слоя, для прочих участков – из верхнего 1-метрового слоя почвы.

Расчетный вегетационный период для всех вариантов начинался 10 апреля и заканчивался 10 октября.

Климатические сценарии. В качестве климатических сценариев были выбраны результаты модельных экспериментов, исходящих из семейств A2 и B2 из серии SRES, принятой в программе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2001).

Среди всей совокупности SRES сценариев сценарии A2 характеризуются наиболее интенсивным ростом выбросов парниковых газов в атмосферу, тогда как для сценария B2 он оказывается промежуточным.

Были использованы климатические сценарии, полученные на моделях общей циркуляции атмосферы и океана Метеорологического института Макса Планка, Германия (ECHAM/OPY3), Хадли Центра по исследованию и прогнозу климата, Англия (HADCM3), Геофизической лаборатории гидродинамики Принстонского университета, США (GFDL-R30).

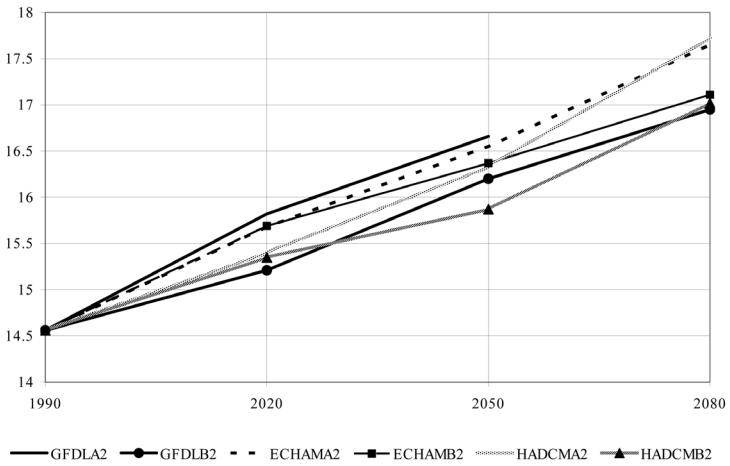


Рис. 1. Изменения сценарной температуры воздуха,
средней за вегетационный сезон (с 10 апреля по 10 октября)

Описание численных экспериментов

Расчеты основываются на сценарных оценках глобального потепления климата для трех временных срезов (использовались осредненные за 30-летие сценарные климатические элементы: 2010–2039 гг., условно отнесенные к 2025 г.; 2040–2069 гг. – к 2050 г. и 2070–2089 гг. – к 2080 г.) в отклонениях среднемесячных значений температуры воздуха и атмосферных осадков от современного климата (1961–1990 гг.).

Дельты сценарной среднемесячной температуры добавлялись к современным значениям температуры за каждые сутки расчетного месяца. Дельты сценарных суммарных за месяц осадков распределялись пропорционально по дням месяца, когда регистрировались осадки, в зависимости от величины осадков. Прочие метеоэлементы предполагались аналогичными современным. В качестве современных метеоусловий был принят смоделированный из данных наблюдений на станции Нижнедевицк (Материалы наблюдений, 1975–1985) умеренный по условиям тепло- и влагообеспеченности год. Процедура компоновки подробно описана в работе (Кашутина, 2001). Сценарные варианты метеоусловий, полученные на основе современного «осредненного» года, тоже являются некоторыми «средними», но уже для иных временных срезов. По многолетним наблюдениям метеостанции «Стрелецкая степь» Центрально-Черноземного за-

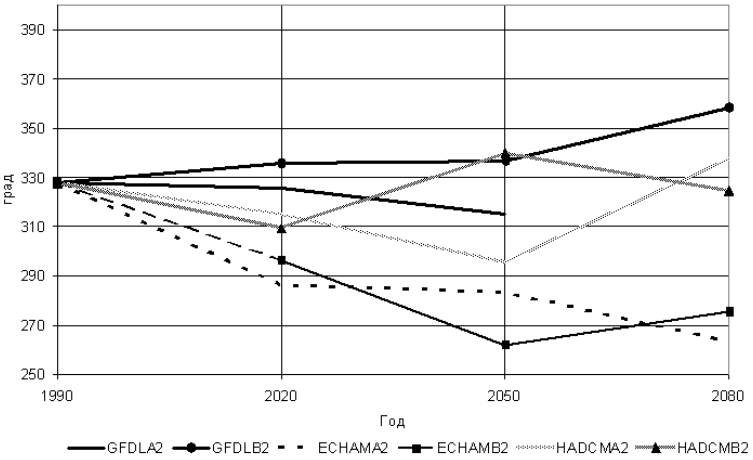


Рис. 2. Изменения сценарных сумм осадков
за вегетационный сезон (с 10 апреля по 10 октября)

поведника (Материалы стационарного изучения.., 1979), выполнены оценки тепло- и влагообеспеченности полученных расчетных вегетационных сезонов. Обобщенные характеристики смоделированных сезонов представлены в табл. 3, а на рис. 1 и 2 показана временная динамика осадков и температуры при расчетах по разным климатическим сценариям.

Обсуждение результатов экспериментов

Сценарные климатические изменения. Заметен постоянный и очень значительный рост температур воздуха по всем рассматриваемым климатическим сценариям в течение XXI столетия. Если оценивать вероятность сценарных сезонов по кривым обеспеченности, построенным для современных климатических условий, очевидно резкое увеличение экстремальности вегетационных сезонов по тепловым ресурсам (менее 5% по всем сценариям к 2080 году).

Осадки по всем сценариям, кроме GFDLB2, уменьшаются, особенно значительно (до 20%) в сценариях ECHAM. Однако вероятность сценарных значений обеспеченности сезонов влагой возрастает, но не до экстремальных значений.

Итак, можно утверждать, что в течение XXI века усилится континентальность климата вегетационного периода в Центральной лесо-

Таблица 3. Измеренные и рассчитанные по моделям климата метеорологические характеристики вегетационного периода (с мая по сентябрь) в зоне Центральной лесостепи в XX – XXI веке

Временной уровень (год)	Измеренные значения	Сценарий климатических изменений					
		GFDL		ECHAM		HADCM	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Осадки за период							
абсолютные значения, мм							
1990	327,9						
обеспеченность периода, %							
1990	53						
2020		56	51	68	66	59	62
2050		62	53	70	77	68	50
2080			46	76	74	54	58
абсолютные отклонения от 1990 г.*, мм							
2020		–2,3	8,0	–41,7	–31,5	–12,7	–18,4
2050		–12,6	9,0	–44,5	–65,8	–32,2	12,1
2080			30,6	–64,5	–52,4	10,0	–3,1
относительные отклонения от 1990 г., %**							
2020		–0,7	2,4	–12,7	–9,6	–3,9	–5,6
2050		–3,8	2,7	–13,6	–20,1	–9,8	3,7
2080			9,3	–19,7	–16,0	3,0	–0,9
Температура воздуха							
абсолютные значения, °С							
1990	14,6						
обеспеченность, %							
1990	49						
2020		16	29	16	16	22	24
2050		6	10	6	8	8	13
2080			5	<3	3,5	<3	4
абсолютные отклонения от 1990 г.*, °С							
2020		1,3	0,6	1,1	1,1	0,8	0,8
2050		2,1	1,6	2,0	1,8	1,8	1,3
2080			2,4	3,1	2,6	3,2	2,5
относительные отклонения от 1990 г., %**							
2020		8,7	4,4	7,7	7,7	5,8	5,4
2050		14,4	11,2	13,7	12,4	12,2	8,9
2080			16,4	21,2	17,5	21,7	16,9

*Абсолютное отклонение от 1990 года ($\Delta_{абс}$) – абсолютная разность между сценарным значением $a_{сцен}$ и данными на 1990 год a_{1990} . $\Delta_{абс} = a_{сцен} - a_{1990}$.

**Относительное отклонение от 1990 года $\Delta_{отн} = (a_{сцен} - a_{1990}) / a_{1990} * 100\%$.

Таблица 4. Максимальные (Max) и минимальные (Min) расчетные изменения составляющих водного цикла для разных геосистем Центральной лесостепи в XXI веке по сравнению с современными значениями, $\Delta_{отн}$ %

Параметр	Изменения	Год	Сценарий климатических изменений					
			GFDL		ECHAM		HADCM	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Транспирация	Max	2020	1,6	6,1	–2,3	–2,1	1,5	–0,9
	Min	2020	0,4	1,3	–8,0	–10,3	–5,0	–7,5
	Max	2050	5,4	3,3	–3,4	–5,2	0,3	2,8
	Min	2050	–4,3	–0,1	–11,0	–16,7	–9,5	–2,6
	Max	2080		5,6	–4,7	–3,8	7,9	3,0
	Min	2080		3,4	–16,2	–15,2	0,2	–0,9
Испарение с поверхности почвы	Max	2020	1,4	3,9	2,0	3,2	1,6	1,1
	Min	2020	–0,6	–1,0	–5,1	–0,9	–1,4	–1,7
	Max	2050	5,0	4,8	0,2	2,2	1,3	3,7
	Min	2050	0,0	1,0	–4,7	–6,5	–1,6	–0,2
	Max	2080		5,3	0,5	3,8	5,1	4,8
	Min	2080		0,7	–7,5	–5,0	2,1	0,5
Суммарное испарение	Max	2020	1,4	3,2	–0,7	0,7	1,0	0,5
	Min	2020	0,2	0,6	–5,3	–5,9	–2,7	–4,3
	Max	2050	3,2	2,5	–2,7	–4,1	0,3	2,1
	Min	2050	–1,6	1,0	–6,5	–10,8	–5,1	–0,6
	Max	2080		4,4	–3,4	–2,3	5,5	2,8
	Min	2080		1,8	–10,3	–9,2	1,5	0,4
Влагозапасы в метровом почвенном слое	Max	2020	23,6	13,3	131,8	107,0	64,1	55,5
	Min	2020	2,3	–1,4	8,0	4,8	2,9	1,8
	Max	2050	92,3	8,4	108,6	169,6	115,2	1,7
	Min	2050	6,0	–5,3	6,3	10,7	6,8	–39,9
	Max	2080		–4,3	163,3	150,6	18,9	54,1
	Min	2080		–85,8	11,1	7,9	1,9	2,2

степи: значительно возрастут температуры воздуха, и уменьшится количество осадков теплого периода по всем рассматриваемым сценариям, кроме GFDLB2. Наибольшее сокращение осадков прогнозируется по сценариям ECHAM.

Изменения климатических условий произрастания растительных сообществ могут привести и к изменениям в растительном покрове территории Центральной лесостепи. В условиях дефицита воды и усиления жары увеличится ксерофилизация растительного покрова. Тяжелее всего придется основным потребителям влаги в лесостепи – лесным сообществам. Полевые растения, особенно культура сахарной свеклы, также будут испытывать водный стресс. Ниже мы рассмотрим, как будет меняться гидрологический цикл в разных угодьях лесостепи в течение XXI столетия, если параметры растительного покрова принять аналогичными современным.

Результаты расчетов изменения гидрологического цикла в системе «почва – растительность – приземный слой атмосферы». Возможные изменения составляющих водного цикла Центральной лесостепи по сравнению с современными значениями в относительных отклонениях по всем расчетным геосистемам приведены в табл. 4. Абсолютные отклонения значений от современных для репрезентативных для Центральной лесостепи участков показаны на рис. 3–6.

На уровне 2025 года:

По сценариям GFDL абсолютные значения транспирации на всех участках увеличиваются, более значительно по варианту B2, по которому, помимо роста температуры на 0,6°C (на 4,4%), возможно даже увеличение количества осадков в течение вегетационного периода на 8,0 мм (на 2,4%). По варианту A2 прирост транспирации связан с ростом температур (на 1,3°C, или на 8,7%) при достаточном обеспечении растений влагой (уменьшение осадков незначительно – на 2,3 мм, или на 0,7%). Наибольший абсолютный прирост транспирации по сценарию A2 отмечается на культуре сахарной свеклы (на 5,2 мм), наименьший – на некосимой степи (на 1,3 мм). Испарение с поверхности почвы больше всего вырастет на полях, занятых однолетними травами (на 5,2 мм), а под викой и сахарной свеклой оно даже немножко уменьшится (на 1,5 мм). Суммарное испарение везде вырастет – от 0,9 мм на полях вики до 5,7 мм с участков, занятых однолетними травами. Дефицит влажности почвы в метровом почвенном слое к концу сезона вегетации

увеличивается от 3,2 мм под лесом до 12 мм под однолетними травами. По сценарию В2 максимальный рост транспирации отмечается на полях гречихи (на 11,4 мм), минимальный – на участках, занятых многолетними травами (4,8 мм). Испарение с поверхности почвы под викой и сахарной свеклой несколько уменьшится (на 1,4 мм), на других полях оно незначительно вырастет, больше всего под культурой гороха – на 5,2 мм. Рост суммарного испарения значительнее, чем по варианту А2: от 2,2 мм на пару, до 13,6 мм с полей, занятых горохом. Дефицит влажности почвы в метровом почвенном слое к концу сезона вегетации везде увеличивается (максимально на 12,4 мм – под культурой гороха).

По сценариям ECHAM произойдет значительное снижение транспирации, связанное с уменьшением влагообеспеченности территории. *По варианту А2* сокращение осадков составит 41,7 мм, или 12,7%, а температура при этом вырастет на 1,1°С (7,7%). Наименьшие изменения транспирации произойдут на полях, занятых кукурузой (сокращение на 5,1 мм), наибольшие – на лесных участках (сокращение на 24,3 мм). Испарение с поверхности почвы почти со всех участков уменьшится (максимально на 12 мм с почвы под просом). Небольшое увеличение испарения с поверхности почвы (на 4,4 мм) произойдет только на косимой степи. Суммарное испарение везде уменьшится – от 2,4 мм на пару, до 23,8 мм в лесу. Дефицит влажности почвы в 1-метровом почвенном слое к концу сезона вегетации увеличится: на 11 мм под лесом, на 31 мм под горохом. *По варианту В2* осадки сократятся на 31,5 мм (на 9,6%), температура, как и по варианту А2, вырастет на 1,1°С (на 7,7%). Наименьшее изменение транспирации характерно для полей, занятых викой (сокращение на 5,4 мм), наибольшее – с участков некосимой степи (на 26,8 мм). Испарение с поверхности почвы при этом варианте будет меняться незначительно, для проса сократится на 2,2 мм, а на участках косимой степи вырастет на 6,9 мм. Суммарное испарение на пару вырастет на 2,4 мм, а на участках, покрытых растительным покровом, значительно сократится – на 25,3 мм на некосимой степи. Дефицит влажности почвы в метровом почвенном слое к концу сезона вегетации изменится так же, как в варианте А2, но чуть меньше по абсолютным значениям.

По моделям HADCM:

- по варианту В2, по которому произойдет сокращение осадков на 18,4 мм (на 5,6%), а температура увеличится на 0,8°С (на 5,4%),

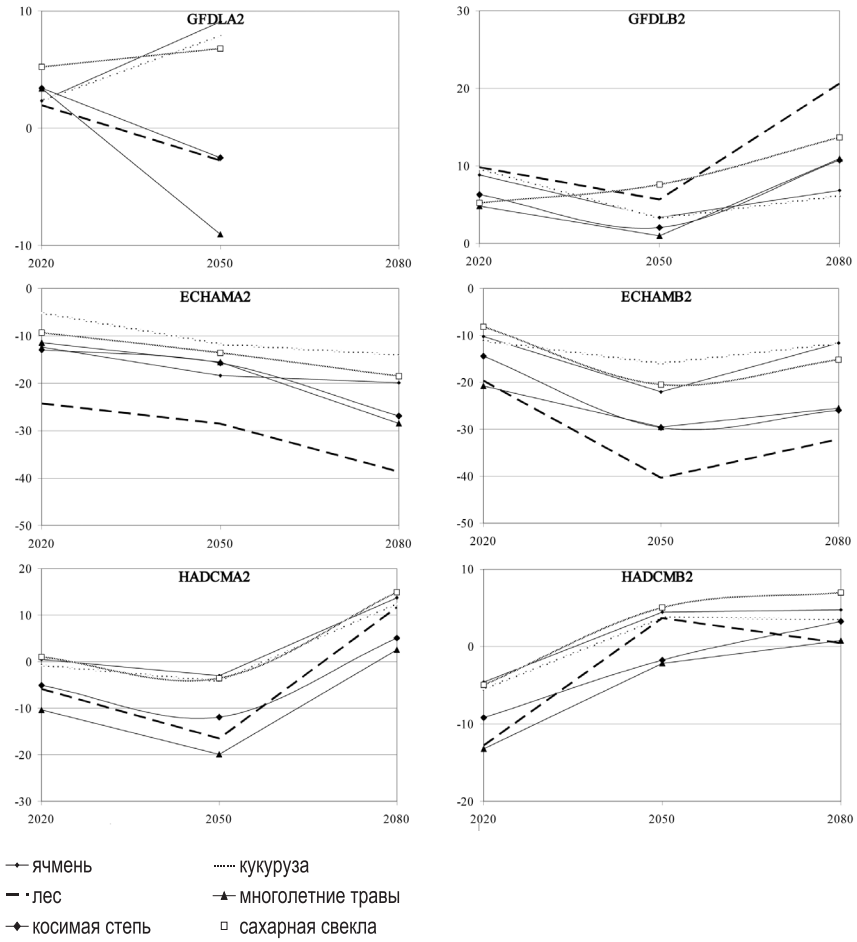


Рис. 3. Абсолютные отклонения сценарных значений транспирации за вегетационный сезон в XXI веке от современных ($\Delta_{абс}$) в Центральной лесостепи. По горизонтальной оси – годы, по вертикальной оси – мм

наиболее значительное уменьшение транспирации отмечается с некосимой степи (на 19,5 мм), наименее значительное – с полей вики (на 1,5 мм). Испарение с поверхности почвы на некоторых участках несколько уменьшится (на 3,6 мм под многолетними травами), а на некоторых вырастет (на 2,6 мм под кукурузой). Суммарное испарение везде, кроме пара, уменьшится – на 18,5 мм на некосимой степи, на пару оно немного вырастет – на 1,8 мм. И по сценарию А2, и по В2 происходит увеличение дефи-

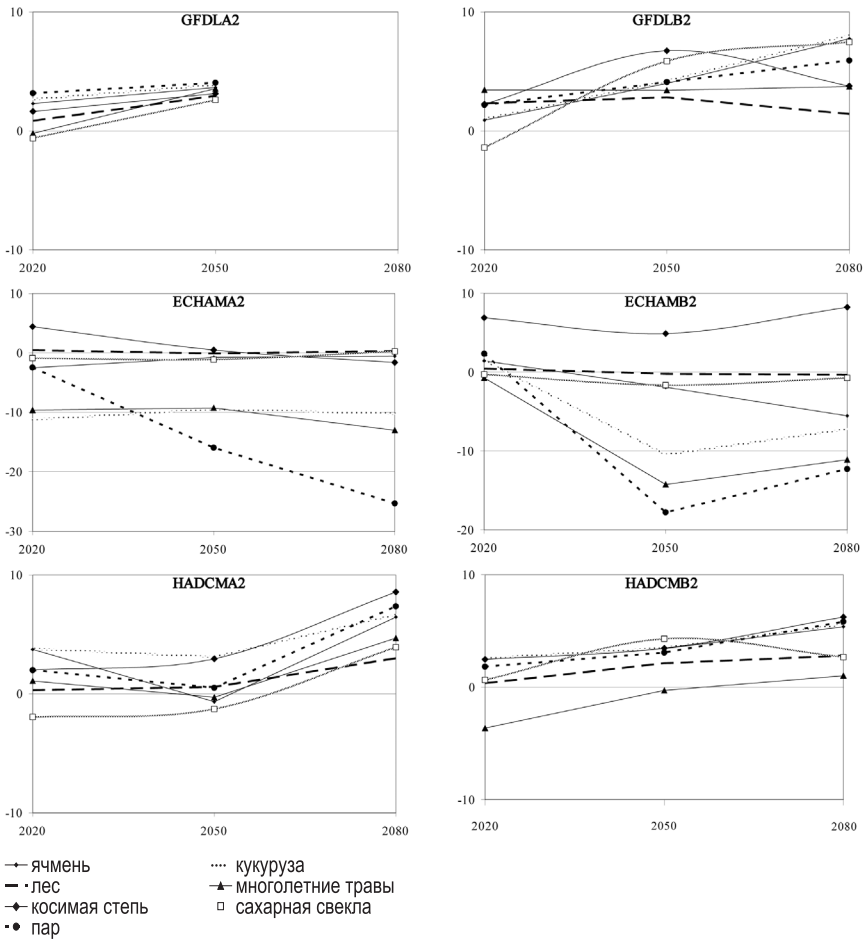


Рис. 4. Абсолютные отклонения сценарных значений испарения с поверхности почвы за вегетационный сезон в XXI веке от современных ($\Delta_{абс}$) в Центральной лесостепи. По горизонтальной оси – годы, по вертикальной оси – мм

цита влажности почвы в метровом почвенном слое к концу сезона вегетации – до 20 мм на ячмене и озимой пшенице.

- по варианту А2, по которому произойдет сокращение осадков на 12,7 мм (на 3,9%), а температура увеличится на 0,8°С (на 5,8%), наибольшее сокращение транспирации произойдет с некосимой степи (на 12,4 мм), а транспирация озимой пшеницей даже немного увеличится (на 2,7 мм). Испарение с поверхности почвы будет меняться незначительно, как в сторону уменьшения (на 2,2 мм

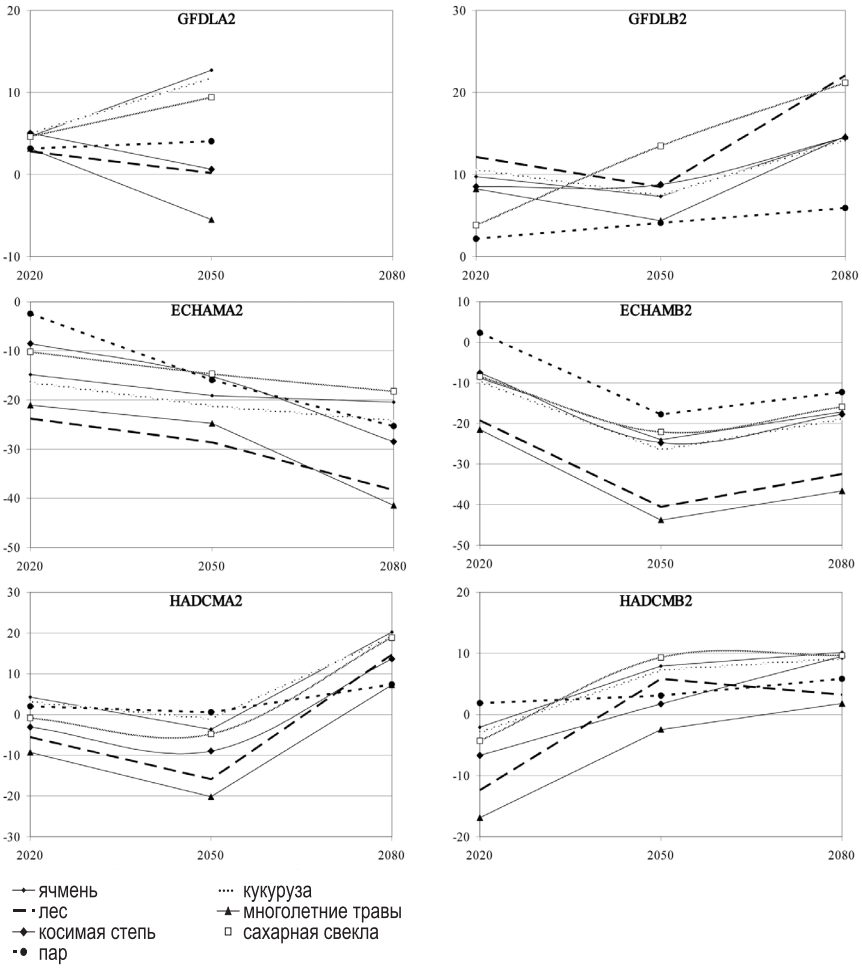


Рис. 5. Абсолютные отклонения сценарных значений суммарного за вегетационный сезон испарения в XXI веке от современных ($\Delta_{абс}$) в Центральной лесостепи. По горизонтальной оси – годы, по вертикальной оси – мм

на полях, занятых викой и просом), так и в сторону увеличения – на 3,8 мм под кукурузой). Суммарное испарение на участках, занятых растительным покровом с высоким водопотреблением (лесом, некосимой степью, травами), уменьшается – на 11,7 мм на некосимой степи, на других участках незначительно увеличивается (максимально на 4,3 мм с поля, занятого ячменем).

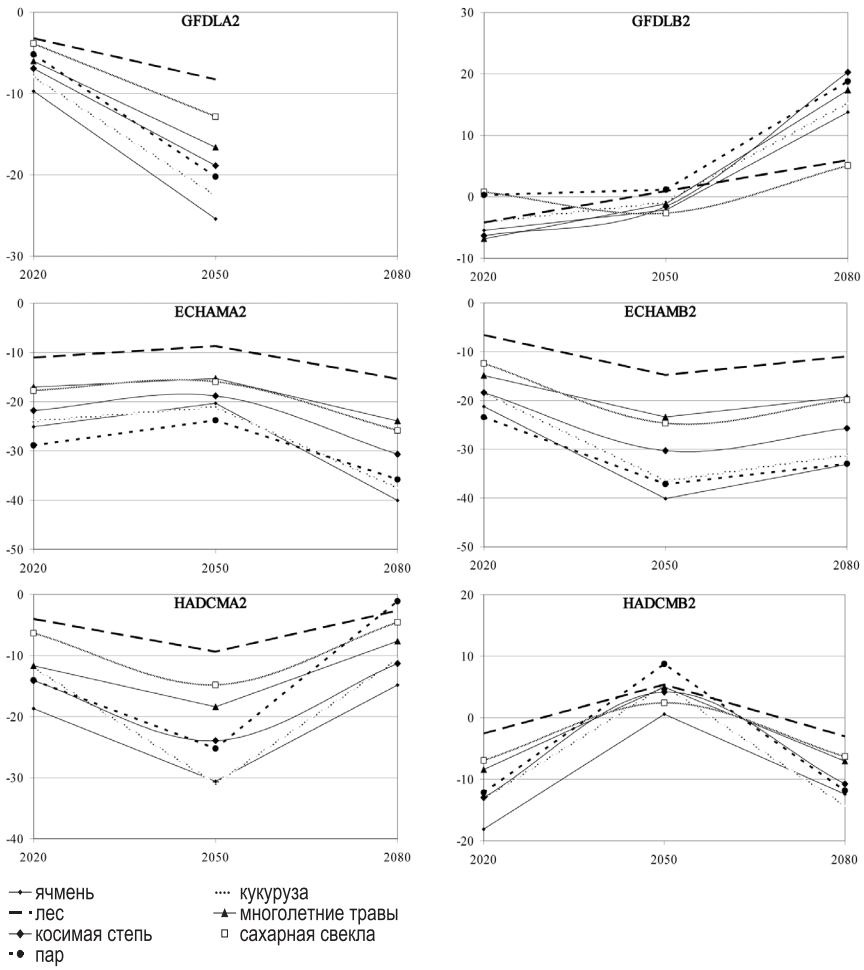


Рис. 6. Абсолютные отклонения сценарных значений изменения влагозапасов в метровом почвенном слое за вегетационный сезон от современных ($\Delta_{абс}$) в Центральной лесостепи. По горизонтальной оси – годы, по вертикальной оси – мм

На уровне 2050 года:

По моделям GFDL:

- по сценарию А2, по которому происходит уменьшение осадков на 12,6 мм (на 3,8%) и рост температуры на 2,1°С (на 14,4%), происходит уменьшение абсолютных значений транспирации естественными угодьями и некоторый рост транспирации посевными

культурами. На некосимой степи сокращение транспирации составляет 11,1 мм, максимальный рост отмечен на полях озимой пшеницы (на 11,6 мм). Испарение с поверхности почвы растет – максимально на 6,8 мм под посевами гороха (сценарий А2), на 7 мм под однолетними травами (по сценарию В2). Суммарное испарение на некосимой степи и с многолетних трав уменьшается (на 6,7 мм), на других участках растет – максимально на 13,5 мм с поля, занятого горохом. Дефицит влажности верхнего метрового почвенного слоя к концу сезона вегетации везде увеличивается – на 8,3 мм в лесу, на 28,7 мм под горохом;

- по сценарию В2 при росте суммарных за сезон осадков на 9,0 мм (на 2,7%) и увеличении температур на 1,6°С (на 11,2%) везде отмечается абсолютное увеличение транспирации (примерно от 0 мм на некосимой степи до 7,6 мм на сахарной свекле). Испарение с поверхности почвы на участках, занятых сахарной свеклой, уменьшается на 1,4 мм, на других участках растет – максимально на 5,2 мм (под посевами гороха). Суммарное испарение везде увеличивается – минимально на 4,1 мм на пару, максимально – на 13,5 мм на сахарной свекле. Дефицит влажности верхнего метрового почвенного слоя к концу сезона вегетации увеличивается на 6,8 мм под викой и горохом, на других участках изменения не столь значительны.

По сценариям ECHAM, характеризующимся наиболее значительным сокращением осадков и значительным увеличением температур, отмечается самое значительное из всех рассматриваемых вариантов уменьшение транспирации, наибольшее – по сценарию В2. По этому варианту осадки сокращаются на 65,8 мм (на 20,1%), а температура поднимается на 1,8°С (на 12,4%). При этом максимальное сокращение транспирации отмечено на некосимой степи (на 43,6 мм), наименьшее падение транспирации зафиксировано расчетами с культуры вики (на 14,8 мм). По сценарию А2 (сокращение осадков на 44,5 мм, или 13,6%, рост температуры на 2,0°С , или 13,7%) максимальное падение отмечено на лесных участках (на 28,5 мм), минимальное, как и по В2, – с культуры вики (на 11,7 мм). По обоим сценариям на всех участках уменьшается испарение с поверхности почвы – максимально на 17,8 мм на пару, и суммарное испарение – на 46,6 мм по сценарию В2 на некосимой степи, на 28,6 мм по сценарию А2 с лесных участков. Растет дефицит влажности в метровом слое почвы к концу сезона вегетации, особенно по варианту В2 – на 43,1 мм под посевами вики.

По моделям HADCM:

По варианту B2 прогнозируется рост осадков за сезон на 12,1 мм, или 3,7%. При росте средней за сезон температуры на 1,3°C (на 8,9%) наблюдается падение абсолютных значений транспирации с некосимой степи (на 6,9 мм), с косимой степи и с участков под многолетними травами. На прочих угодьях транспирация растет. Максимальное увеличение транспирации зафиксировано с полей озимой пшеницы – на 5,7 мм. Испарение с поверхности почвы увеличивается на некосимой степи на 6,2 мм, на других участках рост параметра выражен слабее. Суммарное испарение везде растет – максимально на 9,3 мм на поле сахарной свеклы, и только с участков многолетних трав немного (на 2,5 мм) уменьшается. Дефицит влаги в метровом почвенном слое на конец сезона вегетации везде сокращается – максимально на 8,7 мм под паром.

По варианту A2, по которому, помимо увеличения средней за сезон температуры на 1,8°C (на 12,2%), происходит и сокращение осадков на 32,2 мм (на 9,8%), почти на всех участках отмечается сокращение транспирации – наибольшее на некосимой степи (на 23,5 мм). Наименьшие изменения транспирации, близкие к нулю, отмечаются с культуры вики (незначительный рост на 0,5 мм). Испарение с поверхности почвы может как уменьшаться (на поле вики на 4,3 мм), так и увеличиваться (максимально на 3,1 мм на поле кукурузы). Суммарное испарение почти везде уменьшается – максимально на 22 мм на некосимой степи. Дефицит влаги в слое почвы 0–1 м везде увеличивается – на 9,4 мм в лесу, на 34,7 мм на горохе.

На уровне 2080 года:

По сценарию GFDLB2 осадки увеличиваются на 30,6 мм (на 9,3%) – и это самое значительное увеличение осадков из всех рассматривавшихся вариантов. Температура растет на 2,4°C (на 16,4%). На всех угодьях отмечается рост транспирации – минимально на 6,2 мм на поле кукурузы, максимально на 20,6 мм в лесу. Растет испарение с поверхности почвы – минимально на 1,4 мм в лесу, максимально на 8,1 мм под культурой кукурузы. Увеличивается суммарное испарение – на 5,9 мм на пару, на 22,1 мм в лесу, на 21 мм на сахарной свекле. Дефицит влаги в почве к концу вегетационного сезона уменьшается – максимально на 20,3 мм на косимой степи. Рост запасов влаги в верхнем метровом слое почвы отмечается даже под основными потребителями влаги в лесостепной зоне – под лесом и под сахарной свеклой (примерно на 5–6 мм).

По сценарию ECHAMA2 – самому экстремальному из всех рассматривавшихся – сокращение осадков составит 64,5 мм (19,7%), температура вырастет на 3,1°С (на 21,2%). Отмечается повсеместное уменьшение транспирации – от 12,9 мм с вики до 42,3 мм с некосимой степи. Испарение с поверхности почвы также уменьшается – максимально на 25,3 мм с пара. Суммарная транспирация везде падает – максимально на 44 мм на некосимой степи, минимально на 14 мм с однолетних трав. По сценарию ECHAMB2 осадки сокращаются на 52,4 мм (на 16%), температура растет на 2,6°С (на 17,5%). Отмечается повсеместное сокращение транспирации – от 11,6 мм с ячменных полей до 39,8 мм с некосимой степи. Со степи и с однолетних трав испарение с поверхности почвы увеличивается – на 8,3 мм с косимой степи, с других участков испарение с почвы сокращается – максимально на 12,3 мм с пара. Суммарная транспирация везде падает – максимально на 40 мм на некосимой степи, минимально на 10 мм с однолетних трав. Дефицит влаги в почвенном слое мощностью 1 м и по сценарию А2, и по сценарию В2 увеличивается, особенно по первому из них. Наиболее уменьшаются запасы влаги по сценарию А2 на поле вики (на 43 мм).

По варианту HADCMA2 осадки увеличиваются на 10 мм (3,0%), температура растет на 3,2°С (21,7%), это самое значительное увеличение осадков из рассматривавшихся. Отмечается рост транспирации от 0,6 мм на некосимой степи до 16,7 мм на озимой пшенице. По варианту HADCMB2 осадки сокращаются на 3,1 мм (на 0,9%), температура увеличивается на 2,5°С (на 16,9%). При этом на некосимой степи транспирация падает на 2,4 мм, на остальных растет – максимально на сахарной свекле (на 7,0 мм).

Испарение с поверхности почвы и суммарное испарение по обоим сценариям растет, особенно по А2 – на 11 мм (испарение с поверхности почвы) и на 23,5 мм (суммарное испарение) с посева гороха. Дефицит влаги в верхнем метровом почвенном слое по всем участкам растет (влагозапас почвы к концу сезона вегетации сокращается минимально на 1мм на пару по варианту А2, максимально на 17 мм под озимой пшеницей по варианту А2). По варианту В2 аналогичные значения – на 3 мм в лесу, на 19,4 мм под горохом.

Выводы

Итак, можно утверждать, что в течение XXI века усилится континентальность климата вегетационного периода в Центральной лесостепи: значительно возрастет температура воздуха и уменьшится количество осадков теплого периода по всем рассматриваемым сценариям, кроме GFDLB2. Наибольшее сокращение осадков прогнозируется по сценариям ECHAM.

По сценариям ECHAM и HADCM – наибольшее абсолютное падение транспирации, а для сценариев GFDL наименьший рост транспирации отмечается на угодьях с естественной или близкой к естественной растительности с длительным вегетационным периодом (в лесу, на косимых и некосимых участках степи, под многолетними травами). Соответственно наименьшее сокращение транспирации по сценариям ECHAM и HADCM и самый большой ее рост по сценариям GFDL характерен для посевных культур. Исключение составляет чрезвычайно благоприятный по тепло- и влагообеспеченности сценарий GFDLB2 для уровня 2080 г., когда самый большой рост испарения отмечается на участках с растительностью с максимальной потенциальной транспирационной способностью – то есть в лесу, с посевов сахарной свеклы, с некосимой степи и с трав. Относительные изменения величин транспирации в целом повторяют динамику абсолютных изменений, но с учетом разницы в потенциальной транспирации угодий.

Наибольшее значение для функционирования растительных геосистем, согласно расчетам на модели, играет количество выпавших осадков, значение же температуры воздуха не так важно. Наиболее экстремальный сценарий развития событий, при котором значительно ухудшается влагообеспеченность растительного покрова Центральной лесостепи – вариант ECHAM, при реализации которого значительно нарастает дефицит почвенной влаги. Это ставит под вопрос возможность функционирования в Центральной лесостепи растительного покрова с длительным периодом вегетации, особенно такого влагопотребляющего, как современные широколиственные леса. Можно прогнозировать значительное усиление ксерофилизации травянистого покрова лесостепи при реализации всех рассмотренных вариантов, кроме благоприятного для функционирования геосистем Центральной лесостепи сценария GFDLB2.

Литература

1. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
2. *Большаков А.Ф.* Водный режим мощных черноземов Среднерусской возвышенности. М.: АН СССР, 1961. 200 с.
3. *Будаговский А.И.* Уточнение моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы. 1986 а. №5. С. 58–69.
4. *Будаговский А.И.* Методы оценки параметров моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы. 1986 б. №6. С. 3–15.
5. *Георгиади А.Г., Милюкова И.П.* Масштабы гидрологических изменений в бассейне реки Волги при антропогенном потеплении климата. Метеорология и гидрология. 2002. №2. С. 72–79.
6. *Георгиади А.Г., Милюкова И.П.* Возможные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек Русской равнины в XXI веке. Водное хозяйство России. 2006. №1. С. 62–77.
7. *Георгиевский В.Ю., Ежов А.В., Шалыгин А.Л. и др.* Оценка влияния возможных климатических изменений на гидрологический режим и водные ресурсы рек бывшего СССР // Метеорология и гидрология, 1996. №11. С. 89–99.
8. *Денисенко Е.А., Люри Д.И.* Пространственно-временная изменчивость листового индекса растительного покрова // Изв. РАН. Сер. геогр. 1994. №6. С. 41–51.
9. *Кашутина Е.А.* Моделирование межгеосистемных различий влагопереноса в системе «почва – растительность – атмосфера лесостепи»: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук / Науч. рук. А.Н. Кренке. М., ИГ РАН, 1999. 24 с.
10. *Кашутина Е.А.* Изменение влагооборота в почвенной толще черноземов лесостепи при различных вариантах гидротермического режима // Изв. РАН, сер. геогр. 2001. №3. С. 83–90.
11. *Кашутина Е.А.* Пространственная изменчивость влагооборота в лесостепи Русской равнины // Изв. РАН, сер. геогр. 2003. №2. С. 93–102.
12. *Коковина Т.П.* Водный режим мощных черноземов и влагообеспеченность на них сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1974. 302 с.
13. *Кренке А.Н., Кашутина Е.А.* Моделирование межгеосистемных различий влагопереноса в системе «почва – растительность – атмосфера лесостепи» // VI Всероссийский гидрологический съезд. 28 сентября – 1 октября 2004 г. Санкт-Петербург // Тез. докл. Секция 5 «Гидрофизические явления и процессы // Формирование и изменчивость речного стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты». Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 2004. С. 7–9.
14. *Кучмент Л.С., Мотовилов Ю.Г., Назаров Н.А.* Чувствительность гидрологических систем. М.: Наука, 1990. 144 с.

15. Материалы наблюдений Нижнедевицкой водно-балансовой станции. Вып. 15–24. Курск.: УОП УГКС ЦЧО, 1970–1985.
16. Материалы стационарного изучения компонентов лесостепных заповедных биогеоценозов: Климат, влажность почвы и фитофенология // Центрально-Черноземный заповедник им. проф. В.В. Алехина. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. Вып. 12. 428 с.
17. *Савельева Т.А.* Особенности испарения, его структуры и продуктивности использования влаги в различных природных и природно-технических комплексах // Водный баланс основных экосистем Центральной лесостепи: Материалы экспериментальных исследований. М.: ИГ АН СССР, 1974. Ч.1. С. 154–212.
18. *Сиротенко О.Д., Грингоф И.Г.* Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2006. №8. С. 92–101.
19. *Сиротенко О.Д., Павлова В.Н.* Оценка влияния изменений климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов // Метеорология и гидрология. 2003. №8. С. 89–99.
20. *Утехин В.Д., Хоанг Тьюнг.* Структура и продуктивность фитомассы луговой степи // Биота основных геосистем Центральной лесостепи. М.: ИГ АН СССР, 1976. С. 7–24.
21. Учет разнообразия геосистем при определении тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой. Программа ГКНТ № 18 «Глобальные изменения природной среды и климата»: Промежуточный отчет. ИВП РАН. Москва, 1991.
22. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 3. СПб., Метеоагентство Росгидромета, 2008. С. 159–163.
23. *Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kislov A.V., Barabanova E.A.* Integrated Scenarios of Long-Term River Runoff Changes within Large River Basins in the XXI Century // The Role of Hydrology in Water Resources Management. IAHS Publication, 327, Wallingford, UK. 2009. P. 45–51.
24. IPCC 2001. Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001,881 p.
25. *Kuchment L.S., Startseva Z.P.* Sensitivity of evapotranspiration and soil moisture in wheat fields to changes in climate and direct effects of carbon dioxide. Hydro.Sci., 1991, Vol. 36, p. 631–643.
26. *Molz F.J., Remson I.* Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants // Water Res. Res. 1970. Vol. 6, N 5. p. 1346–1356.

A.G. Georgiadi, E.A. Kashutina

HYDROLOGICAL CYCLE CHANGE FOR VEGETATION SEASON IN THE CENTRAL FOREST-STEPPE IN XXI CENTURY AT REALIZATION OF DIFFERENT CLIMATIC SCENARIOS

Scenarios of water transfer changes in soil-vegetation-atmosphere system, projected for XXI century as a result of global climate warming at conditions of the central forest-steppe of Russian plain are estimated. The physically based model describing the basic processes (including transpiration and physical evaporation according to A.I.Budagovskiy's schematization) for estimation of water transfer changes in unsaturated zone with taking into account absorption of water by roots of plants is used for relatively small territories.

According to the considered scenarios it is possible to expect that in the central forest-steppe during the XXI century continentality of climate for the season of vegetation will be better pronounced. Thus air temperature will be increased considerably, and the atmospheric precipitation will be decreased. The most noticeable decrease of transpiration for sites covered by virgin or similar to virgin vegetation with the long vegetation period (in wood, in mowed and unmowed steppe sites, under long-term grasses) it is necessary to expect at realization of scenarios of the Max Planck Meteorological Institute, Germany (ECHAM4/OPYC3) and Hadley Center for Climate Research, UK (HadCM3). It's the most intensive growth, possible at scenarios of the Geophysical Laboratory of Hydrodynamics, Princeton University, USA (GFDL-R30) can be observed for crops. Impact of scenario change of atmospheric precipitation on functioning of geosystems is more significant in comparing with air temperature changes. In case of realization of scenario Max Planck Meteorological Institute, Germany soil moisture reserves can be critically low for existing vegetative cover.

Е.С. Кузенкова

ВОДНЫЙ БАЛАНС И ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТЬ ШТАТОВ США

В статье дана оценка водного баланса США. Рассчитаны величины речного стока для каждого из 48 штатов основной территории, что позволило оценить территориальные различия в водообеспеченности страны.

Определению элементов водного баланса и анализу географических закономерностей их распределения по территории США посвящено довольно большое число работ американских исследователей. Результаты их расчетов представлены, например, в Water Atlas of USA (1973). Водным балансом Северо-Американского континента и США занимались и отечественные специалисты – Г.П. Калинин (1968), М.И. Львович (1974), Н.Н. Дрейер (1978) и др.

Особый интерес представляют исследования Н.Н. Дрейер, определившей дифференцированный по шести элементам водный баланс США. В табл. 1 приведены результаты ее расчетов, свидетельствующие о том, что даже при весьма укрупненном делении территории США очень велики различия в распределении элементов водного баланса по ее территории, что в конечном итоге отражает и неравномерность распределения водных ресурсов страны.

Таблица 1. Водный баланс штатов США.
В числителе – мм слоя, в знаменателе – км^3/год (по Н.Н. Дрейер 1978)

Показатели	США	Западные штаты	Северные штаты	Южные штаты	Аляска
Площадь, тыс. км^2	9400	3100	2500	2300	1500
Осадки	684/6433	380/1178	745/1862	1025/2358	690/1035
Полный речной сток	253/2380	136/422	230/576	320/737	430/645
Подземный сток	61/577	24/75	60/150	85/196	104/156
Поверхностный сток	192/1803	112/347	170/426	235/541	326/489
Валовое увлажнение	492/4630	268/831	575/1436	790/1817	364/546
Суммарное испарение	431/4053	244/756	515/1286	705/1621	260/390
Доля подземной составляющей в полном речном стоке, %	24	18	26	26	24

Таблица 2. Средний многолетний водный баланс штатов США*

Районы, штаты	Осадки, мм	Речной сток, мм	Суммарное испарение, мм
США (48 штатов)	745	222	523
Новая Англия			
Мэн	1067	623	444
Нью-Гэмпшир	1067	686	381
Вермонт	1067	635	432
Массачусетс	1067	508	559
Род-Айленд	1067	508	559
Коннектикут	1067	508	559
Среднеатлантические			
Нью-Йорк	991	578	419
Нью-Джерси	1168	468	700
Пенсильвания	1067	484	583
Северо-Восточный Центр			
Огайо	965	309	656
Индиана	1016	324	692
Иллинойс	940	239	701
Мичиган	762	342	420
Висконсин	787	248	539
Северо-Западный Центр			
Миннесота	635	106	529
Айова	787	133	654
Миссури	1016	292	724
Северная Дакота	432	25	407
Южная Дакота	483	32	451
Небраска	559	60	499
Канзас	686	73	613
Южно-Атлантические			
Делавэр	1067	445	622
Мэриленд	1067	352	715

Виргиния	1092	407	685
Западная Виргиния	1092	494	598
Северная Каролина	1270	439	831
Южная Каролина	1219	351	868
Джорджия	1270	379	891
Флорида	1347	307	1040
Юго-Восточный Центр			
Кентукки	1143	430	713
Теннесси	1270	528	742
Алабама	1346	559	787
Миссисипи	1346	507	840
Юго-Западный Центр			
Арканзас	1219	431	788
Луизиана	1397	434	963
Оклахома	813	131	682
Техас	787	97	690
Горные штаты			
Монтана	381	106	275
Айдахо	457	218	239
Вайоминг	356	101	254
Колорадо	432	113	319
Нью-Мексико	381	30	351
Аризона	356	25	311
Юта	330	34	296
Невада	229	25	204
Тихоокеанские штаты			
Вашингтон	889	506	383
Орегон	686	392	294
Калифорния	610	206	404

* Площади штатов в настоящее время изменены в связи с использованием новых данных, полученных с помощью космических технологий (Statistical Abstract of USA, 2003). Поэтому возможно некоторое изменение значений элементов водного баланса.

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что распределение осадков по территории США колеблется от 1025 мм в Южных штатах до 380 мм в Западных штатах при среднегодовом количестве осадков для всей территории страны 684 мм, при этом для 48 штатов основной территории США (без Аляски и Гавайских островов) они составляют 745 мм. Соответственно слой стока изменяется от 320 до 136 мм при среднем для США 253 мм (для 48 штатов – 222 мм).

Сравнение данных по таким элементам водного баланса, как валовое увлажнение и суммарное испарение, показывает, что почти по всей территории США (за исключением Аляски) около 90% валового увлажнения расходуется на испарение и лишь немногим более 10% идет на питание подземных вод – наиболее ценного вида водных ресурсов из-за его высокой временной устойчивости. В США подземный сток составляет в среднем 1/4 полного речного стока (соответственно 577 и 2380 км^3), а общие единовременные запасы подземных вод оцениваются в 60 тыс. км^3.

В дополнение к данным Н.Н. Дрейер была выполнена работа по определению водного потенциала каждого из 48 штатов основной территории США (исключая Аляску и Гавайи). Для этого проанализированы карты с изолиниями элементов водного баланса по территории США (Water Atlas of USA, 1973). Методом планиметрирования были рассчитаны их величины и подсчитаны водные ресурсы для каждого из 48 штатов основной территории США (табл. 2, рис. 1, 2).

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что на западные районы страны (17 штатов, лежащих к западу от р. Миссисипи), занимающие 58% территории страны, приходится лишь 33% ресурсов стока, а на восточные районы (к востоку от р. Миссисипи) – 42% территории и 67% ресурсов речных вод. В значительной степени их неравномерность распределения по территории определяется неравномерностью распределения осадков.

При оценке водообеспеченности на 1 жителя (рис. 3, 4) характер распределения значительно меняется. Это объясняется неравномерным распределением населения по территории страны, что усугубляет неравномерность в распределении водных ресурсов. Так, например, в 17-ти западных штатах страны (к западу от р. Миссисипи) проживает 26% населения страны, а в восточных – 74%. В результате такие штаты, как Нью-Йорк, Пенсильвания, Огайо, Индиана, Иллинойс, Мичиган, Техас, Калифорния, Флорида, Массачусетс, Мэриленд, Коннектикут и Нью-Джерси, в которых сконцентрировано основное население стра-

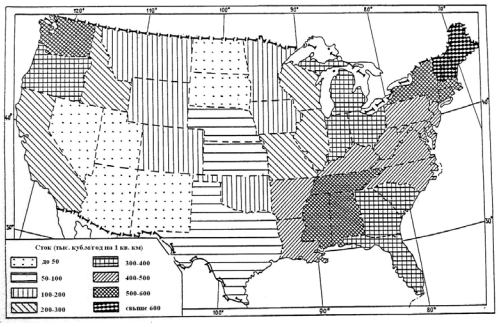


Рис. 1. Водообеспеченность территории штатов США, тыс.м^3/год/км^2

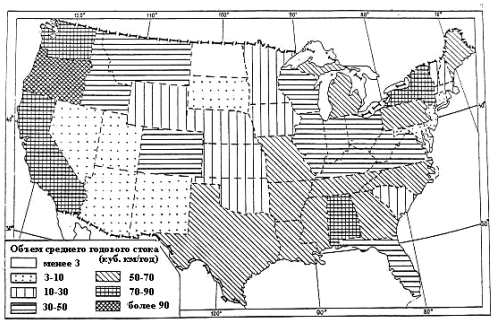


Рис. 2. Ресурсы речного стока штатов США

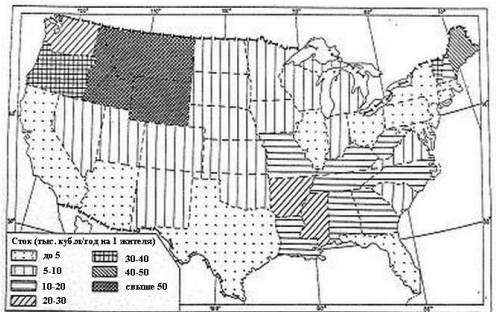


Рис. 3. Водообеспеченность населения в штатах США, тыс. м^3/год на 1 чел.

ны (61%) и ее промышленный потенциал, обладают водообеспеченностью ниже среднего показателя по стране (6 тыс. м^3 на 1 чел.), из них наименьшей – Нью-Джерси (1,1 тыс. м^3/1 жит.), Массачусетс (1,7), Мэриленд (1,8), Коннектикут (2,0), Огайо (3,0), Нью-Йорк (3,8), Калифорния (2,5) и Пенсильвания (4,6). Наибольшей водообеспеченностью на 1 жителя характеризуются штаты Вайоминг (51,3), Монтана (45,0), Мэн (41,8), Айдахо (35,2) и Орегон (30,2), отличающиеся низкой плотностью населения и довольно высокой обеспеченностью водными ресурсами.

В целом из 48 штатов в 16-ти водообеспеченность на 1 км^2 и в 26-ти водообеспеченность на 1 жителя ниже средних показателей по стране, а это значит, что даже без анализа состояния использования водных ресурсов в этих штатах можно говорить о напряженности водохозяйственной ситуации в них.

К неравномерности распределения водных ресурсов в пространстве присо-

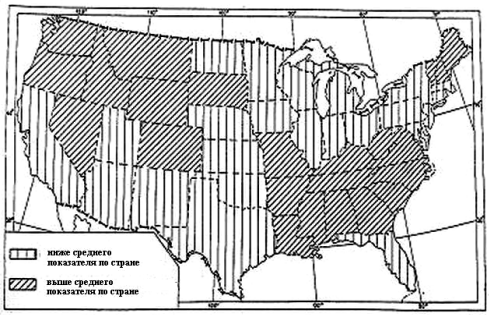


Рис. 4. Отклонения в водообеспеченности ресурсами речного стока одного жителя штатов США от среднего показателя по стране

единяется неравномерность их распределения во времени, что выражается, в частности, в том, что в большей части речных бассейнов максимум годового стока приходится на весну, тогда как в юго-восточных районах – на конец зимы, а во Флориде – на осень. Резкие внутригодовые колебания стока создают большие трудности в использовании водных ресурсов. Помимо сезонной неравномерности стока, велика его изменчивость от года к году. Так, годовой сток р. Колорадо вблизи Лис-Ферри колеблется от 29,6 км^3 до 6,9 км^3 (при среднем многолетнем годовом стоке 16,3 км^3).

Неравномерное распределение водных ресурсов по территории и во времени лишь одна из причин испытываемого США дефицита чистой пресной воды. В числе основных – и быстрое экономическое развитие США, и увеличение численности его населения при росте водопотребления в стране и загрязнения водных объектов. Динамика общего водозабора из всех видов источников (включая подземные и морские) в стране составила от 58 км^3/год в 1900 г. до 620 км^3/год в 1980 г., но далее, в результате внедрения ресурсосберегающих технологий, произошло некоторое снижение – до 520 км^3/год в 1995 г. (Statistical Abstract of USA, 2003).

На современном этапе используется более 20% общих ресурсов речного стока. Для отдельных же районов этот показатель значительно выше. Сопоставление водообеспеченности территории и населения отдельных штатов США с использованием воды в них – задача дальнейших исследований.

Заключение

Использование методов балансовой оценки водных ресурсов и прежде всего выполненные расчеты водного баланса и стока по 48 штатам США позволили получить подробную картину распределения водных ресурсов по основной территории страны. Анализ показал,

что водные ресурсы по территории США распределены крайне неравномерно по территории и во времени. Неравномерность распределения водных ресурсов усугубляется неравномерностью размещения населения и хозяйства страны. Анализ водообеспеченности в расчете на 1 жителя показал, что на 35% основной территории США (48 штатов), на которой проживает 60% населения страны, ниже среднего показателя по стране.

Литература

1. *Дрейер Н.Н.* Водный баланс Северной Америки. М.: Наука, 1978. 77 с.
2. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 368 с.
3. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 447 с.
4. Statistical Abstract of USA. Washington, 2003. 123 p.
5. Water Atlas of USA. 1973.

E.S. Kuzenkova

WATER BALANCE AND WATER SUPPLY OF TERRITORIES OF THE USA

The estimation of water balance of the USA is given. River flow for each of 48 states of the basic territory is calculated, that allows to estimate territorial distinctions in the country water supply.

И.С. Зайцева

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СТРАН «БОЛЬШОЙ ВОСЬМЕРКИ»

Проведен сравнительный анализ современных антропогенных воздействий на водные ресурсы России и других стран «Большой восьмерки». Показано, что наиболее высокими показателями антропогенной нагрузки на водные ресурсы характеризуются большинство европейских стран, в особенности Германия и Великобритания. Ситуация в Российской Федерации на фоне среднемировых показателей, и тем более развитых стран мира, выглядит достаточно удовлетворительной. Выявленные тенденции в антропогенных воздействиях на водные ресурсы России и специфика современного периода показывают, что кардинального улучшения ситуации в состоянии и использовании вод в ближайшие годы не предвидится. Весьма вероятна ситуация, когда оживление экономики при отставании водоохранных мер может привести к обострению гидроэкологической обстановки.

В связи с угрозой «водного кризиса» в последние годы в мире уделяется повышенное внимание проблемам сохранения количества и качества водных ресурсов, внедрению методов их рационального использования и охраны. Коренное изменение экономической ситуации в России, кризисное состояние водохозяйственного сектора экономики обостряют интерес к изучению передовых «рыночных» технологий использования воды, динамики и тенденций развития водного хозяйства в развитых странах мира, особенно в США – стране, соизмеримой по размерам территории, разнообразию природных условий и видов использования водных ресурсов.

Имеющиеся в нашей стране исследования по сопоставлению водохозяйственных ситуаций СССР (России) и США относятся в основном к 1970–1980-м гг. и освещают отдельные аспекты проблемы. Прогнозные оценки, сделанные в эти годы, в большинстве своем не оправдались и требуют серьезной корректировки.

Сравнительный анализ антропогенных воздействий на водные ресурсы России и развитых стран мира показал, что по обеспеченности населения ресурсами речного стока первое место занимает Канада, Россия находится на втором месте, остальные страны располагают на один-два порядка меньшим количеством воды на душу насе-

Таблица. Сравнительная оценка использования водных ресурсов стран «Большой восьмерки» в начале XXI века (Российский статистический ежегодник, 2008; Россия и страны мира, 2008; Содружество.., 2008; Тенденции.., 2004; сайты)

Страна	Антропогенная нагрузка на водные ресурсы, тыс.чел./км^3	Водозабор		Водоемкость экономики, м^3/ год на 1000 $ (по ППС)	Водопотребление	
		% от водных ресурсов	тыс.м^3/чел. в год		Водоемкость экономики, м^3/ год на 1000 $ (по ППС)	На хозяйственно-бытовые нужды, л/сут./чел.
Великобритания	400	15	0,37	16	0,6	300
Германия	450	21	0,46	19	1,3	180
Италия	340	36	1,05	43	10	510
Канада	10	2	1,46	56	5,7	350
США	110	23	2,00	61	8,4	630
Франция	310	17	0,56	24	2,0	270
Япония	300	21	0,72	26	22	380
Россия	35	2	0,52	85	2,3	260
Мир в целом	**140**	**9**	**0,63**	**91**	**9,7**	**160**

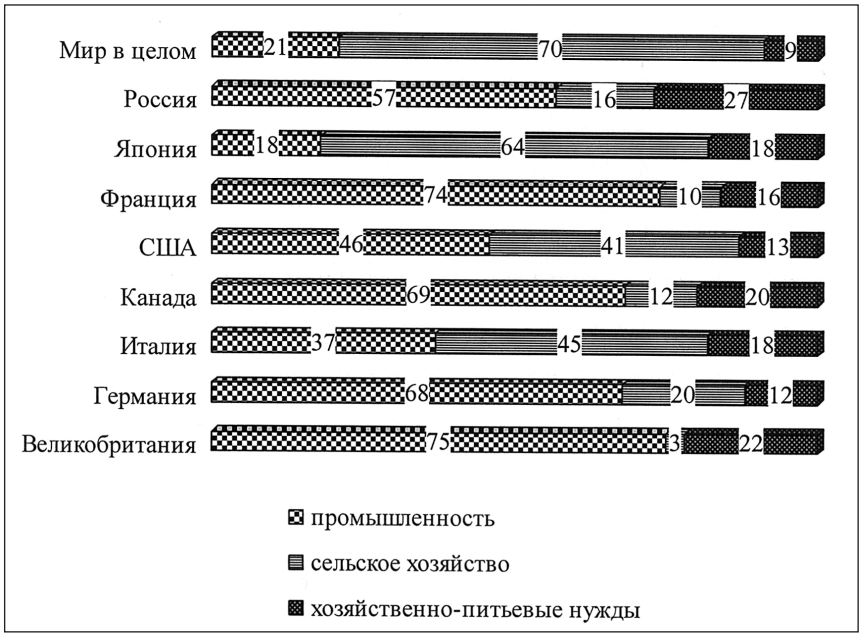


Рис. 1. Структура использования воды в странах «Большой восьмерки» и мире в целом, в %

ления. В России, как и в Канаде, используется только 2% водных ресурсов (табл.). Наиболее высокими показателями отличаются Италия, США, Германия и Япония, где используется 20–35% имеющихся водных ресурсов.

Масштаб антропогенных воздействий на водные ресурсы зависит от многих факторов: уровня развития экономики, структуры хозяйства, совершенства применяемой технологии использования воды, национальных традиций, природных особенностей территории и т.п. Водозабор в странах так называемой «Большой восьмерки» составляет ¼ часть от общемирового. Наиболее высокими величинами характеризуются США, самыми низкими – Великобритания.

По структуре использования воды сравниваемые страны также существенно различаются: высокая степень индустриализации водохозяйственного сектора характерна для Великобритании, Франции, Канады и Германии, существенная сельскохозяйственная доля (главным образом для целей орошения) присуща Японии, Италии и США (рис. 1).

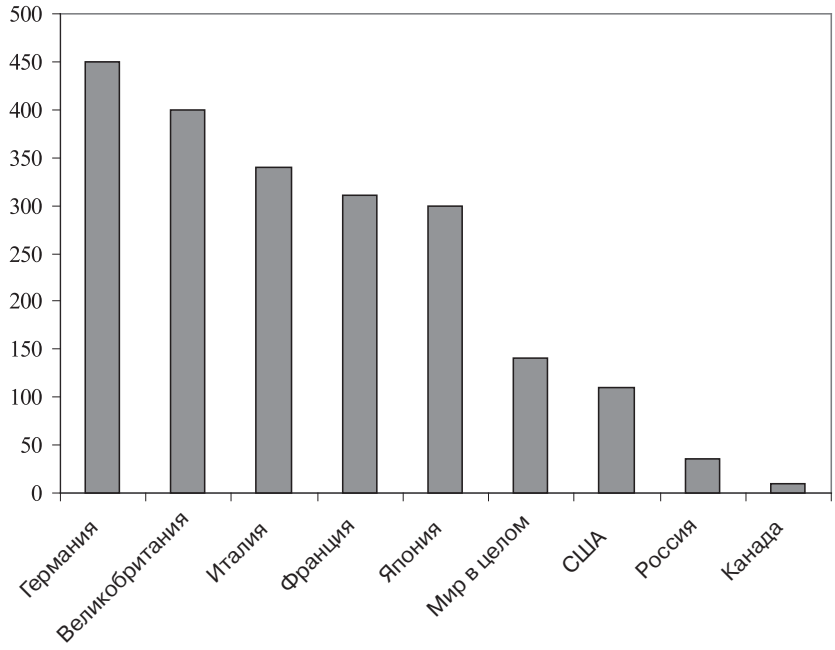


Рис. 2. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы в странах «Большой восьмерки»

Сопоставление антропогенной (населенческой) нагрузки на водные ресурсы с соответствующими мировыми показателями показало, что наиболее высокими величинами (в 3 раза выше средней по миру) характеризуются Германия и Великобритания, самыми низкими – Канада и Россия (табл., рис. 2). То есть ситуация в Российской Федерации на фоне среднемировых показателей, и тем более развитых стран мира, выглядит достаточно удовлетворительной.

Кроме абсолютных величин, была рассмотрена серия удельных показателей, таких как использование воды на единицу ВВП, на 1 человека, на 1 га орошаемой площади и др. (см. табл.).

В качестве показателя общей водоемкости хозяйства было использовано отношение величины водопотребления к ВВП. Причем величины ВВП сравниваемых стран взяты по оценке системы международных сравнений исходя из паритета покупательной способности (ППС). Водоемкость экономики всех рассматриваемых стран ниже среднемировых значений. Причины этого для каждой страны индивидуальны, общность заключается только в меньшей доле оро-

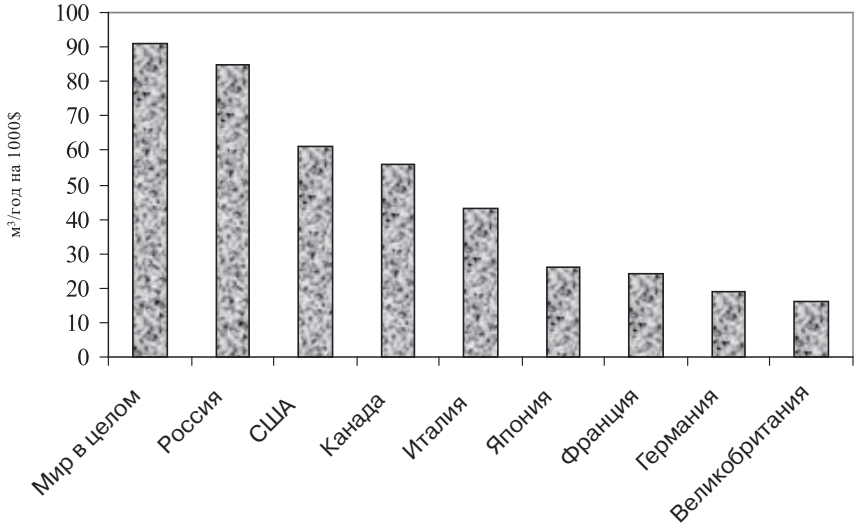


Рис. 3. Водоемкость экономики, м^3/год на 1000 $

шения и более совершенных в целом технологиях использования воды в рассматриваемых странах, чем в среднем по миру.

Водоемкость экономики России ниже, чем средняя по миру, но на 40% выше, чем наиболее водоемких – США и Канады, и в 4–5 раз выше, чем у наименее водоемких – Великобритании и Германии (рис. 3). Аналогичные оценки, выполненные ранее Н.Ф. Глазовским на уровень конца 1980-х гг., показали, что водоемкость экономики в бывшем СССР была выше, чем в развитых странах мира и, в частности, более чем в 6 раз выше США. Учитывая кризис всех областей природопользования в России в 1990-е гг., трудно предположить кардинальную интенсификацию использования водных ресурсов по сравнению с бывшим СССР. В действительности сыграли роль две главные причины: во-первых, от России отделились наиболее водозатратные среднеазиатские республики, в структуре водного хозяйства которых преобладала ирригация; во-вторых, расчеты конца 1980-х гг. строились на весьма заниженных данных по ВВП СССР. Поэтому последние цифры представляются более реалистичными.

Значительная разница в удельных величинах использования воды на орошение (рис. 4) является результатом существенно отличающейся структуры орошаемых культур и разным дефицитом увлажнения сравниваемых стран.

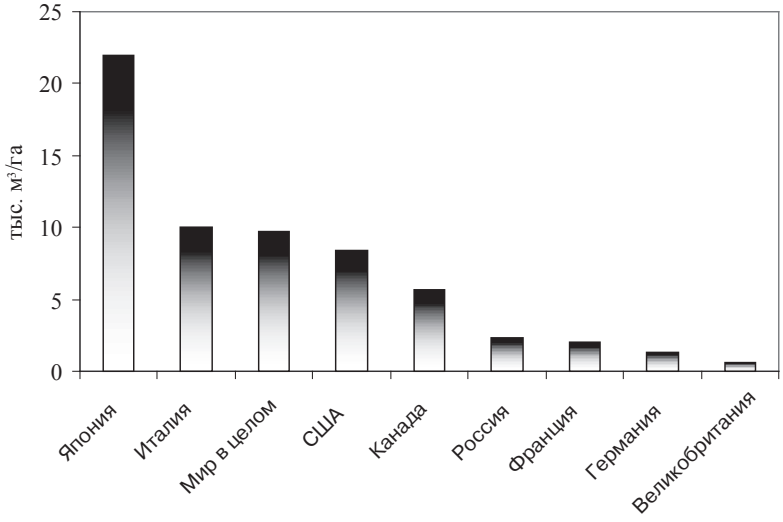


Рис. 4. Водопотребление на орошение

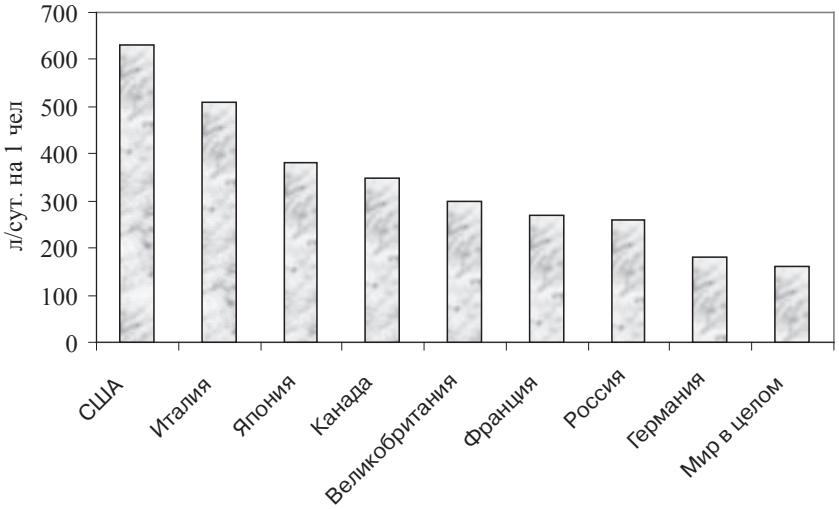


Рис. 5. Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды

Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды в рассматриваемых странах выше, чем по миру в целом. Наиболее высокие величины наблюдаются в США (рис. 5).

Наиболее детальное сравнение, проведенное для России и США, выявило как некоторое сходство, так и различия в водохозяйственных характеристиках. Анализ динамики показателей использования воды показал, что общие закономерности развития водного хозяйства сравниваемых стран долгое время были схожи, однако в России они нарушены кризисом 1990-х гг.

Тенденции к стабилизации или даже некоторому сокращению величин использования воды в США, наблюдаемые в последние годы, дают основания говорить о сохранении в обозримом будущем этих закономерностей. Выявленные тенденции в антропогенных воздействиях на водные ресурсы России и специфика современного периода показывают, что кардинального улучшения ситуации в состоянии и использовании вод в ближайшие годы не предвидится. Весьма вероятна ситуация, когда оживление экономики при отставании водоохранных мер может привести к обострению гидроэкологической обстановки.

Литература

1. Российский статистический ежегодник. 2008. М.: Ростат, 2008. 847 с.
2. Россия и страны мира. 2008. М.: Ростат, 2008. 361 с.
3. Сайты: http://unstats.un.org/unsd/databases.htm; http://ec.europa.eu/eurostat; http://www.unece.org; http://www.fao.org; www.wri.org; http://water.usgs.gov/watuse.
4. Содружество Независимых Государств и Европейский союз. Статистические сравнения: Стат. Сб. Межгосударственный стат. Комитет СНГ, 2008. 208 с.
5. Тенденции в странах Европы и Северной Америки. 2003. М.: ЕЭКом. ООН. 2004. 318 с.

I.S. Zaitseva

ANTHROPOGENIC IMPACT ON WATER RESOURCES OF RUSSIA AND COUNTRIES OF G7

The comparative analysis of modern anthropogenic impact on water resources of Russia and countries of G7 is carried out. It is shown, that the highest parameters of anthropogenic pressure on water resources are typical for the majority of the European countries, and in particular for Germany and Great Britain. The situation in Russian Federation on the background of the world parameters and the parameters of the developed countries looks quite satisfactory. The revealed tendencies in anthropogenic impact on water resources in Russia and specificity of modern period have shown, that cardinal improvement of hydroecological and water management situation within the next few years is not expected. It is rather probable a situation, when the revival of economy with backlog of water conservation measures can result in an aggravation of hydroecological conditions.

Т.С. Бибикова

ДИНАМИКА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИИ, УКРАИНЕ И БЕЛОРУССИИ В ПОСТСОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

Выполнен детальный сравнительный анализ водопотребления и его влияния на водные ресурсы России, Украины и Белоруссии в постсоветский период как в целом для рассматриваемых государств, так и для их характерных районов. Выявлены различия в эффективности использования водных ресурсов. Оценен сравнительный вклад изменения водопотребления в состояние водных ресурсов в постсоветский период.

Введение

Произошедшие после распада Советского Союза изменения в политической и социально-экономической сферах на территории постсоветских государств не могли не сказаться на состоянии водных ресурсов. Прежде всего это касается экономического кризиса, в том числе в водном хозяйстве, в начале 90-х гг., не преодоленном вплоть до последнего времени (Клюев, 2002; Бибикова, 2007; Bibikova, 2009). В совокупности с изменениями климатической обстановки это привело к заметным изменениям ресурсов речного стока, в связи с чем на постсоветском пространстве сложились своеобразные условия для формирования и использования водных ресурсов. Один из недостаточно изученных вопросов – сходство и различия в антропогенном воздействии на водные ресурсы в постсоветский период в России, Украине и Белоруссии, хотя отдельные аспекты рассматривались различными авторами.

Динамика водопотребления после 1990 г.

Для оценки динамики водопотребления были использованы материалы водохозяйственной статистики, почерпнутые из Национальных и Государственных докладов, Отчетов о состоянии окружающей среды и Водного хозяйства России, Украины и Белоруссии, а также Статистических сборников за период с 1990 по 2007–2008 гг., официальных сайтов Служб государственной статистики и Министерств природных ресурсов. Также использовались данные, содержащиеся в опубликованных работах, прежде всего в нескольких изданиях спра-

вочника «Воды России», в книгах «Антропогенные воздействия…» (2003), В.Ф. Логинова и др. (2000), Водне господарство в Украiне (2000), в статистическом справочнике «Водные ресурсы Российской Федерации» (2006), статьях А.П. Демина (2002, 2005), А.Д. Думнова, С.С. Борисова (2003), Н.И. Коронкевича, И.С. Зайцевой (2002, 2003), А.А. Волчека, И.А. Олесика (2005). Причем данные отдельных источников нередко расходятся.

В 1990 г. структура водопотребления характеризовалась следующими величинами (табл.). При анализе таблицы следует иметь в виду, что рядом авторов дается меньшая величина водозабора – без учета шахтно-рудничных и других вод, не связанных с непосредственным водопотреблением (Думнов, Борисов, 2003). Из таблицы видна пониженная доля потерь воды при транспортировке в Белоруссии и собственно самый весомый процент использования забранной воды, как следствие незначительной доли сельскохозяйственного водопотребления и орошаемого земледелия, при осуществлении которых и происходят наибольшие потери воды. Самая же высокая доля водопотребления сельского хозяйства имела место на Украине (более 22%).

Белоруссия отличалась и повышенной долей оборотного и повторного использования воды, которое в три с лишним раза превышает водозабор «свежей» воды. Во многом это следствие самой высокой (наряду с Россией) доли промышленного водоснабжения, где преимущественно и применяется оборотное и повторное использование воды. Самая высокая доля по отношению к водозабору сточных и возвратных вод и соответственно самая низкая безвозвратных изъятий (свыше 64% и 36%) – в России. На Украине доля сточных и возвратных вод самая низкая (58%), а безвозвратного расхода (42%) наивысшая.

Начиная с 1990-х гг. во всех рассматриваемых государствах, вследствие кризисных явлений в экономике, прослеживается тенденция к снижению объемов водопотребления. Это касается как водозабора, так и использования воды. Интересно, что снижение водопотребления в последние годы произошло и в США, но там это было следствием мероприятий по экономии воды (Данилов-Данильян, Лосев, 2006). Наибольшим было снижение на Украине (см. табл., рис. 1). Во многом это обусловлено повышенной долей сельскохозяйственного использования и орошения, где наблюдался наибольший спад производства и водопотребления, – в 3 раза. Следует отметить, что в этот

Таблица. Основные показатели водопотребления в России, Белоруссии, Украине, км^3/год

Показатель	1990 г.			2007 г.			2007 г./1990 г.		
	Россия	Украина	Белоруссия	Россия	Украина	Белоруссия	Россия	Украина	Белоруссия
Водозабор	118	34,9	3,04	74,6	16,4	1,7	0,63	0,47	0,56
Потери при транспортировке	8,4	2,6	0,08	7,9	2,44	0,11	0,94	0,94	1,38
Оборотное и повторное использование	171	67,7	9,5	103,5	48,9	6,35	0,61	0,72	0,67
Использование забранной воды, всего,	96	29,6	2,7	62,5	9,8	1,49	0,65	0,33	0,55
в т.ч. хозяйственно-бытовое	14,6	4,6	0,7	11,6	2,2	0,65	0,8	0,48	0,93
промышленное	61	16,3	1,7	41,9	4,7	0,72	0,69	0,29	0,42
сельскохозяйственное	20,5	8,7	0,3	9	2,9	0,12	0,43	0,33	0,4
Сброс сточных и возвратных вод,	75,4	20,3	1,98	51,4	8,6	1,04	0,68	0,42	0,53
в т.ч. загрязненных	31	3,2	0,1	17,2	3,85	0,009	0,55	1,2	0,09
Безвозвратный расход воды	42,6	14,6	1,06	23,2	7,8	0,66	0,54	0,44	0,62

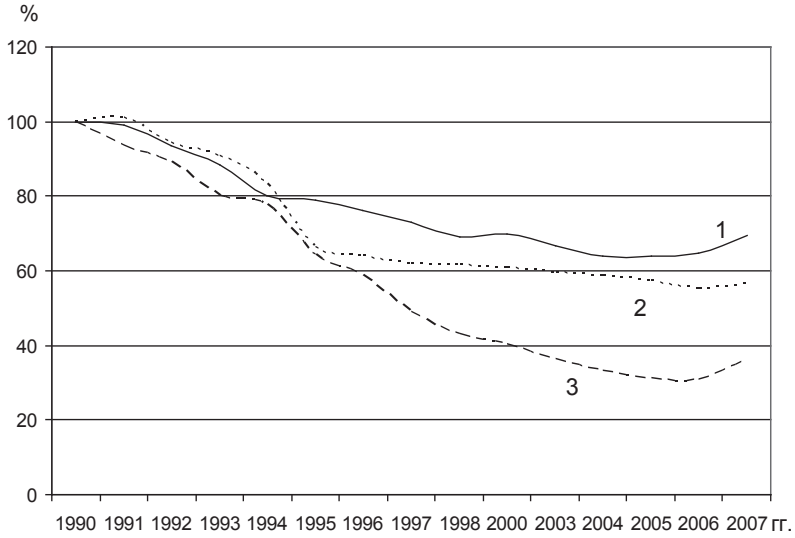


Рис. 1. Общее использование воды по отношению к 1990 г., %:
1 – Россия в целом; 2 – Белоруссия; 3 – Украина

же период происходило снижение дефицита влажности воздуха в вегетационный период, что также способствовало уменьшению оросительных норм и объемов орошения.

Наибольшим падение водопотребления в промышленности было также на Украине, причем как используемой «свежей» воды, так и оборотной.

Несколько обособленно стоит использование воды на хозяйственно-бытовые нужды. Темпы падения здесь были значительно меньшими, чем в промышленности и сельском хозяйстве, а в Белоруссии уже к середине 1990-х гг. и вплоть до 2006 г. происходило увеличение водозабора (в 2000 г. – в 1,1 раза, в 2006 г. – в 1,01 раза). Во многом это следствие роста доли непродуктивных потерь воды, хотя она и остается самой низкой среди рассматриваемых государств. Выше же всего она на Украине.

Динамика сброса общего количества сточных вод в реки и водоемы в целом повторяет динамику водозабора и использования воды, с наибольшим снижением для Украины (см. табл.). А вот в отношении различных категорий сточных и возвратных вод есть существенные различия, что, впрочем, отчасти объясняется разными подходами

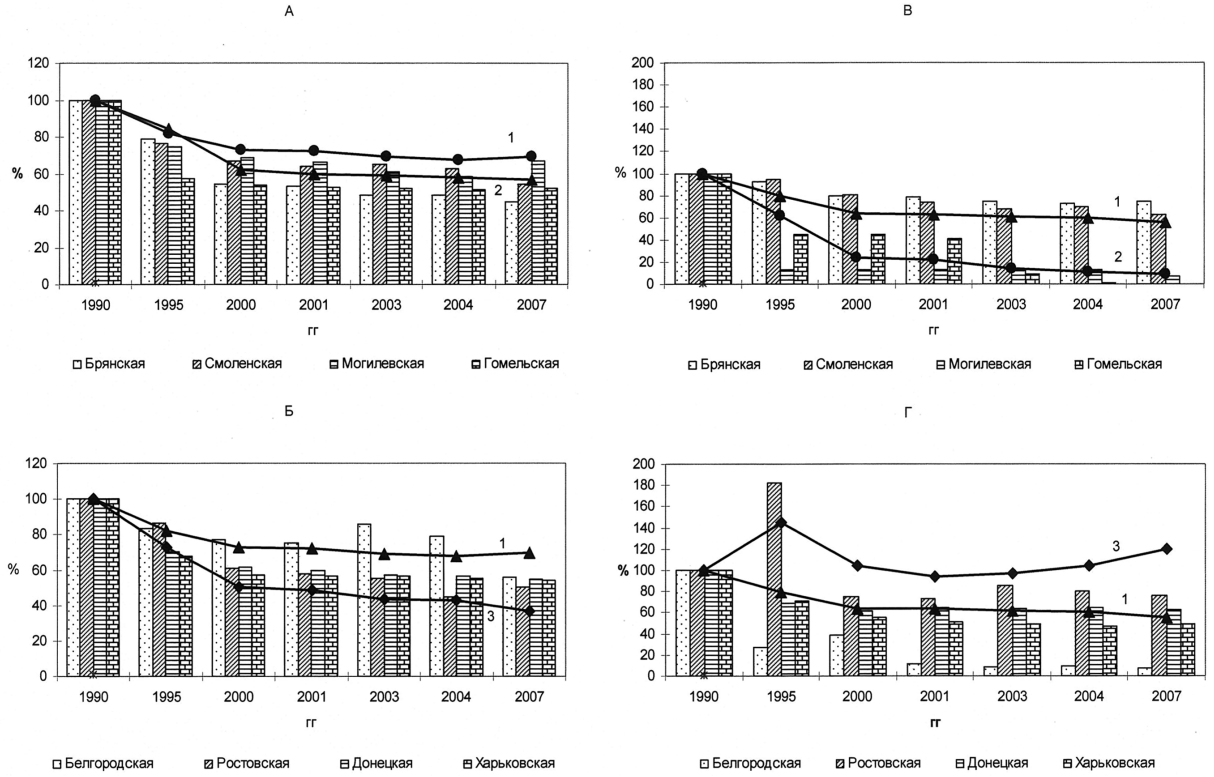


Рис. 2. Динамика использования воды (А, Б) и сброс загрязненных сточных вод в водные объекты (В, Г) по отдельным областям (1990 г. = 100), %: А, В – России и Белоруссии, Б, Г – России и Украины; 1 – Россия, 2 – Белоруссия, 3 – Украина

к выделению этих категорий. Главное из различий в динамике заключается в росте (особенно существенном в долевом участии) загрязненных сточных вод на Украине.

Между тем в России и, особенно в Белоруссии, наметилась устойчивая тенденция к понижению объема сбрасываемых неочищенных сточных вод и содержащихся в них загрязняющих ингредиентов. Вместе с тем в достоверность сравнительного анализа количества неочищенных сточных вод вносят коррективы отличающиеся подходы к разделению сточных вод на разные категории.

В динамику безвозвратного расхода воды в России значительную неопределенность вносит учет или неучет шахтно-рудничных и других вод, не связанных с непосредственным водопотреблением. Но при любой системе подсчета наибольшее его снижение было на Украине, главным образом в сельскохозяйственном секторе.

Для уточнения общей картины были рассмотрены соседние области России, Украины и Белоруссии, относительно близкие по климатическим условиям. Сравнивались Гомельская и Могилевская области в Белоруссии с Брянской и Смоленской областями России; Донецкая и Харьковская на Украине – с пограничными Ростовской и Белгородской в России. Как и для общей картины основных водохозяйственных характеристик, можно отметить (рис. 2) общее снижение использования воды по отношению к 1990 г.

Однако падение водозабора в рассматриваемых российских областях (за исключением Белгородской) было больше, чем по России в целом. Это можно объяснить структурой водопотребления и тем, что в период социально-экономического кризиса больше всего пострадало хозяйство Нечерноземной России (Брянская и Смоленская области) и орошаемое земледелие (в значительной мере специализация Ростовской области). Аналогичная ситуация прослеживается и для сточных вод (см. рис. 2).

Современные изменения в состоянии водных ресурсов

В последние годы на территории России и Белоруссии в основном наблюдались повышенные значения стока, причем величина этого увеличения за 1991–2006 гг. оказалась в среднем близкой к 5% (Водные ресурсы и водный баланс.., 1967; Водный баланс СССР.., 1969; Водные ресурсы России.., 2008). Неоднозначно изменялся сток за этот период на территории Украины. Во всех странах наряду с тер-

риториями, на которых отмечалось увеличение стока, были и такие, где сток не возрастал или даже уменьшался (Болгов и др., 2005).

Характерным было также практически повсеместное увеличение стока в зимний и летне-осенний периоды, тогда как сток весеннего половодья в большинстве случаев оставался практически неизменным или даже снижался. Основная причина произошедших изменений стока климатическая, в первую очередь потепление в холодный период года, увеличение осадков летом и зимой (Шикломанов, 1989; Шикломанов, Георгиевский, 2002). Но во всех трех государствах произошедшие изменения стока частично обусловлены и уменьшением водозабора и безвозвратного расхода воды (рис. 3). Это же характерно и для наиболее обжитых крупных речных бассейнов – Волги и Дона. Наиболее заметно снижение безвозвратного расхода воды на территории Украины, что обусловлено существенным снижением потребления воды в водоемкой сельскохозяйственной отрасли.

Несмотря на общий экономический спад и соответственно общее снижение сброса сточных вод в водные объекты, кардинального улучшения их качественного состояния во всех трех странах не произошло.

Проблема качества вод остается повсеместно чрезвычайно актуальной. В целом она все же менее остра для России в целом за счет огромных водных ресурсов (кратность разбавления всех сточных вод местным речным стоком – 78,7 раза, общим – 83,1 раза). Наиболее сложной является ситуация на Украине. Разбавление общего количества сточных вод местным стоком составляет соответственно 6,1 раза, общим стоком – 24,4 раза. Но при этом дунайские воды следует учитывать лишь с очень большой натяжкой.

Если судить по данным официальной статистики, наиболее приемлемая ситуация в отношении динамики качества вод сложилась в Белоруссии, главным образом за счет наиболее быстрого снижения объема загрязненных сточных вод. К 2007 г. по сравнению с 1990-м он снизился в 11 раз, тогда как в России – в 1,8 раза, а на Украине возрос в 1,2 раза (см. табл.). Вместе с тем ситуация по Белоруссии вызывает вопросы. Если судить по кратности разбавления общего количества сточных вод, то Белоруссия закономерно занимает промежуточное положение между Россией и Украиной (разбавление ресурсами местного стока в 32,8 раза и общего стока в 53,7 раза). А вот по загрязненным сточным водам получается удивительно оптимистичная картина – разбавление более чем в 3780 раз местным стоком и свыше 6200 раз общим стоком, что можно объяснить лишь различающейся

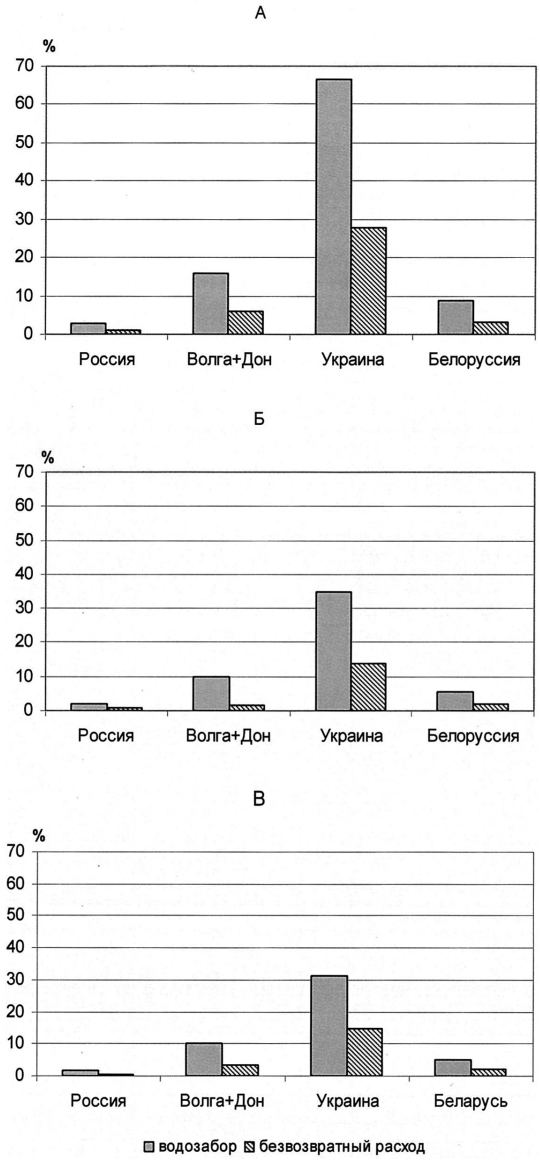


Рис. 3. Водозабор и безвозвратный расход воды по отношению к средним многолетним ресурсам речного стока, %.
А – 1990 г., Б – 2000 г., В – 2007 г.

методикой отнесения сточных вод к той или иной категории.

С учетом изложенного динамика соотношения количества сточных вод и местного речного стока в % показана на рис. 4. Дополнительно, как и на рис. 3, дано положение для Волго-Донского района.

В ряде обжитых районов России, Украины и Белоруссии ситуация гораздо более остра, чем в целом для этих государств.

Следует отметить, что, помимо сточных и возвратных вод, значительное влияние на качество водных ресурсов оказывает и площадной смыв загрязняющих веществ со стоком.

Эффективность водопотребления и мероприятия в области рационального использования и охраны водных ресурсов. С экологической точки зрения то антропогенное воздействие лучше, которое в меньшей степени изменяет естественное количество, режим и качество водных ресур-

сов. С этих позиций, как видно из рис. 3 и 4, в наименьшей степени в количественном отношении изменены водные ресурсы России в целом, в наибольшей – Украины. Промежуточное положение занимает Белоруссия. Подобная же ситуация складывается и по воздействию на качество воды, беря в расчет общее количество сточных вод. При учете загрязненных сточных вод на наиболее благополучную позицию выходит Белоруссия, далее следуют Россия и Украина, но это скорей всего, как уже отмечалось, следствие различий в методике отнесения сточных вод в ту или иную категорию.

В отношении динамики экологического положения ситуация несколько иная. В количественном отношении антропогенная нагрузка на водные ресурсы снизилась больше всего на Украине, далее следуют Белоруссия и Россия. А вот в отношении качества вод можно говорить о наиболее выраженной тенденции уменьшения в Белоруссии.

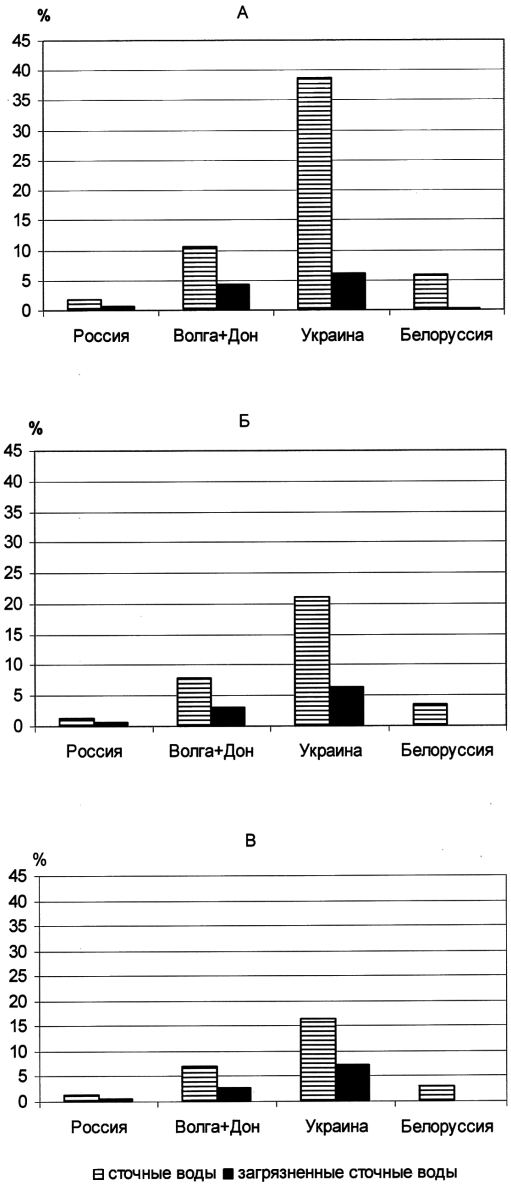


Рис. 4. Объем сточных и возвратных вод по отношению к средним многолетним ресурсам речного стока, %:
А – 1990 г., Б - 2000 г., В – 2007 г.

Экономическая эффективность водопотребления

Экономическую эффективность водопотребления (а отчасти и экологическую) принято оценивать по количеству продукции, произведенной на единицу расходуемой воды, или по обратному соотношению – количеству воды, затраченной на производство единицы продукции. Н.Ф. Глазовский (1992, 2004 и др.) широко использовал в качестве экономического показателя ВВП или ВРП при сравнении эффективности использования воды и других природных ресурсов. Подобный подход был использован и в данной работе применительно к трем рассматриваемым государствам в целом и к отдельным субъектам РФ.

Первенствующая среди других государств в целом роль Белоруссии, помимо мероприятий по экономии воды, может быть объяснена, главным образом, практическим отсутствием водоемкого орошаемого земледелия. Напротив, высокая доля последнего ставит Украину на третье место после Белоруссии и России.

Из отдельных субъектов РФ наибольшая эффективность достигается в некоторых, в основном ресурсодобывающих, субъектах Российской Федерации. К ним относятся прежде всего: Республика Саха, нефтедобывающие районы Ханты-Мансийского АО. Высока эффективность использования воды и в Московской области, как и для всего Центрального экономического района (Bibikova, 2009). Наименее эффективно водопользование в южных регионах России. Это, прежде всего, связано с большими объемами использования воды на относительно малодоходные сельскохозяйственные нужды.

Кроме того, в зону невысокой эффективности попали некоторые северные регионы, в том числе Ленинградская область, со значительным производством электроэнергии и низкой долей оборотного водоснабжения.

Для ответа на вопрос о динамике эффективности водопотребления после распада СССР был использован прием сопоставления индексов изменения ВВП и водопотребления, примененный в работе «Антропогенные воздействия.., 2003» (рис. 5).

Ситуация для всех трех государств во многом сходная. В начале 1990-х гг. в связи с кризисными явлениями в экономике падение ВВП происходило более быстро, чем водопотребления, следовательно, удельный расход воды рос, затем, по мере «оживления» экономики, наблюдается увеличение этого соотношения, и удель-

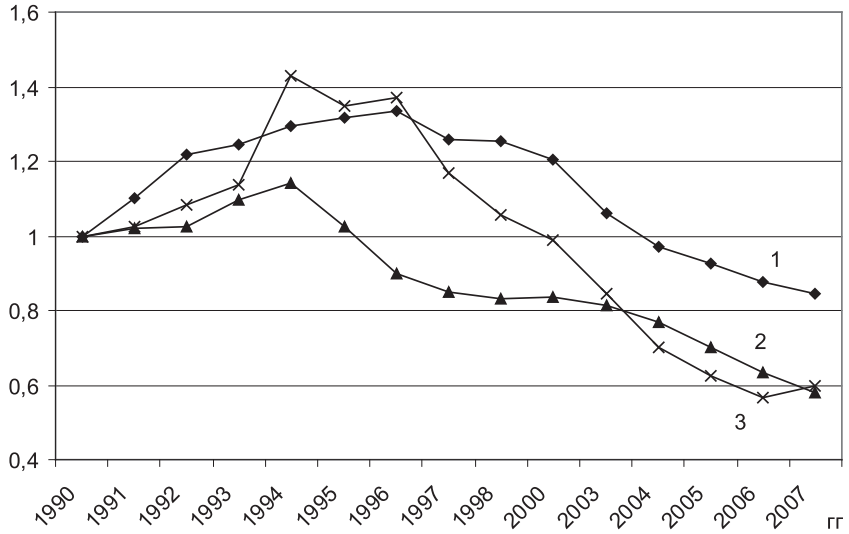


Рис. 5. Сопоставление индексов изменения ВВП и водопотребления:
1 - Россия, 2 – Белоруссия, 3 - Украина

ный расход воды стал снижаться. Раньше всего последнее явление произошло в Белоруссии.

Снижение удельного расхода воды в последние годы объясняется перестройкой структуры хозяйства, частичным «выходом на свет» теневой экономики, всегда использовавшей воду, но только теперь начинающей отчитываться о размерах производимой продукции, а также мерами по ограничению использования воды. Наиболее быстро удельный расход воды снижался в последние годы на Украине.

Заключение

Водопотребление является главным видом антропогенных воздействий на водные ресурсы России, Украины и Белоруссии, особенно на их качество. И в России, и на Украине, и в Белоруссии в постсоветский период произошло существенное уменьшение всех статей водопотребления. По сравнению с уровнем 1990 г. к 2007 г. использование воды снизилось в России на 35%, Белоруссии – на 45%, Украине – на 67%. Наиболее существенным это падение было к середине 1990-х гг., а в последние годы его темпы замедлились и даже наметился некоторый рост.

Из отдельных отраслей водного хозяйства наибольшее падение произошло в сельском хозяйстве, составив в России 57%, Украине 67%, Белоруссии 60%.

Снижение водопотребления объясняется главным образом социально-экономическим кризисом, произошедшим во всех рассматриваемых государствах после распада СССР и затронувшим водное хозяйство.

В то же время падению водопотребления способствовало снижение дефицита влажности воздуха в летний период.

Региональный анализ динамики водопотребления показал, что падение водозабора в российских областях, пограничных с Белоруссией и Украиной (за исключением Белгородской), было большим, чем по России в целом.

В 1991–2006 гг. на территории России и Белоруссии в основном наблюдались повышенные значения стока (в среднем на 5%). Неоднозначно изменялся сток на территории Украины, но в самые последние годы он был также выше нормы. Еще более существенные изменения произошли в сезонном распределении за счет увеличения стока в летний и зимний периоды. Но во всех трех государствах произошедшие изменения стока частично обусловлены уменьшением и водозабора, и безвозвратного расхода воды. Наиболее заметно снижение безвозвратного расхода воды на Украине (в 2,3 раза к 2007 г. по сравнению с 1990 г.). Вместе с тем водные ресурсы Украины остаются в наибольшей степени измененными антропогенными воздействиями. Менее всего они изменены в количественном отношении в России.

Несмотря на общий экономический спад и соответственно снижение сброса сточных вод в реки и водоемы, кардинального улучшения их состояния во всех трех странах не произошло, хотя отдельные позитивные подвижки имеют место, особенно в Белоруссии. Наиболее же сложной ситуация с качеством воды остается на Украине. Достоверный сравнительный анализ состояния рек и водоемов затрудняется отличающимися подходами к оценке качества вод в рассматриваемых государствах.

Наиболее эффективно, если судить по затратам водных ресурсов на единицу ВВП, использование воды в Белоруссии, наименее эффективно на Украине. Это во многом объясняется структурой производства, в частности низкой долей в Белоруссии и высокой на Украине относительно малодоходного орошаемого земледе-

лия. Из отдельных субъектов РФ наибольшая эффективность водопотребления в ряде ресурсодобывающих районов России. Сопоставление индексов изменения ВВП и водопотребления показывает, что во всех трех государствах в начале 1990-х гг. происходило быстрое падение ВВП, опережающее снижение водопотребления и, следовательно, удельный расход воды рос. Затем, по мере «оживления» экономики, наблюдается увеличение этого соотношения и снижение удельного расхода воды. Раньше всего последнее явление произошло в Белоруссии. Быстрее всего в последние годы происходило снижение удельного расхода воды на Украине.

Выполненный анализ позволяет более полно учесть в будущем позитивный опыт в области водного хозяйства рассматриваемых государств и избежать имевших место негативных явлений. Знание позитивного и негативного гидрологического и водохозяйственного опыта дает возможность более уверенно строить основы будущего устойчивого развития природопользования, в том числе водопользования.

Литература

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 367 с.
2. *Бибикова Т.С.* Изменения водохозяйственных характеристик России, Белоруссии и Украины в постсоветский период // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. №5. С. 98–106.
3. *Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И.* Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. М.: Наука, 2005. 318 с.
4. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. К.: Генеза, 2000. 456 с.
5. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометиздат, 1967. 200 с.
6. Водные ресурсы России и их использование / Под. ред. проф. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
7. Водные ресурсы Российской Федерации. Статистический сборник. М.: НИА-Природа, 2006. 176 с.
8. Водный баланс СССР и его преобразование. М.: Наука, 1969. 339 с.
9. Воды России (состояние, использование, охрана). 1991–1995, 1996–2000 гг. Екатеринбург: Изд. РосНИИВХ, 1997, 2002.
10. *Волчек А.А., Олесик И.А.* Динамика использования и качество поверхностных вод Белоруссии // Изв. РАН. Сер. географ. 2005. №3. С. 76–83.

11. *Глазовский Н.Ф.* Глобальные закономерности распределения ресурсоемкости экономики // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1992. №3. С. 12–22.
12. *Глазовский Н.Ф.* Эффективность использования природных ресурсов и возможные пороги развития // Проблемы природопользования и экономическая ситуация в Европейской России и сопредельных государствах. Белгород: 2004. С. 9–15.
13. *Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
14. *Демин А.П.* Тенденции использования и охраны водных ресурсов России // Водные ресурсы. 2002. Т. 27. №6. С. 735–754.
15. *Демин А.П.* Динамика эффективности водопользования в регионах России // Водные ресурсы. 2005. №2. С. 48–57.
16. *Думнов А.Д., Борисов С.С.* Учет использования воды: основные этапы становления и проблемы современного анализа (краткий обзор) // Использование и охрана природных ресурсов в России. Спецвыпуск №9–10. Бюллетень. М.: НИА-Природа, 2003. С. 37–65.
17. *Клюев Н.Н.* Эколого-хозяйственная трансформация постсоветской России и ее регионов // Изв. РАН. Сер. географ. 2002. №1. С. 37–45.
18. *Коронкевич Н.И., Зайцева И.С.* Изменение удельного водопотребления в России в последние десятилетия // Водные ресурсы. 2002. Т. 27. №1. С. 735–754.
19. *Коронкевич Н.И., Зайцева И.С.* Водные ресурсы России на современном этапе // Использование и охрана природных ресурсов в России. Спецвыпуск №9–10. Бюллетень. М.: НИА-Природа, 2003. С. 83–89.
20. *Логинов В.Ф., Калинин М.Ю., Ионников В.Ф.* Современное антропогенное воздействие на водные ресурсы Беларуси. Мн.: ПолиБиг, 2000. 284 с.
21. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 335 с.
22. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствие. СПб.: Наука, 2002. С. 152–164.
23. *Bibikova.T.* Water resources change under the climate effect and the man's impact in Russia, Ukraine and Belarus after the break-up of the Soviet Union. Congress report of the Western Regional Congress «Water - resource of life», EGEA-Mainz, Germany, 2009, P. 15–18.

T.S. Bibikova

DYNAMICS OF WATER CONSUMPTION IN RUSSIA, UKRAINE AND BELARUS IN THE POST-SOVIET PERIOD

Detailed comparative analysis of water consumption and its impact on water resources during the post-Soviet period in Russia, Ukraine and Belarus and their specific areas has been made. Differences in water use effectiveness have been displayed. Contribution of the comparative changes in water consumption to the state of water resources in the post-Soviet period has been assessed.

Н.В. Поповнин

ИЗМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА КО ВРЕМЕНИ НАИБОЛЬШЕГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассматривается динамика стока рек Кубань и Терек с начала 30-х гг. до периода наибольшего антропогенного воздействия – начала 80-х гг. Для расчета изменения объема стока применен метод кумулятивных кривых. На основании анализа динамики стока горных рек, практически не затронутых хозяйственной деятельностью, дана оценка природно-климатических условий. Рассматриваются антропогенные факторы, влияющие на запасы воды в речной сети. Сделан вывод о том, что деятельность человека сыграла главную роль в уменьшении стока рек Терек и Кубань в период с конца 40-х – начала 50-х гг.

Введение

Северный Кавказ – один из крупнейших водопотребителей в России за счет, главным образом, орошаемого земледелия. Соответственно это район наибольшего изменения речного стока под влиянием антропогенных факторов. Максимального воздействия хозяйственная деятельность достигла к середине 1980-х гг., после чего ее интенсивность в связи с распадом СССР стала снижаться. Антропогенные изменения речного стока накладывались на колебания стока климатического происхождения.

Цель данной статьи – выявить основные тенденции изменений и колебаний речного стока и оценить вклад в них антропогенных и климатических факторов. Для этого проанализировано изменение стока наиболее крупных рек Северного Кавказа – Кубани и Терека, водосборы которых охватывают большую часть его территории, а ресурсы речного стока составляют около половины их величины для Южного федерального округа – соответственно 25,5 (14,4+11,1) и 53,3 км^3/год (Водные ресурсы России.., 2008). При этом бассейн Кубани характеризует западную и центральную части Северного Кавказа, а бассейн Терека – восточную и отчасти центральную.

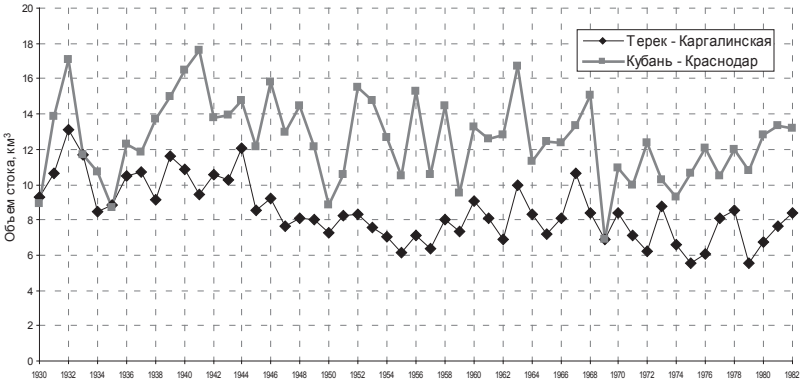


Рис. 1. Динамика годового стока рек Терек и Кубань

Общая динамика речного стока

На рис. 1. показана динамика годового стока рек Терек и Кубань в период с 1930 по 1982 г.

Ход значений объема годового стока во времени был крайне неравномерен. На Тереке этот показатель изменялся от 5,52 км^3 в 1975 г. до 12,05 км^3 в 1944 г. при среднем значении 8,48 км^3. Ситуация с Кубанью следующая: минимальный объем стока зафиксирован в 1969 г. (6,88 км^3), а максимальный – в 1941 г. (17,63 км^3) при среднем значении 12,56 км^3.

Выявляется и общая тенденция снижения речного стока для обоих бассейнов. Для Терека за период 1930–1950 гг. средняя величина

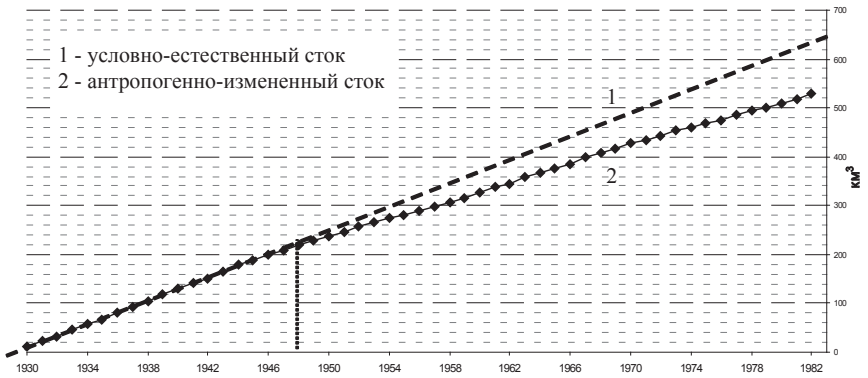


Рис. 2. Нарастающая сумма годовых значений стока р. Терек – Каргалинская

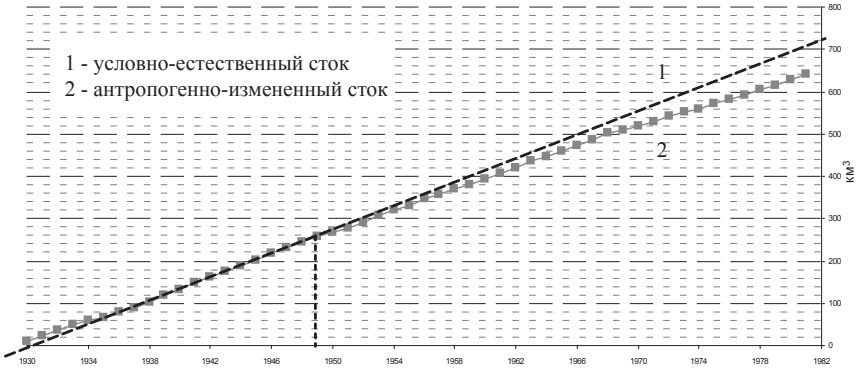


Рис. 3. Нарастающая сумма годовых значений стока р. Кубань – Краснодар

стока равнялась 9,93 км^3, в то время как за последующие 32 года наблюдений этот показатель снизился до 7,6 км^3, а это значит, что понижение составило 2,33 км^3, или 23%. Также достаточно хорошо прослеживается уменьшение объема стока на реке Кубань. Если с 1930 по 1950 г. среднее значение равно 13,4 км^3, то с 1951 по 1982 г. – уже 12,05 км^3, что говорит о снижении на 1,35 км^3, или же на 10%.

Отметим также, что коэффициент корреляции стока Терека и Кубани (по Т.Г. Маркеловой (2008)) невысок и составляет 0,52.

Предположим, что природно-климатические и хозяйственные условия сохраняются на уровне 30–40-х гг., когда антропогенное воздействие было невелико. Применим для анализа динамики стока метод кумулятивных кривых. При сохранении условий формирования стока угол наклона кумулятивных кривых стока должен остаться прежним и за пределами указанного периода, вплоть до последнего времени – (рис. 2, 3).

Как видно из графиков (рис. 2, 3), фактический сток довольно существенно отличается от предполагаемого при сохранении климатических и хозяйственных условий. Суммарное отличие за период с конца 40-х гг. составило для Терека 110 км^3, а для Кубани 70 км^3, т.е. в среднем за 35 лет 3,14 и 2,2 км^3/год соответственно. При этом за период 1948–1965 гг. отклонение от предполагаемого объема стока для Терека составило 56 км^3, а для Кубани с 1949 по 1965 г. – 26 км^3, что, если говорить о годовых значениях показателя, равно соответственно 3,11 и 1,53 км^3/год. В следующем временном интервале 1966–

1982 гг. для Терека разница граничных значений равна 54 км^3, для Кубани за 1966-1982 гг. – 44 км^3, что есть 3,17 и 2,44 км^3/год. Какова же роль в этих изменениях климатических и антропогенных факторов?

Роль климатических факторов в современных изменениях речного стока

Очевидно, что климатические условия – важнейшие факторы формирования стока. Но насколько изменения климата обусловливают выявленное на рис. 2 и 3 изменение стока Кубани и Терека? Для решения этой задачи было бы идеальным обладать сведениями об атмосферных осадках и температурах воздуха в основной зоне формирования стока рассматриваемых рек. Но эти данные для основной части зон формирования стока, т.е. для горных районов, или отсутствуют или весьма фрагментарны. Поэтому целесообразно ориентироваться на сток горных рек, бассейны которых не под-

Таблица 1. Сток р. Терек – Каргалинская и горных рек всего бассейна за периоды условно-естественных и антропогенно-измененных условий его формирования

Период осреднения	Терек				Черек		Чегем	
	Каргалинская		Казбеги		Советское-Кашхатау		Нижний Чегем	
	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %
1930–1931 1933–1941 1947–1949 1950–1982	9,64 7,59	–21,3			1,3 1,21	–6,9		
1930–1931 1933–1940 1953–1975 1981–1982	10,17 7,67	–24,6	0,76 0,74	–2,6				
1931 1933–1941 1945–1949 1950–1973 1975–1982	9,56 7,62	–20,3					0,41 0,43	4,9

Таблица 2. Сток р. Кубань – Краснодар и горных рек всего бассейна за периоды условно-естественных и антропогенно-измененных условий его формирования

Период осреднения	Кубань		Белая		Малый Зеленчук		Кубань		Теберда	
	Краснодар		п.г.т. Каменномостский		аул Алибердуковский		Коста Хетагурова		г. Теберда	
	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %	Сток, км^3	Отклонение, %
1926–1942 1944–1949	13,07		1,6							
1950–1982	12,05	–7,8	1,53	–4,4						
1930 1932–1937 1939–194 1947–1949	12,68				0,75					
1950–1966 1969–1972 1974–1975	11,92	–6,0			0,78	4,0				
1926–1939 1946–1949	12,55						2,31			
1950–1967 1969–1975	11,91	–5,1					2,41	4,3		
1927–1941 1948–1949	12,89								0,87	
1950–1970 1973–1975	12,1	–6,1							0,83	–4,6

вергались сколько-нибудь существенному антропогенному воздействию как комплексному показателю климатических условий.

К сожалению, ряды наблюдений на горных реках, характеризующих основную зону формирования стока Терека и Кубани, как правило, непродолжительны, особенно слабо освещен период условно-естественного формирования стока – до начала 1950-х гг.

В табл. 1 и 2 приведены значения стока реки Терек на посту Каргалинская и реки Кубань – Краснодар, а также стока рек горных областей указанных бассейнов, имеющих наиболее высокие коэффициен-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции стока р. Терек – Каргалинская с горными реками всего бассейна за период до середины XX века

Река	Терек	Черек	Чегем
пост	Казбеги	Советское-Кашхатау	Нижний Чегем
R^2	0,36	0,58	0,32

ты корреляции с основными рассматриваемыми водотоками за период до середины XX столетия, когда не было ощутимого антропогенного воздействия. Коэффициенты корреляции представлены в табл. 3, 4. Кроме того, в табл. 1 и 2 приведены данные и за вторую половину XX века – годы ощутимого антропогенного воздействия на сток Терека и Кубани в створах Каргалинская и Краснодар.

Анализ табл. 1 и 2 свидетельствует о том, что сток горных рек второй половины XX столетия (во всяком случае по 1982 г.) менялся незначительно. Изменения в бассейне Терека: от –6,9% (р.Черек – Советское-Кашхатау) до +4,9% (р.Чегем – Нижний Чегем). Изменения в бассейне Кубани: от –4,6% (р.Теберда – г. Теберда) до +4,3% (верховья Кубани в створе Коста Хетагурова). На равнине же (Терек – Каргалинская и Кубань – Краснодар) наблюдался отрицательный баланс, т.е. в период до 1949 г. среднее значение объема стока было всегда больше, чем с 1950 по 1982 г. Отклонение, выраженное в процентах, колебалось от –20,3 до –24,6 (Терек – Каргалинская) и от –5,1 до –7,8 (Кубань – Краснодар). Конечно, чтобы более уверенно судить о динамике стока в основной зоне его формирования за рассматриваемые периоды, желательны еще более детальные исследования. Но, тем не менее, на основе данных расчетов можно сделать вывод, что отмеченное выше уменьшение стока Терека в створе Каргалинская и Кубани в створе Краснодар во второй половине XX века объясняется в основном антропогенными факторами.

Роль антропогенных факторов в современных изменениях речного стока

Хозяйственная деятельность на Северном Кавказе имеет давнюю историю, но наиболее заметно она стала сказываться во второй половине XX века. Это влияние выразилось главным образом в гидротехническом строительстве в целях увеличения водозабора на различные хозяйственные нужды и, в первую очередь, на орошение. Так, по

Таблица 4. Коэффициенты корреляции стока р. Кубань – Краснодар с горными реками всего бассейна за период до середины XX века

Река	**Белая**	**Малый Зеленчук**	**Кубань**	**Теберда**
пост	п.г.т. Каменномостский	Аул Алибердуковский	Коста Хетагурова	г. Теберда
R^2	0,8	0,43	0,42	0,65

данным И.А. Шикломанова (1979, 2008), площадь орошаемых земель в бассейне Терека с конца 1940-х гг. до начала 1980-х гг. выросла в 2,6 раза. Еще более высокими темпами развивалось орошаемое земледелие в бассейне Кубани. Только за 1960–1980-е гг. площадь орошения возросла в 8 раз. Значительную площадь на орошаемых площадях заняла наиболее водоемкая культура – рис. Одновременно росло водопотребление на промышленные и хозяйственно-бытовые нужды. В итоге к началу 1980-х гг. общий водозабор в бассейне Терека превысил 8 км^3/год, а Кубани – 10 км^3/год. В регионе появилось большое число гидротехнических сооружений. В числе наиболее крупных из них в бассейне Терека: Терско-Кумская оросительная система с пропускной способностью в 100 м^3/с, ряд гидроузлов на Тереке и канал Наурско-Щелковский. Существенное снижение стока Кубани началось после осуществления переброски части ее вод по Невинномысскому (с 1949 г.) и Большому Ставропольскому (с 1966 г.) каналам. Максимальная пропускная способность каналов составляет соответственно 75 и 180 м^3/с. Несомненно, сказалось на уменьшении стока Кубани и строительство в рассматриваемый период водохранилищ в ее бассейне. Наиболее крупными из них являются: Краснодарское (1973) – на Кубани, Шапсугское (1952) – в устье р. Афипс и Варнавинское (1969) – на р. Абин.

С учетом сделанного ранее вывода о неоднозначном влиянии изменения климатических условий формирования стока на сток Терека и Кубани в рассматриваемых замыкающих створах можно полагать, что отмеченное выше уменьшение среднегодового стока этих рек во второй половине XX столетия (до 1982 г.) – 3,14 км^3 (Терек) и 2,2 км^3 (Кубань) объясняется в основном антропогенными факторами.

Сопоставим результаты представленных в статье расчетов с результатами И.А. Шикломанова (Шикломанов и др., 2008), полученными после детального анализа сложной многофакторной и многоступенчатой методики, согласно которым уменьшение стока Терека составило в среднем за сопоставимый период 2,5–3 км^3/год, а Куба-

ни – 2,0–2,5км^3/год. Таким образом, численная оценка антропогенного воздействия на водные ресурсы, полученная с помощью кумулятивных кривых, дала довольно близкие результаты по сравнению с той, которая была получена другими, более сложными, методами.

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. *Маркелова Т.Г.* Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. С. 127–133.
3. *Шикломанов И.А.* Антропогенное изменение водности рек. Л.: Гидрометиздат, 1979. 302 с.
4. *Шикломанов И.А., Балонишникова Ж.А., Цыценко К.В.* Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. С. 358–367.

N.V. Popovnin

THE CHANGE OF WATER RESOURCES IN THE NORTHERN CAUCUSES BY THE TIME OF THE HIGHEST ANTHROPOGENIC IMPACT

Run-off variability of Kuban and Terek rivers since early 1930s till the beginning of the most intensive anthropogenic influence in early 1980s is considered. Run-off changes are estimated by means of cumulative curve method. Investigation of the run-off dynamics for mountain rivers almost unaffected by economic activities allows to evaluate the role of natural climatic conditions. Anthropogenic factors that predetermine total water resources within a river network are examined too. The human activity is concluded to have played first fiddle in run-off decrease of Kuban and Terek rivers in late 1940s – early 1950s.

Е.А. Барабанова

ГЛОБАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ (ПО КОСВЕННЫМ ДАННЫМ)

Приводятся данные о воздействии водохранилищ на сток рек. Показаны изменение зависимости полезного объема от полного, изменение устойчивого стока и регулирование паводковой составляющей стока в результате строительства водохранилищ по территории земного шара и отдельным странам для водохранилищ полным объемом 1–10, 10–50, и более 50 км^3. Выявлены некоторые региональные особенности регулирования стока водохранилищами и выполнено сравнение особенностей регулирования стока водохранилищами России и других стран.

Оценить воздействие водохранилищ на сток рек можно как непосредственно – по его изменению в замыкающем створе каждой реки, на которой созданы водохранилища, так и косвенно – по величине полезного объема водохранилищ. Непосредственное определение изменений стока в глобальном аспекте чрезвычайно трудоемко и далеко не всегда обеспечено данными гидрологических наблюдений. Косвенные оценки доступней, но дают более приблизительные результаты. Одна из проблем при этом заключается в том, что для расчетов регулирующего действия водохранилищ необходимы сведения по полезному объему водохранилищ, которые по многим странам весьма неполны. Однако недостаток подобной информации может быть восполнен эмпирическим путем. В расчетах также обычно не учитываются малые водохранилища, статистика которых, как правило, отсутствует. Впрочем, их возможный общий объем при доминирующей роли крупных водохранилищ в преобразовании речного стока обычно незначительно влияет на результаты расчетов глобального эффекта крупных водохранилищ. Принимая размер регулирования стока равным сумме полезных объемов водохранилищ, приходится делать допущение, что эти емкости ежегодно однократно заполняются и срабатываются, что далеко не всегда выполняется. Иногда, особенно на небольших водохранилищах, цикл «наполнение – сработка» осуществляется не один раз в году. В других случаях, относящихся в первую очередь к водохранилищам многолетнего регулирования стока, ежегодно срабатывается лишь часть полезного объема.

В ряде работ М.И. Львовича (Львович, 1974, 1986 и др.), с учетом указанных выше допущений, даны расчеты глобального регулирующего действия водохранилищ. М.И. Львович дифференцировал полезный объем водохранилищ в процентах от полного по частям света и получил показатели искусственного регулирования стока. Так, по данным М.И. Львовича (1986), на земном шаре в конце XX столетия эксплуатировалось около 2260 водохранилищ, имеющих объем 100 млн. $м^3$ и более. Их суммарный объем составлял 5132 $км^3$, сток, зарегулированный водохранилищами, – 3195 $км^3$. Сделан вывод, что благодаря этому ресурсы устойчивого стока рек суши (11 885 $км^3$) увеличены приблизительно на 27%, а суммарный устойчивый речной сток вместе со стоком, зарегулированным водохранилищами, составил на конец XX века 15 080 $км^3$/год. Наибольших результатов по увеличению устойчивого стока достигли государства Северной Америки, увеличив его почти на 70%, зарегулировав около 30% поверхностной составляющей речного стока. Почти в 10 раз меньшим количеством водохранилищ Африки устойчивый сток рек этого континента увеличен на 35% при регулировании 19% паводковой составляющей речного стока. В Европе и Азии благодаря регулирующим емкостям водохранилищ ресурсы естественного устойчивого стока увеличены соответственно на 28 и 23%, причем полезный объем водохранилищ Азии более чем в два раза превосходит европейские. В Австралии этот показатель составляет 18%, а в Южной Америке он падает до 9%.

А.Б. Авакяном (1998) на начало XXI века учтено уже 2836 водохранилищ, имеющих объем 100 и более млн. $м^3$, суммарная емкость которых превышает 6380 $км^3$. Выполненные по методике М.И. Львовича расчеты показывают, что ресурсы устойчивого стока рек суши увеличились на 34%, соответственно произошло их увеличение и по частям света в среднем на 7%.

В табл. 1 и 2 приведены данные о регулировании речного стока водохранилищами объемом более 0,1 $км^3$ по континентам земного шара и объемом более 1 $км^3$ по отдельным странам. В таблицах сток, зарегулированный водохранилищами, принят равным их суммарному полезному объему. Современный устойчивый сток найден по сумме показателей естественного устойчивого стока, который соответствует подземному стоку, и полезного объема водохранилищ, или стока, зарегулированного водохранилищами. Увеличение устойчивого стока представляет собой отношение полезного объема к подземному стоку,

Таблица 1. Регулирование речного стока водохранилищами мира (объемом более 0,1 км³)

Часть света	К-во вдхр.	Полный объем вдхр., км³	Сток, зарегулированный вдхр., км³	Естественный устойчивый сток, км³	Современный устойчивый сток, км³	Увеличение устойчивого стока, %	Регулирование паводковой составляющей
по М.И. Львовичу (1986)							
Европа	482	570,3	300	1065	1365	28	15
Азия	554	1463,1	800	3410	4210	23	8
Африка	96	864,9	520	1465	1985	35	19
С.Америка	868	1306,4	1200	1740	2940	69	28
Ю.Америка	187	551,5	330	3740	4070	9	5
Австралия	70	75,7	45	246	291	18	8
Вся суша	2257	5131,9	3195	11666	14861	27	12
по А.Б. Авакяну (1998)							
Европа	576	645	342	1065	1407	32	17
Азия	815	1980	1089	3410	4499	32	11
Африка	176	1001	600	1465	2065	41	22
С.Америка	915	1692	1269	1524	2793	83	33
Центральная и Ю.Америка	265	972	583	3956	4539	15	8
Австралия	89	95	57	246	303	23	11
Вся суша	2836	6385	3958	11666	15624	34	15

Таблица 2. Регулирование речного стока водохранилищами некоторых стран (объемом более 1 км³) (Авакян, Шарапов 1977; Авакян и др., 1987; Водохранилища мира, 1979; Каталог водохранилищ СССР, 1988; Справочные данные.., 1984, 1985, 1986, 1987; Mermel, 1990)

Страна	К-во вдхр.	Полный объем вдхр., км³	Сток, зарегулированный вдхр., км³	Естественный устойчивый сток, км³	Современный устойчивый сток, км³	Увеличение устойчивого стока, %	Регулирование паводковой составляющей
Россия	40	768	309	885	1194	34,9	10,0
Бразилия	42	525	197	1874	2071	10,5	5,2
Канада	51	764	476	725	1201	65,7	23,6
США	107	439	304	482	786	63,1	24,3
Индия	38	198	129	376	505	34,3	10,7
Китай	69	487	260	960	1220	27,1	13,6

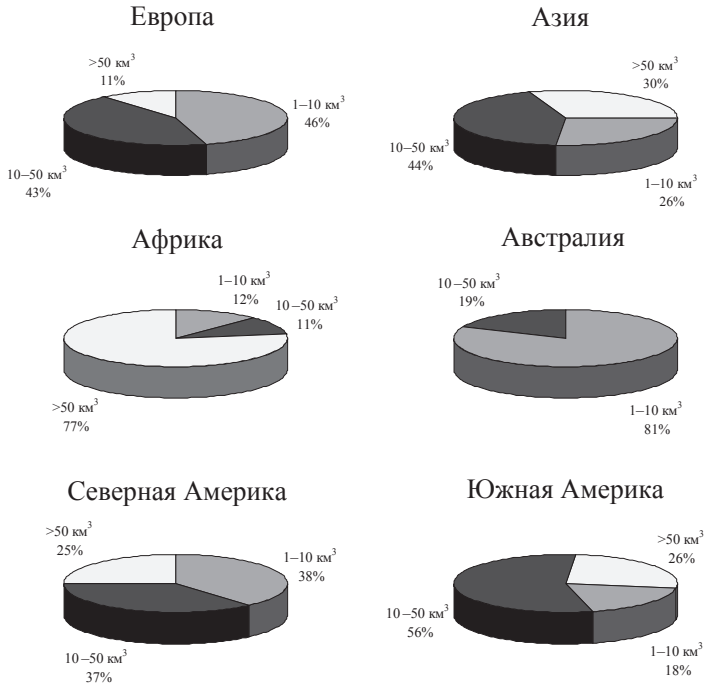


Рис. 1. Региональные особенности распределения водных ресурсов по категориям водохранилищ

выраженное в процентах, а регулирование паводковой составляющей равно отношению полезного объема к поверхностному стоку.

Дифференциация водохранилищ не только по континентам, но и по полному объему водохранилищ (1–10, 10–50 и более 50 км^3) позволяет выявить некоторые региональные особенности регулирования стока. В данной работе использованы статистические данные для 641 водохранилища объемом более 1 км^3 (Авакян, Шарапов 1977; Авакян и др., 1987; Водохранилища мира, 1979; Каталог водохранилищ СССР, 1988; Справочные данные.., 1984, 1985, 1986, 1987; Mermel, 1990). Их общий объем превышает объем водохранилищ, учтенных М.И. Львовичем, и лишь на 9,6% меньше общего объема водохранилищ, учтенных А.Б. Авакяном.

Анализ распределения водных ресурсов по категориям водохранилищ мира показал, что на африканском континенте почти 80% полного объема водохранилищ сосредоточено в крупнейших (>50 км^3) искусственных водоемах, в Австралии такие водохранилища отсутствуют

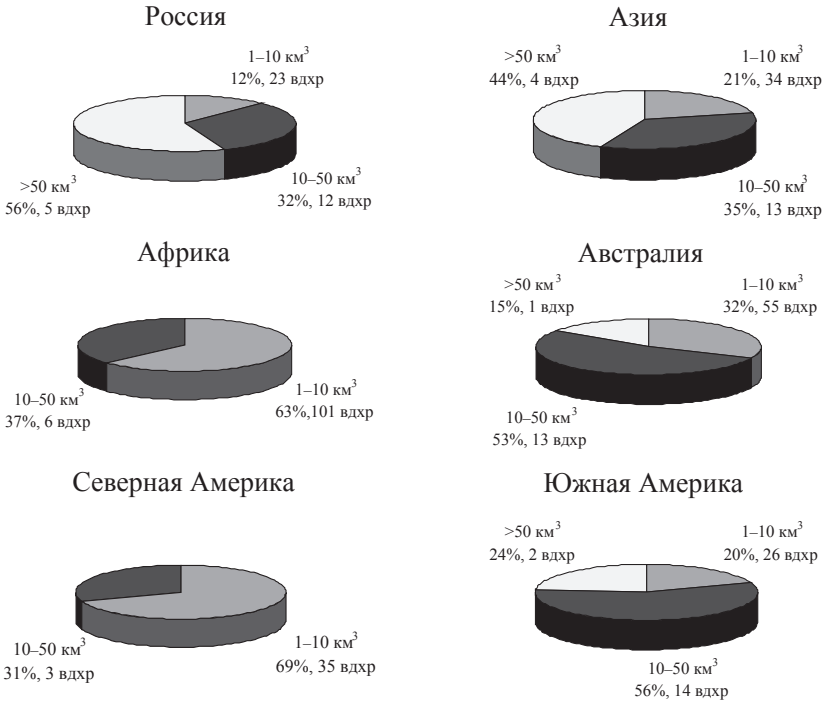


Рис. 2. Особенности распределения водных ресурсов по категориям водохранилищ в отдельных странах

и практически такая же доля объема заключена в крупных (1–10 км^3) водохранилищах. В Азии и Южной Америке небольшой перевес над остальными по суммарному объему имеют очень крупные (10–50 км^3) водохранилища, соответственно 44 и 56% объема, а в Европе и Северной Америке – крупные (46 и 38%) (рис. 1). В крупнейших водохранилищах России сосредоточено более 50% объема искусственных водных ресурсов. Сходная ситуация наблюдается в Канаде, где также значительный объем водных ресурсов сосредоточен в крупнейших водохранилищах. В США и Индии искусственные водные ресурсы концентрируются преимущественно в крупных водохранилищах, а в КНР и Бразилии – в очень крупных (рис. 2).

Важной составляющей расчетов глобально регулирующего действия водохранилищ является определение их полезного объема. Как известно, полезный объем – это часть емкости искусственного водоема, предназначенная для накопления воды с целью ее хо-

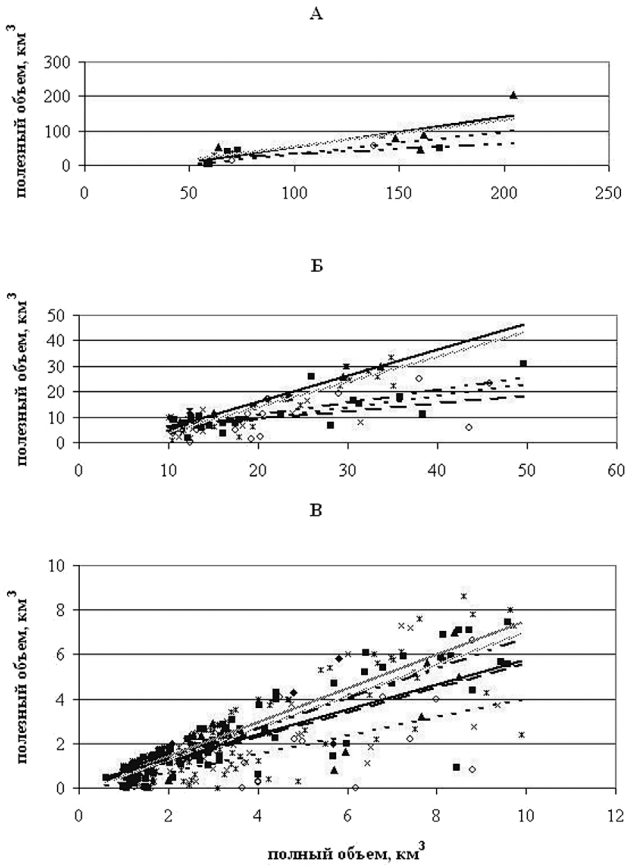


Рис. 3. Соотношение полного и полезного объема водохранилищ емкостью 50 (А), 10–50 (Б) и 1–10 км^3 (В)

Водохранилища: Австралии ◆ ; Африки ▲ ; Азии ■ ; Европы × ; Сев.Америки * ; Ю.Америки ◇

зяйственного использования и регулирования стока реки. Как правило, зависимость полезного объема от полного носит линейный характер (рис. 3), а показатель этой зависимости называется коэффициентом водохозяйственного использования емкости водохранилища (Ки) (Вода России, 2001).

На рис. 4 показано изменение Ки по территории земного шара и отдельным странам для водохранилищ полным объемом 1–10, 10–50, и более 50 км^3. Коэффициент водохозяйственного использования емкости этих водохранилищ колеблется в пределах 0,001–1, в среднем

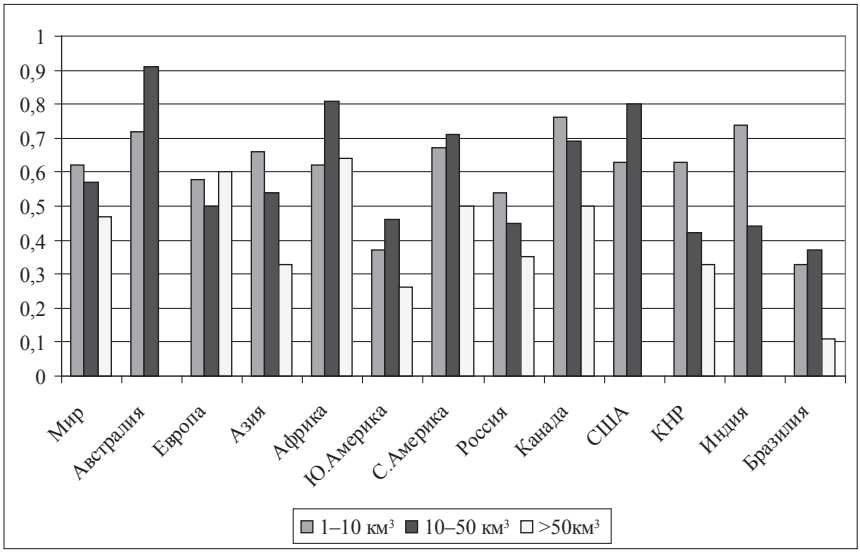


Рис. 4. Изменение Ки по континентам и отдельным странам

составляя 0,55 и изменяясь от 0,36 в Южной Америке до 0,82 в Австралии. Средний Ки России составляет 0,40, почти такой же в Бразилии (0,37). Достаточно высокий Ки в США (0,69), Индии (0,65) и Канаде (0,62). В КНР этот показатель равен 0,53.

У водохранилищ с малым коэффициентом водохозяйственного использования наиболее велика доля стационарных водных ресурсов, или «мертвый» объем. За исключением Южной Америки, где таких водохранилищ 12%, на остальных континентах большую долю «мертвого» объема имеют 3–4% водохранилищ (Ки <0,1). Приблизительно треть водохранилищ Северной Америки и Австралии характеризуются высоким коэффициентом водохозяйственного использования емкости (Ки>0,8). В Азии, Африке и Европе таких водохранилищ от 15 до 20%, а в Южной Америке – всего 4%. В России 12,5% водохранилищ имеют высокий Ки, в Канаде таких водохранилищ более 40%, в США около 30%, в Китае водохранилищ с высоким Ки нет, зато в Индии значения Ки более 0,8 у половины существующих водохранилищ. В Бразилии одно водохранилище имеет показатель Ки более 0,8 и 17% водохранилищ характеризуются его низким значением.

Ниже рассмотрены особенности изменения стока рек под влиянием крупных водохранилищ по континентам и отдельным регионам.

Европа. Больше всего водохранилищ сооружено в Восточной Европе. Их суммарный объем значительно превосходит объем водохранилищ в других регионах Европы. Здесь, в Волжско-Камском и Днепровском каскадах, сосредоточено более 40% техногенных водных ресурсов[1] Европы. Значительное увеличение устойчивого стока (более 75%) произошло в Нидерландах, Португалии и Украине. В большинстве же стран Европы увеличение стока не превысило 25% (рис. 5).

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ Европы колеблется в пределах 0,07–1. Наиболее многочисленную группу (64%) составляют водохранилища с полезным объемом от 25 до 75% полного. Они представлены во всех регионах Европы, но преобладают в Восточной и Северной Европе. Всего 10% водохранилищ имеют Ки менее 25%. Это водохранилища Норвегии, Европейской территории России и Украины. Водоемы многолетнего и глубокого сезонного регулирования стока, показатель Ки которых более 0,75, составляют 26% от общего числа водохранилищ. Это в первую очередь все озера-водохранилища, и горные водохранилища Южной Европы (Испания, Греция, Португалия).

В Нидерландах и Европейской части России паводок зарегулирован более чем на 75%. В остальных странах этот показатель менее 25%, за исключением Финляндии и Португалии, где паводок зарегулирован соответственно на 26 и 35%.

Азия располагает огромным фондом водохранилищ, которые распределены по ее территории достаточно неравномерно. В Северной и Восточной Азии сосредоточен примерно равный объем техногенных водных ресурсов, при этом в Северной Азии это достигается значительно меньшим количеством водохранилищ, главным образом водохранилищами Ангаро-Енисейского каскада. Значительное увеличение устойчивого стока (более 75%) произошло в странах Средней и Юго-Западной Азии. В Восточной и Южной Азии – преимущественно среднее увеличение устойчивого стока, а в Юго-Восточной – низкое.

В большинстве стран Азии отношение полезного объема водохранилищ к поверхностному стоку составляет менее 25% (рис. 5). Высокие показатели характерны для стран, где произо-

[1] Водные ресурсы, накапливаемые в гидрографической сети в результате гидротехнического строительства и преобразования природных элементов – речных долин, озерных котловин, морских заливов (Вода России, 2001).

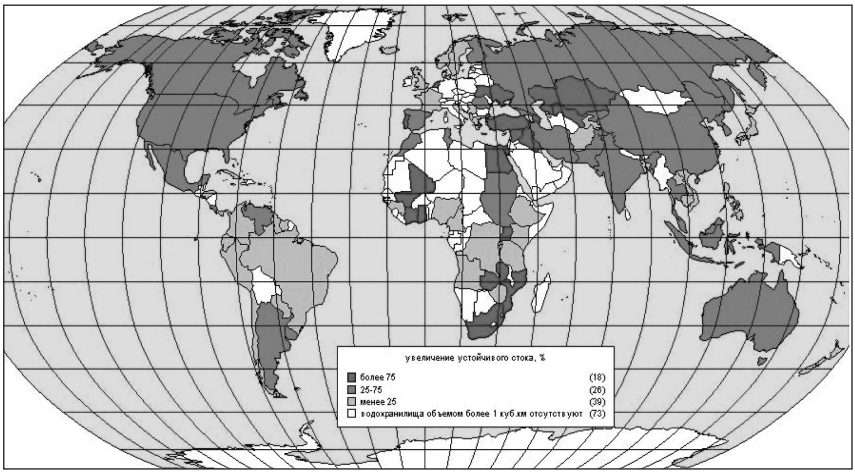


Рис. 5. Увеличение устойчивого стока водохранилищами объемом более 1 км^3 по странам мира

шло значительное увеличение ресурсов устойчивого стока, а именно в Средней (Узбекистан, Казахстан) и Юго-Западной (Азербайджан, Ирак) Азии.

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ Азии колеблется от 0,01 до 1. Так же как и в Европе, наиболее многочисленна группа водохранилищ (76%), полезный объем которых составляет 25–75% полного. Они представлены во всех регионах Азии, но преобладают в Восточной Азии. Практически одинаковое количество водохранилищ во всех регионах с малым Ки. А в Южной Азии довольно значительное по сравнению с другими регионами количество водохранилищ с высоким Ки.

Африка. Незначительное увеличение ресурсов устойчивого стока (менее 25%) произошло в странах, где подземный сток относительно высокий, это Нигерия, Гвинея, Заир, Камерун, Ангола, либо в странах, где число водохранилищ и их объем незначительны (Эфиопия, Кения, Танзания, Зимбабве). Значительное увеличение (более 75%) ресурсов устойчивого стока, в ряде случаев в сотни раз, произошло в странах, где сооружены водохранилища-гиганты (Насер, Виктория, Вольта) и очень крупные водохранилища, т.е. там, где суммарный полезный объем водохранилищ достаточно велик (рис. 5).

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ Африки колеблется в пределах 0,02–0,97. Наиболее многочисленную группу (61%) составляют водохранилища с полезным объемом от 25 до 75% полного. Главным образом они расположены в странах Южной (Замбия, Зимбабве, ЮАР), Северной (Египет, Тунис, Марокко) и Западной Африки (Мали, Гвинея). Менее многочисленную группу (31%) образуют водоемы многолетнего и глубокого сезонного регулирования стока, показатель Ки которых более 0,75. По африканскому континенту они распределены довольно равномерно, но в странах Западной (Мали, Нигерия, Кот-д'Ивуар) и Центральной Африки (Камерун, Заир) их несколько больше. Максимальное значение коэффициента (0,97) в водохранилище Росейрес, расположенном на р. Голубой Нил в Судане. Совсем немногочисленна (8%) группа водохранилищ с Ки менее 0,25, куда входит всего 4 водоема: два в Южной Африке – Гордж на р. Кафуэ в Замбии (0,15) и Оливейра Салазар на р. Ревуэ в Мозамбике (0,19), и по одному в Центральной – Куинмаха на р. Бенго в Анголе (Ки – 0,02), и Восточной Африке – Оуэн-Фолс (0,074) в Уганде.

В подавляющем большинстве стран Африки регулирование паводка водохранилищами осуществляется менее чем на 25%. Однако в ЮАР, Кот-д'Ивуаре и Марокко паводковая составляющая зарегулирована на 25–75%, а в странах, где сооружены водохранилища-гиганты (Египет, Уганда, Гана, Мозамбик) – более чем на 75%.

Северная Америка. В США и Канаде в результате строительства водохранилищ современный устойчивый сток увеличен более чем на 60%. Значительное увеличение устойчивого стока произошло в Мексике (43%), Коста-Рике (36%) и Сальвадоре (33%). В остальных странах Средней Америки увеличение устойчивого стока составляет примерно 11% (рис. 5).

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ Северной Америки колеблется в пределах 0,002–1. Более трети водохранилищ осуществляют глубокое сезонное регулирование стока, т.е. их полезный объем более 75% полного. Почти у половины всех водохранилищ показатель Ки изменяется в пределах 0,25–0,74. Эта группа водохранилищ преобладает во всех регионах Северной Америки.

Водохранилищами Мексики регулируется более 30% паводка. До 24% паводка зарегулировано водохранилищами США и Канады. В остальных странах Центральной Америки этот показатель не превышает 15%.

Южная Америка. Значительное увеличение устойчивого стока в результате строительства водохранилищ отмечается в Аргентине (64%), Уругвае (33%) и Венесуэле (26%). В Бразилии устойчивый сток увеличился на 10,5%, а в остальных странах этот показатель менее 8% (рис. 5).

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ Южной Америки изменяется от 0,001 до 0,9. Довольно много водохранилищ с небольшой долей полезного объема в полном. Все они, как и водохранилища глубокого сезонного регулирования стока, расположены в странах бассейна Амазонки и Лаплатской низменности. Водохранилища Андских стран полностью входят в категорию среднего показателя Ки.

Существенное регулирование паводковой составляющей стока осуществляется в Аргентине (51%). В Уругвае и Венесуэле этот показатель соответственно 21 и 11%. В остальных странах отношение полезного объема к поверхностному стоку значительно меньше.

Австралия. В Австралии в конце XX века полный объем водохранилищ емкостью более 1 км^3 составил 63 км^3. Ими зарегулирован сток в объеме 47 км^3. При этом произошло увеличение устойчивого стока на 19%, а паводок зарегулирован на 9% (рис. 5).

Регулирование стока осуществляется исключительно крупными водохранилищами (1–10 км^3). Единственное водохранилище, принадлежащее к разряду очень крупных, расположено на о. Тасмания. Это горное водохранилище Гордон, высота плотины которого 130 м, объем при НПУ 11,8 км^3, площадь зеркала 270 км^2.

Ки водохранилищ Австралии изменяется от 0,31 до 1, и в среднем составляет самый высокий показатель по миру. Более 70% водохранилищ имеют полезный объем от 25 до 75% полного, т.е. осуществляют сезонное и многолетнее регулирование стока.

В заключение рассмотрим особенности регулирования стока водохранилищами России.

В ***России*** построено и находится в эксплуатации свыше 2000 водохранилищ различного назначения объемом более 1 млн. м^3. Их общие суммарные показатели следующие (включая подпертые озера): площадь водного зеркала – 107682,0 км^2, полный объем – 849230,0 млн. м^3, полезный объем – 382142,0 млн. м^3. Из общего количества водохранилищ 105 имеют объемы свыше 100 млн. м^3. Суммарный объем 40 водохранилищ емкостью более 1 км^3 составляет почти 90% общего объема воды, аккумулированного водохранилищами России (Водохранилища мира, 1979).

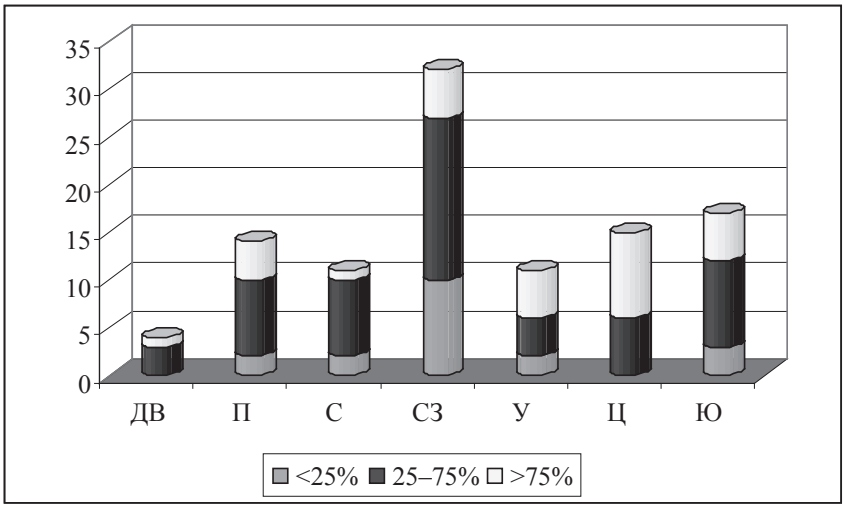


Рис. 6. Распределение водохранилищ по территории федеральных округов России в зависимости от величины Ки. Федеральные округа:

ДВ – Дальневосточный, П – Приволжский, С – Сибирский, СЗ – Северо-Западный, У – Уральский, Ц – Центральный, Ю – Южный

Большая часть водохранилищ расположена в Европейской части России в бассейнах р. Волги и Камы, в Карелии. В Сибири наибольшие регулирующие емкости сосредоточены на Ангаро-Енисейском каскаде ГЭС. Каскады ГЭС в Сибири выгодно в экономическом и экологическом отношении отличаются от европейских вследствие больших напоров и мощностей при меньших удельных показателях площадей затоплений и резком сокращении мелководий. Здесь сосредоточена почти половина всех искусственных водных ресурсов России за счет таких крупнейших водохранилищ, как Братское, Красноярское, Саяно-Шушенское.

В целом по России в результате строительства водохранилищ произошло увеличение устойчивого стока на 36%, причем значительное его увеличение наблюдается в Поволжье и на Северном Кавказе. Водохранилищами России регулируется более 10% паводка.

Коэффициент водохозяйственного использования емкости водохранилищ России объемом более 0,1 км^3 изменяется от 0,01 (Серебрянское-2 на р. Воронья) до 0,98 (Рузское на р. Рузе). Почти треть водохранилищ имеют полезный объем более 75% полного. Это преимущественно водохранилища, расположенные в Центральном феде-

ральном округе. Более чем у половины водохранилищ этот показатель изменяется в диапазоне 0,25–0,75. Такие водохранилища расположены главным образом в Северо-Западном федеральном округе (рис. 6).

Сравнение особенностей регулирования стока водохранилищами России и других стран (табл. 2) показало, что по характеру распределения водных ресурсов по категориям водохранилищ прослеживается сходство между Россией и Канадой, тогда как по увеличению устойчивого стока и регулированию паводковой составляющей Россия более всего близка Индии.

Литература

1. *Авакян А.Б.* Водохранилища – новые географические объекты XX века // Гидрология и русловые процессы. Труды Академии водохозяйственных наук. Вып. 5. 1998. С. 6–15.
2. *Авакян А.Б., Шарапов В.А.* Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1977. 399 с.
3. *Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А.* Водохранилища. М.: «Мысль», 1987. 325 с.
4. ВОДА РОССИИ: Водохранилища. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 700 с.
5. Водохранилища мира. М.: Наука, 1979. 287 с.
6. Каталог водохранилищ СССР. М.: 1988. 276 с.
7. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 447 с.
8. *Львович М.И.* Вода и жизнь: (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). М.: Мысль, 1986. 254 с.
9. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира // Гидроэлектростанции стран Северной, Центральной и Южной Америки. М.: Гидропроект, 1984. 278 с.
10. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира. Гидроэлектростанции стран Азии. М.: Гидропроект, 1985. 218 с.
11. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира. Гидроэлектростанции стран Африки, Филиппин, Индонезии, Австралии, Новой Зеландии и Океании. М.: Гидропроект, 1986а. 341 с.
12. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира. Гидроэлектростанции стран Европы. Часть 1. М.: Гидропроект, 1986б. 306 с.

13. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира // Гидроэлектростанции стран Европы. М.: Гидропроект, 1987. 401 с.
14. *Mermel T. W.* The World's Major Dams and Hydro Plants // The International Water Power and Dam Construction. 1990. №5. P. 50–60.

E.A. Barabanova

GLOBAL-REGIONAL SPECIAL FEATURES OF THE FLOW REGULATION UNDER THE RESERVOIRS IMPACT (BY INDIRECT DATA)

The data on the reservoirs impact on the river flow is cited. Changes in the dependence between total and effective capacity, changes in stable runoff and regulation of flood component of the flow in the result of reservoirs building are shown. Some regional special features of the flow regulation are revealed for the reservoirs by total volume 1-10, 10-50, and more than 50 km^3. Comparison of the special features of flow regulation by reservoirs of Russia and other countries is executed.

М.Б. Заславская, М.Г. Ершова, К.К. Эдельштейн

РОЛЬ ВОДОХРАНИЛИЩ В ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД РОССИИ[1]

Рассмотрены гидрофизические, гидрохимические и биологические процессы трансформации речной воды в водохранилищах. Эти процессы приводят к изменению концентрации вещества при неизменной его массе во всем водном объеме, либо вызывают изменение массы вещества в воде и вследствие этого изменяют его концентрацию. Экологически благополучное состояние водохранилищ обеспечивается гармоничным развитием сообщества водных организмов всех трофических уровней, ведущим к улучшению качества воды в зарегулированной речной экосистеме и стабильно высокой ее рыбопродуктивности.

В 1980-х годах из-за некорректной оценки последствий гидротехнического преобразования рек возник вопрос о якобы вызванной водохранилищами деградации крупных рек Европейской части России и Западной Сибири. Но выполненный анализ результатов многолетних комплексных исследований почти сотни долинных водохранилищ разного размера показал ошибочность негативной оценки экологической роли техногенного регулирования речного стока. Благодаря созданию водохранилищ не только увеличились доступные водные ресурсы, но и возникли новые, намного большие биологические ресурсы в зарегулированных речных системах, что привело к активному их самоочищению от загрязняющих веществ (ЗВ).

В масштабах страны и отдельных ее регионов систематизированные данные имеются лишь о проектных значениях емкости W и полезного объема водохранилищ $W_{\text{П}}$, которые и использованы для определения техногенных водных ресурсов (табл. 1). Эта оценка, учитывая внутригодовые колебания запаса воды в водохранилищах, не более чем на 10–20% завышает среднюю многолетнюю величину этих ресурсов.

Важнейшие особенности структуры фонда водохранилищ следующие: ядро техногенных водных ресурсов (>80% ΣW) составляют четыре десятка крупнейших водохранилищ; доля эксплуатационных техногенных ресурсов $\sum W_{\text{П}}$ (≈40% ΣW) в 1,5 раза меньше ста-

[1] Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-0029) и программы поддержки ведущих научных школ (НШ – 4964.2008.5).

Таблица 1. Суммарные величины емкости W, полезного объема $W_П$, стационарных водных ресурсов $W_С$ и площади F водохранилищ России

Водохранилища	Число учтенных водоемов, *n*	Σ*W*, км³	Σ$W_П$, км³	Σ$W_С$, км³	Σ*F*, тыс.км²
Крупнейшие *W* >1 км³	41	762	307	455	56,4
Крупные *W* 0,1–1 км³	68	21	12	9	4,8
Средние *W* 0,01–0,1 км³	218	6	4	2	2,5
Малые *W* 1–10 млн. м³	1936	5	4	1	2,0
Всего*	2263/2300	794/790	327/326	467/464	65,7/62,4

*В числителе данные по (Вода России.., 2001, с. 242), в знаменателе по (Водные ресурсы.., 2008, с. 309).

ционарных ($\sum W_С$), несрабатываемых из водохранилищ; емкость водохранилищ равна <20% средней годовой величины стока рек России – 4322 км³/год (Водные ресурсы.., 2008, табл. 5.7).

Сооружение 330 больших водохранилищ (емкостью свыше 10 млн. м³), в которых сосредоточено 98% техногенных водных ресурсов, привело к преобразованию стока 214 рек с суммарной величиной динамических водных ресурсов свыше 1700 км³/год (≈40% суммарного стока рек России). Водоемы меньшего размера в экологическом отношении изучены слабо. Их водные и биологические ресурсы составляют <0,6% $\sum W$. Поэтому они оказывают сугубо локальное влияние на небольшие участки речной сети. Суммарная протяженность преобразованных (вследствие сооружения водохранилищ) участков русловой сети в России *L* = 36,5 тыс. км (Эдельштейн, 1999). Это – не более 3% общей длины рек (без учета рек длиной <10 км). Протяженность затопленных русел в верхних бьефах гидроузлов составляет в среднем 60% *L*, а суммарная длина нижних бьефов, где сток формируется преимущественно сбросами воды из водохранилищ, – 40% *L*.

Сооружение любого водохранилища приводит к некоторому уменьшению величины среднего годового стока в речной системе, так как испарение воды с акватории больше, чем с затопленной территории. В то же время все водохранилища, расположенные в России к северу от 56°с. ш., увеличивают сток воды в нижнем бьефе по сравнению с суммарным притоком речных вод в водохранилище. К югу от этой параллели водохранилища снижают сток, поскольку средний годовой слой испарения с их поверхности все более превышает средний годовой слой атмосферных осадков.

Таблица 2. Минерализация, содержание кислорода и максимальные величины биогенных (БВ) и органических (ОВ) веществ в основной водной массе водохранилищ (Эдельштейн, 1998; Сороковикова, 1994; Сороковикова, Башенхаева, 2000; Лурье и др., 2001; Выхристюк, Варламова, 2003; Шестеркин, 2009; Карнаухова, 2008; Кочеткова, 2009)

Водохранилище	∑и, мг/л	Кислород, мг/л	БВ, мг/л			ОВ	
			$N_{мин}$	$P_{мин}$	$Fe_{общ}$	ПО, БО мгО/л	Цв., градусы
Братское	104–144	6,4–14,0	4,3	0,045	0,75	8,9	15
Бурейское	32–38	–	–	–	–	–	70
Верхневолжское	47–211	–	–	–	0,34	12,1	90
Веселовское	300–1500	–	–	0,030	–	8	–
Вилюйское	60–84	3,5–9,9	0,13	0,028	0,75	–	–
Волгоградское	182–421	5,5–17,4	0,78	0,117	1,10	– , 36,0	54
Воронежское	140–720	3,4–11,9	2,38	0,48	–	–, 33,6	45
Воткинское	105–625	0,5–13	1,00	0,016	0,30	–, 42,0	50
Выгозерское	19–31	1,1–13,6	0,29	0,012	2,30	–, 66,9	120
Горьковское	131–237	7,2–12,5	–	0,038	0,19	14,0	60
Иваньковское	154–334	0,9–11,0	3,56	0,071	0,38	19,3	122
Имандровское	52–106	–	0,31	0,029	0,16	–, 8,8	–
Иркутское	93–98	8,9–14,0	–	0,035	0,02	–, 8,0	<4
Истринское	244–334	0,0–14,0	–	–	–	7,6	55
Камское	105–465	3,7–10,2	0,33	0,018	0,72	–, 30,8	62
Колымское	60–213	1,6–15,4	4,13	0,033	1,31	–	–
Красноярское	132–210	7,4–13,1	1,50	0,067	–	10,7, 16,6	19
Куйбышевское	132–479	4,2–10,2	0,7	0,05	0,49	9,8, 22,6	80
Курейское	25–70	0,5–12,4	0,49	0,068	–	–	–
Можайское	142–214	0,0–15,0	3,2	0,3	1,0	8,2	55
Новосибирское	133–210	5,1–12,4	1,45	0,50	0,78	–, 14,4	–
Озернинское	214–275	–	0,82	0,028	–	7,7	48
Рузское	222–287	–	0,89	0,029	–	8,8	60
Рыбинское	77–318	7,0–11,6	1,00	0,026	0,22	11,2	70
Саратовское	242–365	4,9–17,3	3,05	0,110	1,26	14,4	60
Саяно-Шушенское	87–146	8,1–12,0	0,92	0,14	0,35	11,7, 24,2	–
Угличское	119–515	–	–	0,019	0,66	11,0	100
Усть-Илимское	100–150	–	0,04	–	–	–	–
Цимлянское	181–394	6,9–14,9	2,37	0,250	0,18	7,0	40
Чебоксарское	175–320	–	1,88 ($N_{общ}$)	0,126 ($P_{общ}$)	–	–	–
Шекснинское	39–160	3,6–12,0	0,46	0,037	0,15	–, 38,2	75

Процессы трансформации речных вод в водохранилищах

Степень трансформации водного, химического стока и стока наносов в речных участках, ставших экосистемой водохранилища, зависит от коэффициента водообмена $K_в$. Чем этот коэффициент меньше, тем продолжительнее в среднем за год время пребывания воды в водохранилище, тем сильнее трансформация речного стока вследствие его регулирования. Она проявляется: в изменении массы воды и переносимых ею в среднем за год веществ; в уменьшении меж- и внутригодовых колебаний расхода воды, концентрации растворенных и взвешенных в ней веществ и организмов; в изменении состава этих веществ и биоценоза.

Наблюдающиеся в водохранилищах физические, химические и биологические процессы целесообразно делить на две группы – на процессы, изменяющие *концентрацию вещества* при неизменной его массе во всем водном объеме, и на процессы, ведущие к изменению *массы вещества* в воде и вследствие этого изменяющие его концентрацию. Роль этих процессов весьма разнообразна в формировании экологически благополучного состояния водохранилища. Оно обеспечивается гармоничным развитием сообщества водных организмов всех трофических уровней, ведущим к улучшению питьевых качеств воды в водоеме и стабильно высокой его рыбопродуктивности.

Процессы, изменяющие концентрацию веществ

Процесс смешения речных водных масс приводит к формированию в водохранилище его основной водной массы (ОВМ) с одинаковой минерализацией во всем объеме и сравнительно малой внутригодовой изменчивостью ее значений (табл. 2) из-за смешения вод не только нескольких притоков водохранилища, но и сформированных на водосборе в разные фазы водного режима. При составлении табл. 2 предпочтение отдавалось опубликованным данным, полученным на постоянных станциях наблюдений сети гидрометеорологической службы, расположенных в приплотинном районе крупных водохранилищ, поскольку по ним имеются наиболее длительные ряды многолетних наблюдений. Такие данные лишь дополнялись результатами экспедиционных наблюдений, выполненными сотрудниками академических институтов, университетов и других учреждений.

Приводимые здесь значения характеризуют уже сформировавшееся химическое и биологическое состояние экосистем, наступающее

по завершении первоначального этапа их становления. Наименьшей минерализацией (Σи <100 мг/л) отличаются озерные водохранилища Кольского полуострова и Карелии – Имандровское, Выгозерское и многие другие, водохранилища Сибири в районах распространения многолетнемерзлых грунтов – Бурейское, Зейское, Вилюйское и др., а также Иркутское, питающееся байкальской водой. В этих водохранилищах и в следующих за Иркутским водохранилищах Ангарского каскада мала и внутригодовая изменчивость этих характеристик. В остальных водохранилищах четко выражено снижение минерализации воды в весеннее половодье и постепенное повышение ее значений в 1,5–2,5 раза в остальную часть года. Наиболее велика минерализация и жесткость воды в половодье в Манычских водохранилищах в степном Предкавказье – Веселовском, Пролетарском и Чограйском. С 1962 г., в связи с увеличением сброса коллекторно-дренажных вод с орошаемых массивов, началось повышение минерализации воды в Манычских водохранилищах: в Веселовском к 1998 г. она увеличилась с 1,23 до 2,44 г/л и с 1,02 до 3,06 г/л в западном плесе Пролетарского водохранилища (Лурье и др., 2001). В отличие от остальных водохранилищ страны, имеющих воду гидрокарбонатно-кальциевого класса, водные массы этих водохранилищ относятся к сульфатно-натриевым и даже к сульфатно-хлоридно-натриевым водам. По содержанию хлоридов вода водохранилищ, особенно восточного плеса Пролетарского, приближается к морской.

Накопившиеся за последние 40 лет данные об изменении минерализации ОВМ в ряде водохранилищ лесной зоны свидетельствуют об увеличении и в них ее средних годовых значений. В Можайском водохранилище средняя минерализация воды летней ОВМ с 1961 по 2000 г. возросла от 150 до 190 мг/л, в Рыбинском за 1957–2000 гг. – от 120 до 170 мг/л (Законнова, Литвинов, 2005); в Братском за 1967–1997 гг. и Усть-Илимском за 1977–1997 гг. – от 107 до 120 и от 114 до 131 мг/л соответственно (Карнаухова, 2008). Вероятно, это связано с потеплением зим в России и возросшей долей в ОВМ водохранилищ паводковых вод, более минерализованных, чем воды половодья.

В основной водной массе обычно равномерно распределены биогенные вещества и наиболее мелкие фракции взвеси, что обеспечивает однородность абиотических факторов развития планктонных организмов. В период летней стратификации ночное *конвективное перемешивание* вод и *ветроволновое перемешивание,* а

в весеннюю и осеннюю гидрологические фазы режима частичная или полная конвекция интенсифицируют в водохранилищах все процессы самоочищения воды.

В подавляющем большинстве водохранилищ кислородный режим гораздо более благоприятный для гидробионтов, чем во многих реках, питающихся зимой болотными или глубинными подземными водами, когда в них возникает дефицит O_2 во всей массе воды (явление замора). Даже в самых глубоких сибирских водохранилищах – Братском и Красноярском – в продолжительный период ледостава минимальное насыщение кислородом придонных слоев ОВМ>50% (табл. 2). В сильнее загрязняемых водохранилищах ЕТР и Западной Сибири наименьшие концентрации O_2 на 2–3 мг/л ниже. И только в наиболее эвтрофированных водохранилищах Москворецкой водной системы – Истринском и Можайском – в особенно жаркие месяцы маловодных лет (1972, 1996) наблюдался острый дефицит O_2 в глубинной части ОВМ, расположенной под трофогенным пересыщенным им слоем.

Распреснение талой водой, насыщенной кислородом, самого верхнего слоя в период освобождения водохранилища от ледяного покрова также немаловажно для процессов самоочищения. Именно в этот момент начинается ранневесенняя вспышка развития простейших и диатомового наннопланктона, олигокарбофильных форм бактериопланктона и простейших, а, вслед за ними, макрозоопланктона, в результате чего происходит самоочищение воды от приносимых в половодье загрязняющих воду веществ.

Концентрирование растворенных минеральных веществ в поверхностном микрослое воды вследствие испарения с открытой водной поверхности и льдообразования во время ледостава способствует развитию микроконвекция. Она благоприятна для продукционно-деструкционных процессов в трофогенном слое, поскольку регулирует в нем равномерность насыщения воды биогенами и кислородом.

Концентрирование в водных организмах многих техногенных загрязняющих веществ (ЗВ) (ионов тяжелых металлов (ТМ), радиоактивных веществ и пр.) – один из главных механизмов изъятия этих ядовитых веществ из загрязненной воды водохранилищ. С одной стороны, этот процесс создает опасность пищевых отравлений при чрезмерном содержании таких веществ в вылавливаемой рыбе, но, с другой стороны, гораздо важнее то, что он обеспечивает захоронение основной массы этих веществ в донные отложения посредством

биоседиментации. Как и *биоконцентрация, фотосинтез* и *сорбция* ЗВ на минеральной и органической взвеси снижают концентрацию растворенных в воде минеральных макро- и микрокомпонентов химического состава воды, преобразуя их во взвешенное органическое вещество (ОВ), органоминеральные комплексы и обогащенную ими аллохтонную и абразионную минеральную взвесь. Эти процессы служат первым, подготовительным этапом самоочищения водной экосистемы от избыточных количеств биогенных элементов и ядовитых ЗВ, а фотосинтез, кроме того, пополняет запас растворенного кислорода, необходимого для окисления органических ЗВ. Так, по наблюдениям на Братском водохранилище (Карнаухова и др., 1996), основная форма миграции марганца – это миграция со взвесью, осаждающейся преимущественно в крупнейших плесах – Далонском, Калтукском и Балаганском; медь выводится из водной массы глинистыми минералами, гидроокисью железа и марганца и с детритом; цинк и свинец находятся преимущественно в составе мелкодисперсных фракций, размером менее 1 мкм (50–64% валового содержания Zn), и также, как и другие ТМ, связываются растворенными органическими соединениями в комплексы, что обеспечивает детоксикацию воды.

Процессы, изменяющие массу и концентрацию веществ

Процессы, ведущие к обогащению водных масс водохранилищ растворимыми и взвешенными веществами, из-за повышения их концентрации (за исключением поглощаемого водой атмосферного O_2) обычно рассматриваются как самозагрязнение водоема. Особенно заметно ухудшение качества воды в первые годы существования водохранилищ, когда происходит *выщелачивание* грунтового комплекса ложа. Экспериментальные исследования (Зайдельман и др., 1978) показали, что затопление почв слабощелочной водой водохранилища сопровождается увеличением в них pH и понижением окислительно-восстановительного потенциала. Наибольшее его падение наблюдается в лугово-болотных почвах глубоководной части водоема. Здесь происходит значительное увеличение подвижных форм железа, марганца, минерального фосфора, аммиачного азота.

Наиболее сильно был выражен дефицит O_2 при формировании экосистем сибирских водохранилищ. Например, зимой 1968–1969 гг. в Вилюйском водохранилище, заполнение которого было начато в августе 1967 г., в подледном слое воды (толщина льда 1,4 м) крупней-

шего Чонского плеса содержание O_2 составляло всего 0,9–1,3 мг/л, а у дна 0,7–0,8 мг/л, но в приплотинном участке оно было близко к нормальному насыщению (Кириллов и др., 1973). Столь глубокий дефицит O_2 авторы объясняют не столько процессом разложения остатков растительного покрова, сколько окислением большого количества аммиака и закисного железа, экстрагируемых водой из затопленных болотистых почв. Экспериментальные исследования, выполненные для выяснения зависимости формирования гидрохимического режима Юмагузинского водохранилища (на р. Белая) от затопленной древесины, показали, что в первые 10–12 суток после затопления происходит наибольшая экстракция веществ (Абдрахманов др. 2009). Содержание O_2 снижается от 7,9 до 3,3 мг/л, CO_2 растет от 1 до 23 мг/л, увеличивается содержание ОВ: $БПК_5$ – от 3,6 до 8,4 мг O_2/л, а ХПК – от 16,1 до 52,8 мг О/л.

Эта первая стадия существования новой водной экосистемы завершается в течение 2–4 лет, а на водохранилищах, заполнявшихся многие годы (Вилюйское, Братское, Зейское), она была более продолжительна. Так гидролого-гидрохимическая съемка Зейского водохранилища, выполненная нами в сентябре 1987 г., на четвертый год его заполнения, показала, что глубже 28–30 м (при наибольшей глубине 60 м) содержание O_2 не превышало 0,2 мг/л, а цветность во всем объеме воды составляла 70–105° из-за заболоченности и залесенности водосбора и днища затопленной водоемом Зейской котловины. Но уже в 1989 г. концентрация O_2 в ОВМ этого водоема изменялось от 6,6 до 10,3 мг/л (Мордовин и др., 2006).

На Рыбинском водохранилище фитопланктонная и бактериальная *азотфиксация* дает около 20% массы N, находящейся в водоеме в азотосодержащих растворенных и взвешенных веществах (Кузнецов и др., 1977). В Иваньковском водохранилище азотофиксация фитопланктона и бактериобентоса составляет около 300 т N/год, или 2,5% приходной части баланса, в Угличском – около 200 т (1,2%) (Зиминова, Законнов, 1982). Этот процесс при избытке антропогенного фосфора способствует развитию сетного фитопланктона и летнему «цветению» водохранилищ.

Абразия берегов во время сравнительно непродолжительных штормов вносит в водохранилища 50–70% массы находящихся в них минеральных взвешенных веществ. Приблизительно половина их отлагается в аккумулятивной отмели, а остальная часть, состоящая из

мелкодисперсных фракций, выносится течениями в глубоководные участки, увеличивая там концентрацию взвеси. Это несколько повышает мутность воды и снижает «цветение» водохранилищ в последующие штилевые периоды. Кроме того, такая взвесь служит сорбентом растворенных ЗВ, приводя к их *соосаждению и захоронению* в донных отложениях. В этих процессах, ведущих к улучшению качества воды, по-видимому, роль абразии особенно значима в первоначальную стадию формирования экосистемы водохранилища для снижения на нее химической нагрузки, вызванной процессом выщелачивания. Но продолжительность формирования береговой зоны намного больше, чем эта стадия, поэтому абразию следует рассматривать как процесс не ухудшающий качество воды, а способствующий ее самоочищению. Однако возможны затруднения с очисткой воды от взвеси, если водозаборы размещены в зоне распространения насыщенных ею вод вдольберегового течения.

Вынос из донных отложений растворенных минеральных биогенных соединений, диоксида углерода, сероводорода, метана и других продуктов бактериального разложения ОВ (преимущественно детрита) и *десорбция соосажденных со взвесью* ЗВ, вследствие возникновения восстановительных условий при дефиците O_2 в гиполимнионе, обычно называют вторичным загрязнением. К нему относят и поступление со дна взвешенных веществ, взмучиваемых на открытых мелководьях во время штормов. Среди факторов, влияющих на миграцию соединений металлов из донных отложений, особое значение имеют дефицит O_2 в воде, низкое значение pH, что в наибольшей степени способствует миграции марганца и железа. Интенсивность поступления из донных отложений других металлов (Al, Cu, Zn, Cr, Pb) существенно возрастает при наличии в воде повышенного содержания комплексообразующих гумусовых ОВ, а также минеральных солей (Линник и др., 2009).

Однако негативная роль обоих процессов в ухудшении качества воды в условиях водохранилищ невелика (локальна и эпизодична) и многократно меньше, чем первичное антропогенное их загрязнение (Авакян и др., 1994). Главной причиной малого вторичного загрязнения водохранилищ является в целом благополучный их кислородный режим, так как в аэробных условиях выделения продуктов распада веществ из илов в воду не наблюдается ни при полевых исследованиях, ни в специально поставленных экспериментах.

Все процессы, ведущие к уменьшению в воде массы растворенных и взвешенных веществ (кроме O_2), гидроэкологами единодушно квалифицируются как ***самоочищение*** водной экосистемы. К главным биологическим процессам самоочищения поверхностных вод относятся: *биохимическое окисление* ОВ вплоть до их полной минерализации в обогащенной кислородом воде фотосинтезом водных растений и *биоседиментация взвесей* с захоронением ЗВ в донных отложениях. Степень проявления этих групп процессов существенно различна в разных районах водохранилищ и в слоях их водной толщи в зависимости от соотношения в них скорости продуцирования ОВ, характеризуемой величиной первичной продукции *P* растений (фотосинтетиков) и бактерий (хемосинтетиков), и скорости деструкции ОВ при дыхании всех водных организмов (величина *D*). Соотношение этих величин в водохранилищах крайне изменчиво и в пространстве, и в течение суток от сезона к сезону, и от года к году. На каждой вертикали в водоеме толща воды подразделяется на два гидроэкологических слоя – трофогенный, в котором среднесуточная величина $P>D$, и расположенный под ним трофолитический слой, где $P<D$. В зависимости от местоположения каждой вертикали и колебаний гидрометеорологических условий толщина этих слоев может изменяться в пределах от 0 до *H*, т.е. всей глубины. И все же, усредняя эти колебания в пределах вегетационного сезона или всего года, можно выделить в водохранилищах долинного типа две принципиально различные экологические области – трофогенную в мелководных верховьях, в которой $P>D$, и трофолитическую в более глубоких центральном и приплотинном районах, где $P<D$ вследствие существенно меньшего отношения здесь средних за год значений толщины фотического слоя (следовательно, и трофогенного, который примерно в 2–3 раза тоньше фотического слоя, поглощающего солнечный свет), и трофолитического. В Можайском водохранилище, например, толщина трофогенного слоя – в среднем 2–2,5 м, а трофолитического в приплотинном районе – до 20 м. В Братском водохранилище толщина фотического слоя варьирует летом от 2,5 до 8 м, следовательно, толщина трофолитического слоя в нем у плотины более 90 м (Паутова, Кращук, 1981).

Наиболее разнообразны и важны окислительные процессы разрушения ОВ до полной их минерализации. В них участвуют различные взаимодействующие группы водных бактерий, фито-, зоопланктона и бентоса. К окислительным процессам относится *бактериальная утилизация* сероводорода, метана, летучих продуктов разложения

ОВ, придающих воде неприятные привкусы и запахи, а также *биохимические процессы трансформации азотосодержащих минеральных соединений*, осуществляемые последовательно несколькими группами бактерий-нитрификаторов и завершающиеся *денитрификацией* и удалением из воды в атмосферу азота в молекулярной форме.

Исследования последних десятилетий показали, что удаление ОВ и фосфора из водной массы происходит в основном в результате *биоседиментации*, превосходящей по масштабам физическую седиментацию. Так, по оценке М.И. Сахаровой, поток фосфора в составе пеллет в вегетационный сезон достигает в Можайском водохранилище 7 мг Р/(м^2·сут), в телах копеподитов циклопов, опускающихся на дно в конце мая или начале июня, – до 5 мг Р/(м^2·сут), т.е. интенсивность биоседиментации фосфора того же порядка, что и его диффузии в воду из донных отложений (Моделирование.., 1995).

По оценке А.П. Садчикова (1997), среди детрита в водной толще Можайского водохранилища преобладают мелкие, преимущественно фитопланктонного происхождения частицы размером <10 мкм – 52–56% общего количества детрита, 10–50 мкм – 42–55% и >50 мкм – 1–3%, а число частиц составляет десятки тысяч в 1 мл пробы воды. На их поверхности, в 8–10 раз превышающей объем частиц, сорбируется до 14% выделяемого клетками фитопланктона растворенного органического вещества (РОВ), окисление которого микроорганизмами происходит преимущественно на верхней границе слоя скачка плотности воды, где накапливаются парящие в воде и постепенно оседающие со средней скоростью около 1 м/сут частицы детрита.

Помимо органических взвесей, в качестве сорбентов растворенных форм фосфора и тяжелых металлов важную роль играют труднорастворимые гидроокиси железа и марганца, т.е. хемогенная взвесь. Выполненное Н.Н. Виноградовой микроскопическое изучение взвеси в центральном районе Можайского водохранилища показало, что 70% частиц имеет размер 3–10 мкм и только 5% – <0,9 мкм. Среди них летом и осенью преобладают гидраты железа (30–70%), глинистые частицы (5–30%), гуматы железа (20–40%), а детрит с бактериями (меньшего удельного веса) – 5–20% массы всех взвесей (Водохранилища.., 1985). Эксперименты и расчеты показали, что образование гидрооксида железа в слоях воды с высоким содержанием O_2 и сорбция на нем фосфорсодержащих соединений, а затем их соосаждение могут приводить к понижению концентрации фосфора в воде на 5–10% и достигать 30–40% в периоды максимального накопления железа в

гиполимнионе Можайского водохранилища (Моделирование.., 1995). Самоочищение водохранилищ путем окисления веществ, осевших на дно, продолжается в донных отложениях до тех пор, пока расход O_2 в этом процессе не исчерпает его запас в придонном слое воды.

Количественные показатели самоочищения воды в водохранилищах

При количественных оценках уменьшения в водохранилищах массы растворенных и взвешенных веществ используют два подхода: 1) сравнение характеристик стока до гидротехнического преобразования реки и в период эксплуатации уже созданных водохранилищ; 2) сопоставление приходных и расходных статей водного, химического и седиментационного балансов водохранилища по возможности в годы разной водности.

Первый способ при наличии регулярных гидрологогидрохимических наблюдений на гидрометрической сети наименее трудоемок и нагляден, однако имеются две причины недостаточной его корректности. Во-первых, концентрация и масса растворенных и взвешенных веществ в речном стоке очень сильно зависят от его генетической структуры в отдельные фазы гидрологического режима. Поэтому даже приблизительное равенство средних величин годового водного стока реки в сравниваемые многолетние периоды не гарантирует совпадение величин стока растворенных и взвешенных веществ за эти два многолетия даже в реках с естественным гидроэкологическим состоянием. Во-вторых, таких рек практически не осталось на Земле, поскольку во всех речных системах, как подвергшихся гидротехнической реконструкции, так и не затронутых еще ею, в XX в. наблюдалось прямое и разнообразное косвенное антропогенное влияние на формирование стока растворенных и взвешенных веществ. Поэтому сравнительный способ оценки изменения их стока не дает возможности разграничить влияние на него водохранилищ и всех прочих антропогенных воздействий, в том числе и быстрого роста химической нагрузки на природную среду в обжитых районах, где и расположено большинство водохранилищ.

Второй способ оценки весьма трудоемок из-за необходимости тщательного расчета всех составляющих вещественного баланса экосистемы водоема, чего можно достигнуть лишь учащенными в пространстве и во времени комплексными наблюдениями в течение го-

дичного гидрологического цикла. Это особенно важно на водохранилищах, которым, в отличие от других водоемов, присуща сильная внутригодовая изменчивость объема воды и массы растворенных и взвешенных в ней веществ. Поэтому такие исследования проведены пока лишь на немногих, наиболее детально гидроэкологически изученных водохранилищах, но именно они и позволяют понять закономерности трансформации речного стока и качества воды, вызванные только его регулированием при помощи водохранилищ в условиях изменяющейся антропогенной нагрузки на природную среду.

Балансовый принцип был положен в основу двух годичных циклов (1968–1969 и 1983–1984 гидрологические годы) комплексных исследований Можайского водохранилища на р. Москве с целью получить количественную оценку трансформации речного стока (Можайское.., 1979, Моделирование.., 1995). Это слабопроточное водохранилище – особенно благоприятный объект для выявления изменений в речном стоке, возникающих при его многолетнем регулировании водохранилищем. Повышенной точности балансовых расчетов способствовал весьма полный гидрометрический контроль притока воды (с 91% площади водосбора).

Особенность этих исследований состояла в учащенном отборе проб воды для анализа ее химического состава в гидрометрических створах на трех основных притоках и в нижнем бьефе Можайского гидроузла – в половодье ежедневно, в межень – еженедельно. В 1983–1984 гг., кроме того, по несколько отборов проб выполнено в дождевые паводки. В 1968–1969 гг. отобрано более 250 проб речной воды, в 1983–1984 гг. – более 480. На водохранилище площадью 31 км^2 при НПУ проводились гидролого-гидрохимические съемки по сетке станций, число которых при сработке полезного объема сокращалось от 60–65 до 10–12 к концу зимы при уровне на 6–7 м ниже НПУ.

Лабораторный анализ проб воды включал определение концентрации всех основных ионов солевого состава (калия – K и натрия – Na – раздельно, методом пламенной фотометрии), показателей растворенного органического вещества (цветность, БО, ПО), содержания взвеси и ее органической компоненты (методом прокаливания). Во второй цикл исследований, в связи с появившимися явными биологическими признаками эвтрофирования Можайского водохранилища, программа была несколько изменена – из компонентов солевого состава измерялась только концентрация K и Na, вместо концентрации взвесей введено определение биомассы планктонных и бен-

Таблица 3. Изменение характеристик речного стока Можайским водохранилищем в 1968–1969 гг. (вода в млн. м^3/год, масса других веществ в тыс. т/год)

Компонент стока	Приток	Сток	Изменение стока	
			по абс. величине	в % к притоку
Вода	260	273	13	5
Σи	45,7	51,1	5,4	12
HCO_3	30,3	34,3	4,0	13
SO_4	2,00	2,70	0,70	35
Cl	1,32	1,30	–0,02	–2
Ca	8,28	8,91	0,63	8
Mg	2,16	2,25	0,09	4
Na	0,957	0,960	–0,003	–1
K	0,691	0,662	–0,029	–4
РОВ (по БО)	4,19	3,50	–0,69	–17
ВОВ	2,85	0,85	–2,00	–70
ВВ	22,3	2,2	–20,1	–90

тосных организмов и добавлено определение минеральных и органических форм азота и фосфора в нефильтрованной воде. Вероятная погрешность оценки средней величины концентрации веществ в воде не превышала ошибки их аналитического определения. О высокой надежности исходной информации и расчетов свидетельствуют и значения невязок в балансе отдельных ионов и их суммы (для Σи – 2%; HCO_3, Ca, Mg, Cl – 3–5%; Na, K – 7–8%; SO_4 – 24%). Возможно, большая невязка баланса сульфат-иона связана не столько с пониженной точностью его аналитического определения, сколько с деструкцией автохтонного ОВ и выноса окисленных соединений серы из донных отложений в водную толщу во время весенней и осенней конвективной циркуляции. Невязка седиментационного баланса составила 18% (Можайское.., 1979).

Сопоставление полученных в расчетах составляющих баланса воды и других веществ на «входе» в водохранилище и на «выходе» из него (табл. 3) показывает, что за счет межгодового перераспределения водного стока сброс воды из водохранилища на 5% превышал ее приток с водосбора. Того же порядка получено превышение ионного стока над его притоком. В отличие от солевого состава воды сток взвешенных веществ (ВВ), растворенных и взвешенных органических ве-

Таблица 4. Баланс химических веществ в Рыбинском водохранилище за 1980 г. (Разгулин и др. 1982)

Компонент стока	Приход с водосбора		Расход через гидроузел		Изменение запаса в воде		Невязка	
	тыс. т/год	%	тыс. т/год	%	тыс. т/год	%	тыс. т/год	%
Σи	6448	99	5282	99	576	10	522	8,1
TN	48,3	98	42,33	88	6,07	13	0,33	0,6
TP	4,89	98	4,39	96	0,19	4	0,31	6,2
TFe*	134,5	100	141,3	100	2,7	2	6,8	4,8

* По балансу общего железа за 1981–1982 гг.

ществ (РОВ и ВОВ) не увеличился, а, наоборот, заметно уменьшился по сравнению с их притоком в водоем.

Наиболее велика нагрузка на водохранилище минеральными биогенными веществами в фазу его весеннего наполнения, а притекающая масса ОВ зависит от внутригодовой структуры водного стока. В годы с большим половодьем весной поступает 2/3 массы ОВ, тогда как в 1983–1984 гг. с дождливым летом эта доля весной была вдвое меньше. Рассчитанные по данным этого года значения коэффициента удержания основных биогенных веществ (общего азота и общего фосфора) оказались значительными – R_{TN} = 29% и R_{TP} = 58. Минерализация и жесткость воды большую часть года в р. Москве стали вдвое меньше, чем в меженной речной водной массе выше водохранилища, что немаловажно при использовании воды в коммунальном теплоснабжении и в других отраслях городского хозяйства и промышленности Москвы.

Подобные балансовые исследования были проведены на Рыбинском водохранилище в 1980–1982 гг. с учащенным отбором проб воды на притоках в половодье, в нижних бьефах Угличского, Шекснинского и Рыбинского гидроузлов и в 7–8 гидрохимических съемках водоема (табл. 4). Небольшие величины невязки баланса веществ свидетельствуют о достаточной точности расчета его составляющих и надежности количественной оценки трансформации стока биогенных веществ в водохранилище.

Показателем самоочищения экосистем от химической нагрузки служат среднемноголетние значения коэффициента удержания (или самоочищения) R органического вещества, общего азота TN и общего фосфора TP. Этот коэффициент получают при сопоставлении составляющих водного и химического балансов водохранилищ: $R = (M_V – M_Y)/M_V$ (M_V – масса вещества, поступившего в водоем, M_Y – масса того же веще-

Таблица 5. Коэффициенты самоочищения воды от органических и биогенных веществ в водохранилищах с различным коэффициентом водообмена

Водохранилища	$K_в$, год$^{-1}$	$R_{ОВ}$, %	R_{TN}, %	R_{TN}, %
Рыбинское	1,4	40	34	47
Можайское	1,8	40 ($R_{РОВ}$=17; $R_{ВОВ}$=70)	29	58
Куйбышевское	4,2	22	10	13

ства, ушедшая со стоком из него за расчетный период). В Можайском водохранилище этот коэффициент для растворенного органического вещества $R_{РОВ}$ = 17%, для взвешенного $R_{ВОВ}$ = 70%, а для всей массы взвешенных веществ $R_{ВВ}$ = 90%. Если принять, что значение БО численно равно содержанию в воде растворенных органических веществ, то значение $R_{ОВ}$ = 38%. Сходное значение $R_{ОВ}$ = 41% получено и для биохимически трудноокисляемых органических соединений, характеризуемых значениями ПО. Расчеты показывают важную роль водохранилищной экосистемы в поглощении притекающих органических веществ, которые минерализуется организмами планктона и бентоса и частично накапливаются в донных илах, однако доля ОВ в них не превышает 7% (Можайское.., 1979).

Удержание биогенных элементов Рыбинским водохранилищем (Рыбинское.., 1972) сходно с Можайским (табл. 5). Для Рыбинского водохранилища значение R_{Fe} = 48%, что в большой степени характеризует интенсивность самоочищения его воды от тяжелых металлов (Гапеева, Цельмович, 1993).

Для Куйбышевского водохранилища, водообмен которого втрое больше, средние значения коэффициентов удержания, подсчитанные за период 1966–1968 гг. (Гусева,1972), в 2–3,5 раза меньше – R_{TN} = 10%, R_{TP} = 13%, R_{Fe} = 25%, а $R_{ОВ}$ = 22% (Куйбышевское.., 1983). Еще меньше они для проточного Угличского водохранилища – R_{TP} = 3,5%, (Зиминова, Законнов, 1982). В Горьковском водохранилище в многоводный 2004 г. с наибольшим водообменом R_{TP} = 46%, в Чебоксарском – 11%, а в маловодный 2002 г. – 59% и 24% соответственно (Кочеткова, 2009). Зависимость удержания ОВ от проточности очевидна и по результатам расчета его баланса на основе наблюдений за притоком и стоком воды и ее бихроматной окисляемостью в Братском водохранилище в годы разной водности (Братское.., 1978): в маловодный 1972 г. значение $R_{БО}$ – 63%, в средневодный 1971 г. – 36%, в многоводный 1973 г. – 13%.

Сопоставление средних годовых значений P и D для волжских водохранилищ выполнено в 1970-х гг. В.И. Романенко (1984) с учетом

Таблица 6. Оценка средней ежегодной первичной продукции и деструкции органического вещества в водохранилищах

Водохранилища	*P*		*D*		$D_{АОВ} = D - P$, тыс. т
	тыс. т	г/м²	тыс. т	г/м²	
Иваньковское	148	452	104	320	–
Угличское	68	270	72	288	4
Рыбинское	728	160	1174	258	446
Горьковское	366	230	588	370	222
Чебоксарское	428	396	518	480	90
Куйбышевское	1100	200	2360	440	1260
Саратовское	376	202	750	402	374
Волгоградское	754	242	1254	402	500
Воронежское (1979 г.)	66	943	92	1314	26
Иркутское (1963 г.)	35	230	39	253	4
Можайское (1984 г.)	32	1083	34	1127	2
Усть-Илимское (1980 г.)	460	294	1400	832	940

роли в этих процессах фитопланктона, макрофитов, бактерио- и зоопланктона, а для Иркутского, Усть-Илимского, Воронежского и Можайского с учетом только планктона, а для средневодного 1984 г. с учетом, кроме того, и зообентоса. Результаты расчетов, преобразованные из кислородных, углеродных и энергетических единиц в эквивалентную им массу ОВ (1 г ОВ ≈ 1,33 г O_2 ≈ 0,5 г $C_{орг}$ ≈ 4,68 ккал), сведены в табл. 6, где массы ОВ для Чебоксарского водохранилища пересчитаны на современную его площадь, равную 1080 км².

Несмотря на не полностью учтенную деструкцию ОВ в донных биоценозах, количественные оценки биохимических процессов, как и химические балансы, убедительно показывают, что в зарегулированных водохранилищами реках значительно снижается содержание органических веществ. Так, волжская вода в водохранилищах Волжско-Камского каскада ежегодно очищается от ≈3 млн. т аллохтонных ОВ (АОВ), минерализуемых биотой. В трех крупнейших его водохранилищах с наибольшим трофолитическим слоем – Куйбышевском, Волгоградском и Рыбинском – ежегодно разрушается масса ОВ в среднем в 1,5–2,0 раза большая, чем продуцируется экосистемой. По-видимому, полученное для Иваньковского водохранилища соотношение $P>D$ объясняется не только заниженной, по мнению В.И. Романенко (1984), величиной *D*, но и накоплени-

ем трудно окисляемых ОВ в образующихся там биогенных участках берега.

В наиболее эвтрофирующихся среди волжских водохранилищ – Иваньковском и Чебоксарском – среднегодовая скорость продуцирования ОВ (400–450 г/м^2) вдвое выше, чем в остальных водоемах каскада, что ведет к снижению в них самоочищения воды. На эти неглубокие и наиболее проточные водоемы биогенная нагрузка, видимо, столь велика, что растущая из-за нее продукция ОВ приближается к пределу способности экосистемы минерализовать всю массу аллохтонных и автохтонных веществ за сравнительно короткое время их пребывания в этих водоемах. А Рыбинское и Куйбышевское водохранилища – главные регуляторы стока Волги – в результате «цветения» не только не увеличивают в ней массу ОВ, а, наоборот, снижают ее благодаря его деструкции сообществом водных организмов и накоплению в донных отложениях. Даже в сильно проточном Нарвском водохранилище величины *P* и *D*, по данным за август 2004 г. (Силина и др., 2006), равны соответственно 0,16–0,37 и 0,7–0,8 г O_2/(м^3·сут), т.е деструкция летом в 4 раза превосходила первичное продуцирование, коэффициент самоочищения $R_{ОВ} = 0{,}29$.

На долю Волжского бассейна приходится более трети общего сброса сточных вод России. Несмотря на обеспеченность производств очистными сооружениями, в водные объекты поступает большое количество ЗВ (Коскин и др., 2006; Шагидуллин и др., 2009). Расчетами показано, что при химической нагрузке волжской экосистемы (какой эта нагрузка была в 1988–1990 гг.), не будь Волга с Камой Волжско-Камским каскадом, в зимнюю межень маловодных лет камская вода у Сокольих гор и волжская у Волгограда была бы полностью лишенной O_2 (как в маловодные зимы 1939 и 1940 гг. от Горького до Саратова или в зимы 1955–1957 гг. от Казани до Волгограда) (Эдельштейн, 1998). Но благодаря созданным в водохранилищах водным и биологическим ресурсам зимние заморы на Волге прекратились. В последнее десятилетие содержание ЗВ в ее воде снизилось до предельно-допустимых концентраций, за исключением 3–5-кратного превышения ПДК нефтепродуктами и соединениями меди в Рыбинском, Горьковском, Куйбышевском и фенолами в Саратовском водохранилищах (Коскин и др., 2006). Так что Волжско-Камский каскад водохранилищ не губит, а наоборот, предотвращает деградацию экосистемы Волги, включая ее рыбопродуктивные низовья и дельту.

Литература

1. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Гидрохимия Юмагузинского водохранилища на Южном Урале // Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России. Ч. 1. Ростов-на-Дону, 2009. С. 11–14.
2. *Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Майрановский Ф.Г.* Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. №2. С. 144–153.
3. Братское водохранилище. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 164 с.
4. ВОДА РОССИИ: Водохранилища. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 700 с.
5. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
6. Водохранилища Москворецкой водной системы. М.: Изд-во МГУ, 1985. 266 с.
7. *Выхристюк Л.А., Варламова О.Е.* Донные отложения в экосистеме Куйбышевского водохранилища. Самара, 2003. 174 с.
8. *Гапеева М.В., Цельмович О.Л.* Геохимия тяжелых металлов в Рыбинском и Куйбышевском водохранилищах // Тр. ИБВВ, вып. 63(66). СПб: Гидрометеоиздат, 1993. С. 205–224.
9. *Гусева Н.Н.* Элементы баланса биогенных веществ в Куйбышевском водохранилище // Тр. ИБВВ, вып. 23(26). Л.: Наука, 1972. С. 80–89.
10. *Зайдельман Ф.Р., Гаджиев Я.М., Рожкова Л.С.* Опыт моделирования процессов взаимодействия затопленных почв с водами водохранилища // Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 4. М.: Изд. МГУ, 1978. С. 127–136.
11. *Законнова А.В., Литвинов А.С.* Многолетняя изменчивость гидрохимических характеристик вод главного плеса Рыбинского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2005. С. 93–97.
12. *Зиминова Н.А., Законнов В.В.* Балансы биогенных элементов в Иваньковском, Угличском водохранилищах // Тр. ИБВВ, вып. 43. Л.: Наука, 1982. С. 239–256.
13. *Карнаухова Г.А.* Гидрохимия Ангары и водохранилищ Ангарского каскада ГЭС // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. №1. С. 72–80.
14. *Карнаухова Г.А., Александрова Н.Ю., Ломоносов И.С., Арсентьева А.Г.* Микроэлементы в воде Братского водохранилища // География и природные ресурсы. 1996. №1. С. 50–55.

15. *Кириллов Ф.Н., Лабутина Т.М., Соколова В.А., Огай Р.И., Замащикова О.Д.* Первый этап формирования гидрохимического и гидробиологического режимов Вилюйского водохранилища // Материалы по экологии и численности животных Якутии. Якутск, 1973. С. 100–110.
16. *Коскин С.С., Моисеенко Т.И., Никаноров А.М., Шелутко В.А.* Экологическое состояние водных объектов; охрана пресных вод от загрязнений и истощения // Экологическое состояние водных объектов. Качество вод и научные основы их охраны. Ч. 2. М.: Метеоагенство Росгидромета, 2006. С. 8–65.
17. *Кочеткова М.Ю.* Особенности формирования и трансформации качества воды Горьковского и Чебоксарского водохранилищ. Дис. на соиск. уч. ст. к.г.н. М., 2009. 120 с.
18. Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 214 с.
19. *Кузнецов С.И., Романенко В.И., Кузнецова Н.С., Саралов А.И.* Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества и фиксация молекулярного азота в Рыбинском водохранилище в 1973 г. // Тр. ИБВВ, вып. 36(39). Борок, 1977. С. 131–149.
20. *Линник П.Н., Жежеря В.А., Линник Р.П., Запорожец О.А.* Роль гумусовых веществ в миграции алюминия в поверхностных водах // Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России. Ч. 1. Ростов-на-Дону, 2009. С. 120–123.
21. *Лурье П.М., Панов В.Д., Саломатин А.М.* Река Маныч // Гидрография и сток. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 160 с.
22. Моделирование режима фосфора в долинном водохранилище. М.: Изд. МГУ, 1995. 80 с.
23. Можайское водохранилище. М: Изд. МГУ, 1979. 400 с.
24. *Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л.* Река Бурея. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. 149 с.
25. *Паутова В.Н., Кращук Л.С.* Первичная продукция и ассимиляционная активность фитопланктона в Братском водохранилище // Тез. докл. V Всесоюзного лимнологического совещания, вып. 1. Иркутск, 1981. С. 106–108.
26. *Разгулин С.М., Гапеева М.В., Литвинов А.С.* Баланс биогенных элементов и ионов в Рыбинском водохранилище в 1980 г. // Гидрохимические исследования Волжских водохранилищ. Рыбинск, 1982, с.81–91.
27. *Романенко В.И.* Первичная продукция органического вещества в процессе фотосинтеза в каскаде волжских водохранилищ // Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 48–60.

28. Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972. 364 с.
29. *Садчиков А.П.* Продуцирование и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона (на примере водоемов Подмосковья). Дисс. на соиск. уч. ст. д.б.н. М.: МГУ, 1997. 591 с.
30. *Силина Н.И., Седова А.А., Ланге Е.К., Куличенко Я.Ю.* Современное экологическое состояние Нарвского водохранилища // Экологическое состояние водных объектов. Качество вод и научные основы их охраны. Ч. 2. М.: Метеоагенство Росгидромета, 2006. С. 161–166.
31. *Сороковикова Л.М.* Формирование гидрохимического режима Курейского водохранилища в первые годы наполнения // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. №6. С. 662–666.
32. *Сороковикова Л.М., Башенхаева Н.В.* Евтрофирование и качество воды Енисея // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. №4. С. 498–503.
33. *Шагидуллин Р.Р., Минакова Е.А., Яковлева О.Г. и др.* Основные этапы и факторы формирования качества воды Куйбышевского водохранилища в условиях интенсивной водохозяйственной деятельности // Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России. Ч. 1. Ростов-на-Дону, 2009. С. 258–262.
34. *Шестеркин В.П.* Формирование химического состава воды Бурейского водохранилища в первые годы эксплуатации // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов, т. 1. Пермь: ПГУ. 2009. С. 323–327.
35. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: Экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
36. *Эдельштейн К.К.* Преобразованные речные системы России // Проблемы гидрологии и гидроэкологии, вып 1. М.: Изд. МГУ, 1999. С. 188–202.

M.B. Zaslavskaya, M.G. Ershova, K.K. Edelstein

THE ROLE OF RESERVOIRS IN THE CHEMICAL TRANSFORMATION OF THE RIVER WATERS IN RUSSIA

Hydrophysical, hydrochemical and biological processes of the river water transformation in reservoirs are examined. These processes lead to a change in substance concentration with its constant mass in entire aqueous volume, or produce a change in the mass of substance in the water and thus change its concentration. The ecologically satisfactory state of reservoirs is ensured by the harmonious development of the association of the aqueous organisms of all trophic levels leading to water quality improvement in the flow regulated river ecosystem and to its stably high fish productivity.

Л.К. Малик

ГЕОГРАФО-ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ СОЗДАНИЯ КРУПНЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА СЕВЕРЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Характеризуются возможные негативные последствия крупных равнинных гидроузлов на приустьевых участках сибирских рек (Оби, Енисея и Лены), проектировавшихся в конце прошлого века. Наиболее подробно анализируется влияние на окружающую природную среду и человека Туруханской ГЭС, проект которой вновь рекомендуется в качестве стратегического энергетического резерва, однако недостаточно проработан с эколого-экономических позиций.

Гидроэнергетика играет существенную роль в энергобалансе Российской Федерации. Гидроузлы являются не только крупнейшими производителями электроэнергии, но и осуществляют управление водными ресурсами во времени и по территории с целью обеспечения водой многих секторов экономики.

Россия обладает большими потенциальными запасами гидроэнергии, составляющими около 9% мировых запасов. По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами страна занимает второе, после Китая, место в мире, опережая США, Бразилию и Канаду. 83% гидропотенциала Российской Федерации – это потенциал крупных рек. Валовый (теоретический) потенциал достигает 2400 млрд. кВт.·ч., технически достигнутый уровень использования потенциала оценивается в 70%, и экономический потенциал, учитывающий условия хозяйственного освоения территории, экономическую эффективность, экологический фактор и т.д., составляет 35%. Основная часть гидропотенциала сосредоточена в ее восточных районах, из них в Восточной Сибири – более 40%, на Дальнем Востоке – около 35%.

Степень освоенности экономического гидропотенциала составляет около 20%, это один из самых низких уровней использования гидроэнергетических ресурсов среди развитых и даже развивающихся стран. Наибольшая освоенность экономического потенциала в Европейской части страны (около 50%), где неиспользуемые пока гидроэнергетические ресурсы сосредоточены преимущественно на Севере и в ряде районов Северного Кавказа. В Сибири

с наибольшими гидроэнергоресурсами освоенность гидропотенциала составляет всего 20%, а на Дальнем Востоке снижается до 5%.

Основная часть гидропотенциала (86%) приходится на пять речных бассейнов – Енисейский – 34%, Ленский – 27%, Обский – 11%, Амурский – 7% и Волжский – 7% (Асарин и др., 2007).

Исследования гидроэнергетического потенциала России, предпринятые в Институте водных проблем РАН и Гидропроекте (Асарин, Данилов-Данильян, 2006), свидетельствуют о необходимости уточнения экономического потенциала, установленного еще в 1967 году. Это связано с воздействием целого ряда факторов, среди которых указанные авторы выделяют главные: удорожание строительства гидроэнергетических объектов, экологические ограничения, недостаточный учет природных ресурсов и возможностей их использования на затапливаемых при создании водохранилищ ГЭС территориях, изменение экономической конъюнктуры и системы рыночных оценок. Однако учет этих факторов и соответствующие уточнения экономического потенциала требуют специальных разработок, основанных на использовании солидной информационной базы.

Предварительные экспертные оценки показали преувеличение экономического потенциала для всех бассейнов рек в условиях 2005 года по сравнению с 1967-м. В целом для России экономический потенциал составил соответственно 333 млрд. кВт·ч. против 852 установленных ранее. Особенно сильно преувеличен экономический потенциал в бассейне Лены – 35 млрд. кВт·ч. по-новому против 235 млрд. кВт·ч. по данным 1967 года, в бассейне Енисея соответственно 180 и 288 млрд. кВт·ч.

На территории России и стран СНГ эксплуатируются более 300 тыс. водохранилищ, около 60 из них крупные с объемами более 1км^3. Топливно-энергетический комплекс располагает 350 гидротехническими сооружениями, среди них 100 ГЭС с наиболее крупными водохранилищами.

На уровне 2006 года российские ГЭС выработали 170 млрд. кВт·ч. электроэнергии и доля их выработки в общем энергобалансе составила 20% при общей мощности всех электростанций 46 тыс. мВт.

Основная часть ныне функционирующих ГЭС была введена в эксплуатацию с середины 50-х до конца 80-х гг. прошлого столетия – в период, называемый «золотым веком» отечественной гидроэнергетики.

Благодаря достигнутым в этот период показателям энергоэффективности ГЭС Россия заняла одно из лидирующих мест в мире по производству гидроэнергии. На основе построенных мощных гидроэлектростанций были созданы территориально-промышленные комплексы – Нижнекамский, Красноярский, Братско-Усть-Илимский, Саянский, обустроены в транспортном отношении реки.

Наряду с положительными эффектами от создания подпорных сооружений плотины и водохранилища стали мощным фактором воздействия на природную среду и человека. Этим вопросам, в значительной мере дискуссионным, посвящены исследования многих специалистов и обширные публикации, в том числе автора статьи (Малик, 1990, 2001, 2005 и др.). Здесь отметим лишь, что опыт проектирования и эксплуатации гидроэлектростанций и изучение их создания за рубежом и у нас в стране свидетельствует о том, что наибольшие отрицательные последствия для природы и хозяйства связаны со сверхкрупными и крупными равнинными водохранилищами, особенно расположенными в приустьевых районах рек.

Один из главных неблагоприятных факторов создания таких водохранилищ – значительные площади затоплений, переселение жителей и негативное воздействие на окружающую природную среду при часто недостаточной изученности природных ресурсов затапливаемых территорий. Изучение этих вопросов потребовало привлечения большого количества материалов.[1]

В Российской Федерации к сверхкрупным ГЭС, проекты которых начали разрабатываться более 40 лет тому назад, относятся приустьевые ГЭС-гиганты: Нижнеобская, Нижнеленская, Игарская и Туруханская. И если проекты ГЭС на Оби и в самых низовьях Лены и Енисея окончательно сняты с повестки дня, то Туруханский гидроузел на Нижней Тунгуске по-прежнему фигурирует в планах гидростроителей в качестве стратегического резерва гидроэнергии, но с новым названием – Эвенкийская ГЭС.

[1] В статье, кроме опубликованных работ, использованы ведомственные материалы различных организаций в Москве, Санкт-Петербурге, Красноярске, Новосибирске, Енисейске, а также результаты обследования автором ряда водохранилищ в период их заполнения и эксплуатации в составе полевых отрядов Института географии РАН и сибирских организаций. Использованы также экспертные заключения автора – участника государственных экологических экспертиз в Госплане РСФСР по «Схеме использования водных и земельных ресурсов бассейнов рек Оби и Иртыша» и ТЭО строительства Туруханской ГЭС (1988 г.).

Российский национальный комитет в Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ) поддержал предложение энергетиков о создании Туруханской ГЭС и необходимости принятия решения по этому поводу на правительственном уровне. Предложение рассматривалось и было одобрено на заседании 68 Исполкома и в резолюции 20-го Конгресса СИГБ в 2001 году (Семенов, 2001).

Впервые проблемы сверхкрупных ГЭС начали обсуждаться при проектировании Нижнеобской ГЭС (Малик, 1990). Водохранилище этой ГЭС при НПУ = 30 м протянулось бы от створа у г. Салехарда вверх по Оби на 1200 км, а с учетом всех заливов по притокам (Иртышу, Конде, Северной Сосьве и др.) его протяженность достигла бы 2000 км при общей длине береговой линии около 5 тыс. км. По существу, в случае создания Нижнеобской ГЭС, появилось бы продолжение Обской губы, простирающееся далеко на юг (примерно до 61° с.ш. по Оби и до 59° с.ш. по Иртышу). Полный объем водохранилища составил бы 650 км^3, что в 1,5 раза больше годового стока Оби. Общая площадь территории, которая была бы подвержена его влиянию, могла достичь 80% его акватории, составляющей около 53 тыс. км^2.

Расположенное в наиболее пониженной части сильно заболоченной Западно-Сибирской равнины водохранилище Нижнеобской ГЭС вызвало бы не только большие затопления, но и подтопления, размеры которых проектирующая организация оценила в 1–2 тыс. км^2. Но многочисленная группа ученых небезосновательно считала, что подтопление земель будет распространяться на более значительные площади, в десятки и даже сотни раз превышающие указанную величину.

Громадное водохранилище с постоянными подпорами по притокам стимулировало бы интенсификацию процессов заболачивания и без того активно протекающих на территории равнины и сделало бы невозможным в перспективе ее водохозяйственное благоустройство.

Существенные изменения микроклимата, возможное влияние на расположение сибирского антициклона и тем самым на глобальные изменения климата, осложнение ледовой обстановки в нижнем бьефе ГЭС, негативное влияние на продолжительность безледоставного периода прилегающих северных морей и другие неблагоприятные воздействия Нижнеобской ГЭС, многие из которых не могли быть спрогнозированы с достаточной точностью, а также ухудшение условий освоения территории (особенно месторож-

дений нефти и газа) вызвали широкий протест научной общественности, поддержанный журналистскими и писательскими кругами, и привели к отказу от ее создания.

Кроме Нижнеобской обсуждались проекты Нижнеленской, Игарской и особенно Эвенкийской ГЭС.

Водохранилища указанных ГЭС отличаются небольшими напорами, очень значительными площадями затоплений и небольшими полезными объемами (кроме Эвенкийской). Так, полезный объем Игарского водохранилища при НПУ = 128 м проектировался всего в 4,5 км^3 при общем объеме зарегулированных вод около 97 км^3, а Эвенкийского при НПУ = 140 м соответственно 60,6 и 87,4 км^3. Влияние этих гидроузлов на среду и условия жизни населения трудно предсказать, т.к. у них нет аналогов в мировой практике гидротехнического строительства.

Водохранилища названных ГЭС затопили бы в случае их создания районы Сибири с еще неразведанными и не выявленными полностью запасами полезных ископаемых. Создание этих ГЭС порождает ряд острых социальных вопросов, в т.ч. связанных с необходимостью переселения малочисленных народов Севера и лишением их традиционных видов ведения хозяйства. Так, Нижнеленское водохранилище затопило бы более четверти фонда сельскохозяйственных угодий Якутии, потребовало бы переноса частично или полностью более 200 населенных пунктов. В случае создания Эвенкийского водохранилища под воду могли уйти оленьи пастбища, площадь которых, по самым скромным подсчетам, составит 1440 км^2.

В зону затопления попадают также громадные массивы лесов, правда не такого высокого качества и бонитета, как в районе южных водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада, но довольно значительных по площади. Леса в ложе предполагавшегося Нижнеленского водохранилища заняли бы около 20 тыс. км^2 при НПУ = 60 м, а Эвенкийского (при сниженной после экспертизы в Госплане РСФСР отметке НПУ до 140 м) – около 2 тыс. км^2. Напомним, что проектирующая организация взяла на себя обязательство по лесосводке всех проектируемых к тому времени и строящихся водохранилищ. К сожалению, оценка этих лесов производилась исходя из существовавших цен на лес и не учитывала возможных конъюнктурных изменений на мировом рынке.

Создание водохранилищ-гигантов в устьевых зонах равнинных рек в зонах тайги и лесотундры вызвало бы устойчивый подпор грун-

товых вод и формирование обширных зон подтопления, способствующих заболачиванию земель. Причем, наличие многолетнемерзлых пород, являющихся водоупором, способствовало бы активизации этих процессов так же, как и изменениям микроклимата. Изучая последствия создания наиболее крупного Нижнеленского водохранилища, климатологи отмечают, что, на первый взгляд, увеличение влажности воздуха, которое оно вызовет, должно быть благоприятно для засушливых районов Центральной Якутии. Однако совокупное влияние роста влажности воздуха и количества осадков, уменьшение температуры воздуха и испарения с поверхности почв создадут условия для интенсивного насыщения влагой слоя сезонного протаивания и постепенного заболачивания в районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП).

Кроме гигантских затоплений и подтоплений, обширные водохранилища окажут большое влияние на ледотермические условия нижних участков крупных рек и климат прилегающих территорий, возможно, вызовут климатический скачок с последствиями не регионального, а гораздо большего масштаба. Высказывались опасения (В.С. Антонов, С.Л. Вендров, В.С. Мезенцев и др.), что в случае осуществления их строительства Северный Ледовитый океан как бы приблизится к средним широтам Сибири. Действительно, распространение подпора от крупнейших ГЭС почти до среднего течения рек Енисея, Лены и Нижней Тунгуски создаст как бы гигантские заливы северных морей с сильным воздействием на климат прилегающих территорий. В нижних бьефах гидроузлов увеличатся колебания уровней, обусловленные проникновением в реки приливных и сгонно-нагонных явлений.

Водохранилища рассматриваемых ГЭС, без сомнения, могут повлиять на режим и, возможно, условия навигации устьевых участков рек и наших северных морей в связи с уменьшением теплового стока и увеличением мощности льда в дельтах и на взморьях, что неизбежно отразится на хозяйственных связях Севера Сибири с Европейской частью страны и южными регионами.

Плотины ГЭС окажут влияние на рыбное хозяйство. Рассматриваемые гидроузлы являются прекрасной иллюстрацией тезиса о наиболее вредном влиянии приустьевых и расположенных в среднем течении рек плотин и водохранилищ на условия существования рыбного стада. В низовьях рек плотины преградят пути миграции

ценных пород рыб, затопление ухудшит качество воды, ежегодная зимняя сработка уровня воды будет способствовать промерзанию мелководных участков – мест зимовки и нереста рыб.

Не исключено, что гигантские водохранилища могут спровоцировать землетрясения, тем более, что, например, плотина Нижнеленской ГЭС расположена в зоне повышенной сейсмической активности – до 8 баллов.

Необходимо также отметить, что крупные гидротехнические объекты в низовьях сибирских рек вызовут значительные обрушения берегов благодаря громадным площадям затопления и большому разгону ветровых волн в условиях распространения рыхлых пород и их слабой устойчивости к смыву. Приближенные расчеты, ориентированные на то обстоятельство, что скорость формирования новых склонов здесь будет зависеть от влияния на них в первую очередь термоабразионных процессов, дали существенные размеры абразионных берегов рассматриваемых водохранилищ на период начального становления их склонов – не менее 15–20% всей огромной береговой линии этих водоемов.

В.М. Широков (1985) выделил следующие наиболее неблагоприятные экологические последствия создания искусственных водоемов в низовьях главных рек Сибири: 1) Влияние больших масс воды на ММП вследствие теплоотдачи зарегулированных вод. 2) Большая гидродинамическая активность аккумулированных в водохранилищах вод, возможность возникновения длительных штормовых явлений на акваториях. 3) Возможность изменения циркуляционных процессов в атмосфере. 4) Изменение водного и теплового стока и негативные последствия этого для нижних бьефов и прилегающих участков северных морей.

Экономисты отмечали, кроме того, что энергия крупных ГЭС не найдет применения в ближайшем будущем для региональных нужд, т.к. здесь вряд ли будут создаваться крупные ТПК и промышленные узлы. Эти ГЭС предназначались для выработки энергии для других районов. Изучая возможность передачи электроэнергии потребителям более южных регионов, производилась оценка эффективности использования энергии Нижнеленской ГЭС в объединенной энергосистеме (ОЭС) ЕТС, ОЭС Центральной Сибири и ОЭС юга Дальнего Востока. Было установлено, что, несмотря на очень низкую стоимость генерирования энергии, превышение приведенных затрат при

ее передаче в перечисленные ОЭС по сравнению с местными энергоисточниками составило бы в ЕТС 30–35%, в Центральной Сибири – 22–25%, на юге Дальнего Востока – 20–25%.

Поэтому энергетическая и экономическая эффективность сверхкрупных ГЭС может определяться только перспективами создания в зоне их влияния крупных промышленных производств, характеризующихся большой энергоемкостью, что считалось весьма проблематичным и не согласовывалось в то время с планами развития экономики нашей страны.

Наибольшему обсуждению, и в конечном итоге реанимации, проекта подверглась Эвенкийская ГЭС, сооружение которой предполагается на р. Нижней Тунгуске (правый приток Енисея) в 120 км от устья. Объем стока реки в этом створе составляет около 40% стока Волги (Кузнецов, 2003. Проблемы .., 2003). Здесь возможно создание концентрированного напора в одном створе и получение 46 млрд. кВт.ч. электроэнергии в год, что превышает выработку электроэнергии Волжско-Камского каскада ГЭС и немногим меньше общей выработки ГЭС Енисейского каскада (без Ангары). Водохранилище Эвенкийской ГЭС при отметке НПУ = 200 м затопит всю пойму р. Нижней Тунгуски до границ с Якутией, а также поймы впадающих в нее многочисленных притоков. Общая площадь затапливаемых земель составит ≈ 680 км^2. ГЭС может использовать 90% гидроэнергетического потенциала реки, ее мощность 12 млн. кВт. По своим энергоэкономическим показателям Эвенкийская ГЭС сопоставима с гидрокомплексом в КНР «Три ущелья» (Санься) на р. Янцзы – самом крупном и мощном гидроузле в мире.

Полный объем водохранилища проектируемой близ устья Енисея гидростанции – 409 км^3 равен четырехкратному годовому стоку р. Нижней Тунгуски. Полезная емкость – 101 км^3, длина – 1200 км, ширина – 1–5 км, площадь зеркала – 9400 км^2.

Регулирование стока – многолетнее, может быть, еще и глубокое сезонное, компенсирующее недовыработку энергии на ГЭС Ангаро-Енисейского каскада в маловодные годы.

При составлении ТЭО гидроузла рассматривались различные виды его основных сооружений, в том числе с бетонной плотиной и плотиной из местных материалов. Наиболее предпочтительным признан вариант с русловой бетонной водосбросной плотиной и береговым расположением здания ГЭС с двенадцатью гидроагрегатами (Кузнецов, 2003).

В первоначальном варианте судоподъемник не предусматривался, предполагалась перевалка грузов. В более поздних рекомендациях к ТЭО проекта не исключалось дополнительное рассмотрение возможности создания в составе гидроузла судопропускных сооружений, имея в виду большую роль судоходства в перспективе для экономики Эвенкийского автономного округа (Проблемы .., 2003; Юркевич, Цвик, 2008).

Вырабатываемую ГЭС электроэнергию намечается передавать через Урал в Европейскую часть России, но рассматриваются и другие варианты, в том числе ее использование для местных нужд в Красноярском крае и в Эвенкии, продажа за рубеж.

Эвенкийскому гидроузлу свойственны все «пороки» крупных приустьевых равнинных водохранилищ, проектировавшихся на Севере Российской Федерации. Это – переселение и нарушение условий существования коренных жителей, неблагоприятные изменения климатических и ледовотермических условий на Нижней Тунгуске и приустьевых районах Енисея. Полынья распространится до устья Нижней Тунгуски и на 20–70 км по Енисею, вызовет возникновение слабых туманов в октябре и сильных – с ноября по март. Туманы могут вызвать, в свою очередь, заиндевение стволов и ветвей деревьев на пойме, обмерзание проводов. Полынья – это наиболее заметная причина ухудшения климата с точки зрения здоровья людей. Парящая, создающая туман полынья является также очагом формирования внутриводного льда, заторов и зажоров.

Строительство ГЭС приведет к изменению теплового стока реки – важного фактора гидроэкологического состояния водных объектов, изменяя масштабы и продолжительность ледовых явлений, окажет влияние на заселение и освоение прилегающих к руслам рек территорий, изменит условия формирования наносов и дельтообразования (Геоэкологическое состояние.., 2007).

Регулирование водных ресурсов может вызвать зимние затопления прибрежных районов и, напротив, осушение и промерзание литорали при сезонной сработке водохранилища, формирование внутриводного льда, забивающего решетки ГЭС, давление льда на плотину и другие последствия. Водные массы водохранилища окажут влияние на протаивание мерзлых пород под ложем водоема (что затруднит достижение НПУ, может снизить энергетический эффект ГЭС), будут способствовать развитию термоабразионных процессов и оказывать существенное влияние не только на ландшафты прилегающих участ-

ков суши и нижние бьефы ГЭС, но и на северные моря, климат и ледовитость которых чутко реагируют на любые изменения природной среды. Возможно обострение проблем судоходства, рыбного и охотничьего хозяйства. Экологические и экономические проблемы отразятся на условиях жизни и хозяйства малочисленных народов Севера, значительная часть которых должна быть переселена или лишиться традиционных видов ведения хозяйства.

Известно, что создание любого водохозяйственного объекта не обходится без отрицательных последствий. Задача проектантов и служб эксплуатации водохранилищ – свести их к минимуму. Отрицательные последствия строительства водохранилищ подразделяют на две группы: органически присущие созданию водохранилищ и вызываемые нарушением правил их эксплуатации, отклонениями от запроектированных условий в процессе создания и эксплуатации гидроузлов (Вендров и др., 1990).

Рассмотрим с этих позиций чрезвычайно важный аспект подготовки ложа водохранилищ к затоплению – болезненные вопросы лесосводки и лесоочистки, которые не были выполнены при создании почти всех водохранилищ ГЭС Енисейского каскада и других гидроузлов Восточной Сибири. Подобная ситуация сохраняется и на вновь проектируемых и достраиваемых ГЭС.

При подготовке материалов к ТЭО Эвенкийского гидроузла предполагается лишь частичная очистка его ложа от древесной растительности в приплотинной части и в районах судопропускных коридоров с использованием плавучих лесосводочных агрегатов (Проблемы .., 2003).

Крупные ГЭС в Сибири затопили ценнейший природный ресурс – лес (ангарскую сосну и лиственницу). Объем лесов, бывших в зонах затопления, составлял у Братского водохранилища 36 млн. $м^3$ ценнейшей древесины, Иркутского – около 10 млн. $м^3$, Саяно-Шушенского – 3,7 млн. $м^3$, Вилюйского – 16,7 млн. $м^3$, Курейского – 1,7 млн. $м^3$, строящегося Богучанского водохранилища – 12,1 млн. $м^3$, проектируемого Мокского – 6–7 млн. $м^3$. При подготовке ложа водохранилищ лес вырубался лишь частично у плотин и вдоль будущих фарватеров.

В результате без очистки было затоплено 1322 $км^2$ лесопокрытой площади с объемом древесины 16,6 млн. $м^3$ – лиственницы и сосны с мощной корневой системой. Всплывший лес прибивался к берегу, его концентрация на Братском водохранилище составляла от 8 до 10 тыс. $м^3$ на один километр, а в некоторых заливах – до 30–40 тыс. $м^3$ на километр.

Практическое отсутствие лесосводки и лесоочистки со всеми вытекающими отсюда неблагоприятными последствиями отразилось на качестве воды (например, содержание смолистых веществ в воде многих заливов сибирских водохранилищ намного превышает ПДК), на здоровье людей, рекреации и различных видах хозяйственного использования (судоходстве, работе агрегатов ГЭС и т.д.). Всплывшие лес, кустарник, валежник засорили промысловые рыбные участки. Но не менее важно, что затопление леса означает потерю значительных объемов ценнейшего сырья.

Причины затопления лесов разные. Это: отсутствие в проектах мероприятий по лесоочистке и лесосводке, отклонения при строительстве гидроузлов от запроектированных обязательных условий, обеспечивающих хотя бы «приемлемое» экологическое благополучие гидроузлов, попытки удешевления строительства и его ускорение, дальность мест сооружения гидроузлов от крупных центров переработки древесины, опережение темпов строительства плотин по сравнению с работой лесозаготовительных организаций. Так было при создании Братского водохранилища (1961–1967 гг.), когда лесозаготовители «Братсклеса» покидали затопляемые территории, обрекая на гибель не только лесные массивы и заготовленный лес – ценнейшую ангарскую сосну, но и созданные ими поселки и дороги, в том числе железнодорожную ветку.

Большую роль здесь сыграл чисто организационный фактор – плохо налаженный контроль и ответственность за лесосводку на местах и выполнение этих работ в установленные сроки. Так, на следующем водохранилище Ангарского каскада – Усть-Илимском, построенном уже 10 лет спустя, предполагалось очистить 12% площади затапливаемых лесов, 70% – освоить, а оставшуюся часть, признанную недоступной и малоценной, затопить. Однако эти пропорции не были соблюдены, что объясняли недоступностью намеченных к вырубке лесов, их малоценностью. На самом же деле практическое отсутствие лесосводки было связано с опозданием начала этих работ, особенно в отдаленных от транспортных магистралей районах. В результате после затопления всплывали целые массивы лесов, вся водная поверхность была покрыта плавающими деревьями.

Отсутствовала лесосводка и на водохранилищах Енисейского каскада – Красноярском, Саяно-Шушенском, Курейском и Хантайском. При создании Саяно-Шушенской ГЭС это было связано с трудностью

и убыточностью для Минлеспрома вырубки лесов на крутых склонах будущего дна водохранилища. В результате на этом глубоководном водохранилище лес, плывущий на глубине 25–30 м, забивал водозаборные сооружения, их очистка обходилась во много раз дороже, чем обошлась бы лесосводка.

Сложности с лесоочисткой в связи с отсутствием технических средств лесосводки в условиях сложного рельефа и мобильных предприятий по переработке древесины отмечали постоянно и проектировщики. Однако еще при строительстве Братской ГЭС была разработана конструкция плавучего леспромхоза, позволяющего добывать лес с реки, даже с крутых берегов. Эта конструкция не была применена для очистки залесенных склонов долин при подготовке ложа горных и предгорных водохранилищ Сибири. Правда, строители Саяно-Шушенской ГЭС быстро реализовали принцип добычи леса из реки, когда у них не хватало леса для опалубки. Соорудив понтоны, они заготавливали древесину с тех самых крутых берегов, где Минлеспром посчитал сведение леса убыточным.

На северном Хантайском водохранилище из-за «малоценности» лесов лесосводка производилась только в приплотинной части. В результате было затоплено 3,4 млн. м^3 леса – лиственницы, ели, березы. Но из-за угнетенности лесов и неглубокой корневой системы в связи с многолетнемерзлыми породами лесная растительность погибла быстрей, чем на южных водохранилищах, и оказала меньшее влияние на качество воды.

В ложе Курейского водохранилища было затоплено 1,3 млн. м^3 товарной древесины. При подготовке Вилюйского водохранилища очистка ложа от древесной растительности производилась только в приплотинной части, а 631 км^2 площади, занятой лесными угодьями (преимущественно даурской лиственницей), были затоплены.

При строительстве Богучанской ГЭС впервые в Сибири были в значительной степени очищены от растительности и строений берега Ангары, сведено 10,7 млн. м^3 товарного леса – хвойных и лиственных пород. Лесосводка же нетоварной древесины производилась только на специальных участках – рыбопромысловых, важных для водного транспорта, в санитарной зоне и в охранной зоне гидроузла.

Решающую роль в большом объеме очистных работ при подготовке ложа Богучанского водохранилища сыграло экологическое движение и протесты научной общественности. Затем последовало постановление ЦК КПСС и Совмина СССР, а также решение кол-

легии Минэнерго о необходимости сплошной лесоочистки впредь строящихся ГЭС, несмотря на ее возможную убыточность.

В настоящее время при возобновлении работ по проектирвоанию Туруханской ГЭС полная лесосводка и лесоочистка по-прежнему не предусматриваются, т.к. это не приведет, по мнению гидротехников, к существенному ухудшению качества воды, поскольку в общем объеме биомассы затапливаемых территорий древесно-кустарниковая растительность не превышает 30% (Кузнецов, 2003). Это утверждение вызывает сомнения, т.к. функционирование Хантайского и Курейского водохранилищ свидетельствует о влиянии в самых северных регионах неубранной растительности на качество воды, но в меньшей степени, чем на юге.

Поэтому актуальны по-прежнему предпочтения, высказанные еще в середине 1970-х гг., о необходимости создания в районах проектируемых гидроузлов новых леспромхозов, перенесение в будущее ложе старых и создание новых лесоперерабатывающих предприятий, привлечение государственных и кооперативных хозяйств южных республик (теперь стран СНГ), нуждающихся в лесе и т.д. Одним из главных условий успешной лесосводки является согласование и выполнение сроков ввода в эксплуатацию новых гидроузлов со сроками выполнения программы утилизации лесов в районах затопления (Кудояров, 1980).

На существующих же водохранилищах затопленный лес, а также обрушение залесенных берегов, потери леса при лесосплаве и технологические недостатки действующих рейдов создали сложную и дорогую проблему очистки водных акваторий водохранилищ от древесины и ее утилизации. Существующие способы очистки водохранилищ и связанные с этой проблемой природоохранные, этнические и экономические вопросы рассматривались автором ранее (Малик, 1990 и др.).

Существенный «вклад» в ухудшение качества воды северных водохранилищ и ухудшение условий их эксплуатации вносит затопление, последующее всплывание и разрушение торфяников, а также размыв торфяных берегов. В случае миграции торфяные острова разбиваются ветровыми волнами, нередко выбрасываются на берег и участвуют в формировании прибрежных валов. Всплывшие торфяники (нередко вместе с деревьями) создают угрозу судоходству, осложняют работу ГЭС. Но главное – это существенный фактор ухудшения качества воды водохранилищ.

Известно, что борьба с неблагоприятными последствиями всплывания торфяников на Рыбинском, Камском и других водохранилищах

ЕТС потребовала значительных затрат. Это обстоятельство, к сожалению, не учитывалось в проектах сибирских водохранилищ. Так, в зону затопления проектировавшегося Нижнеобского водохранилища могло попасть более 300 тыс. га торфяников, из которых около 40 тыс. га – всплывающие. Строящееся Богучанское водохранилище может затопить 19 тыс. га торфяников, из них 3,5 тыс. га – всплывающие. Водой Хантайского водохранилища было затоплено 33 тыс. га торфяников, из них 2/3 – всплывающие.

Широко распространены торфяные берега на Вилюйском водохранилище, при создании которого были затоплены 60 км^2 торфяных залежей, из них более 50% относится к категории всплывающих. Сложная конфигурация водохранилища предопределила их концентрацию в тех же озеровидных плесах, где они всплыли. Природная устойчивость торфа и противоабразионная способность предопределяет их большую сохранность во времени.

К сожалению, рассматриваемый аспект проблемы подготовки ложа водохранилищ к затоплению в проектах ГЭС не обсуждался, нет его и в ТЭО Эвенкийской ГЭС.

Необходимо напомнить еще об одном факторе, не обсуждавшемся до последнего времени, но имеющем очень большое значение при выяснении перспектив создания Эвенкийского водохранилища. Подпор и подтопление от грунтовых вод при заполнении обширного водоема могут вызвать фильтрацию воды в полости, оставшиеся от проводившихся в этом бассейне подземных ядерных взрывов. В этом случае может возникнуть опасность попадания в Нижнюю Тунгуску и Енисей радиоактивных материалов.

В заключение отметим следующее. Сверхкрупные водохранилища, воздействуя масштабно на целый комплекс природных компонентов (климат, сток, тепловые ресурсы, наносы и дельтообразование, ледово-термические условия низовьев рек, дельт и прибрежных участков морей и т.д.) могут нарушить устойчивые естественные связи бассейнов рек с морями, изменить их соленость, ледовый режим, осложнить ряд прикладных проблем – изменить условия судоходства, естественного воспроизводства рыбных запасов, отразиться на здоровье людей из-за усиления континентальности климата и т.д. Все изменения могут иметь необратимый характер. Поэтому создание крупных равнинных водохранилищ, особенно на приустьевых участках рек, не приемлемо с точки зрения экологии, экономики и возникновения социальных проблем.

Наиболее целесообразно осуществление гидроэнергетического строительства в горных и предгорных районах, где водные ресурсы обладают наиболее высоким энергопотенциалом, а степень проявления негативных воздействий водохранилищ значительно меньше, чем у равнинных водоемов, и цена негативных последствий не столь велика.

Литература

1. *Асарин А.Е., Данилов-Данильян В.И.* Гидроэнергетический потенциал России // Энергетика России – проблемы и перспективы. М., 2006. С. 315–325.
2. *Асарин А.Е., Полад-заде П.А., Семенов А.Н.* Водные ресурсы российских рек и их использование // Гидротехн. стр-во. 2007. №6. С. 4–8.
3. *Вендров С.Л., Коронкевич Н.И., Малик Л.К.* Природоохранные ситуации, связанные с гидротехническим строительством // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1988. №4. С. 47–57.
4. Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования. М.: Геос, 2007, 584 с.
5. *Кудояров Л.И.* Водохранилища в северных условиях и вопросы экологии // Мат-лы конф. и совещ. по гидротехнике «Влияние водохранилищ ГЭС на хозяйственные объекты и природную среду». Л.: Энергия, 1980. С. 3–6.
6. *Кузнецов Р.Я.* Предложения по обоснованию целесообразности строительства Туруханской ГЭС // Гидротехн. стр-во. 2003. №12. С. 7–11.
7. *Малик Л.К.* Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. М.: ИГ АН СССР, 1990. 317 с.
8. *Малик Л.К.* Гидроэнергетика в энергообеспечении и решении водохозяйственных проблем Российской Федерации // Изв. РАН, сер. геогр. 2001, №1, стр. 64–73.
9. *Малик Л.К.* Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений // Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
10. Проблемы перспективного строительства Туруханской ГЭС // Гидротехн. стр-во. 2003. №12. С. 2–6.
11. *Семенов А.Н.* 68-й Исполком и 20-й Конгресс Международной комиссии по большим плотинам // Гидротехн. стр-во. 2001. №4. С. 48–56.
12. *Широков В.М.* Конструктивная география рек: Основы преобразования и природопользования. Мн.: Изд. «Университетское», 1985. 189 с.
13. *Юркевич Б.Н., Цвик А.М.* Эвенкийская ГЭС на реке Нижняя Тунгуска: Перспективы строительства // Гидротехн. стр-во. 2008. №2. С. 11–15.

L.K. Malik

GEOGRAPHICAL-HYDROLOGICAL ESTIMATION OF CONSEQUENCES OF CREATION LARGE-SCALE HYDROELECTRIC POWER PROJECTS IN THE NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION

Possible negative consequences of large lowland hydro-schemes in the mouth areas of the Siberian rivers (Ob, Yenisei and Lena), projected in the end of the last century, are characterised. Influence on the environment and human by the Turukhans HPS which project is recommended again as a strategic power reserve is analyzed in details. It is marked that this project is undeveloped from ekologo-economic positions.

Г.М. Черногаева, А.С. Зеленов, М.С. Зеленова

ДИНАМИКА МАКРОКОМПОНЕНТНОЙ АТМОСФЕРНОЙ НАГРУЗКИ НА РЕЧНЫЕ ВОДОСБОРЫ СЕВЕРА ЕТС

Рассмотрено влияние загрязнения атмосферы на качество речных вод Печоры и Северной Двины. Выявлено значительное (на 40–65%) сокращение выпадений соединений серы и азота в 1993–2006 гг. по сравнению с периодом 1987–1990 гг.

Общая минерализация атмосферных осадков, выпадающих в Российской Федерации за пределами локальных источников загрязнения атмосферы, определяется довольно низкими концентрациями (Обзоры.., 1990–2008 гг.). Больше 60% химического состава атмосферных осадков на фоновых станциях соответствует условиям конкретной природной зоны и местным условиям погоды. Существенно выше, с превышением ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, наблюдается загрязнение атмосферного воздуха и осадков на урбанизированных территориях в районах промышленных разработок и транспортных магистралей.

Ощутимое атмосферное загрязнение стало проявляться уже в XIX веке в связи с развитием промышленности и транспорта. К середине XX века загрязнение атмосферного воздуха продолжало возрастать, и это привело к необходимости создания ряда международных конвенций по контролю за загрязнением и положило начало международному мониторингу атмосферного воздуха и поверхностных вод.

В России регулярные наблюдения за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков были организованы в конце 50-х годов прошлого века. Национальная сеть наблюдений представлена 172 станциями. Данные сети мониторинга используются для установления общего уровня атмосферного загрязнения, выяснения его динамики, оценки переноса веществ в атмосфере, определения сезонной и суммарной нагрузки содержащихся в осадках химических соединений на подстилающую поверхность (Методическое письмо.., 2006).

С 1980 г. на базе снегомерной сети Росгидромета начала действовать система мониторинга загрязнения снежного покрова. Основной задачей мониторинга является получение характеристик выпадения

загрязняющих веществ по территории страны в целом и по отдельным регионам. Основным экологически значимым выпадом является определение нагрузок атмосферных выпадений химических веществ на подстилающую поверхность. На базе расчета нагрузок определяются массы среднегодовых выпадений загрязняющих веществ. Другим важным аспектом мониторинга является представление динамики изменения выпадения загрязняющих веществ во времени.

Как показали многолетние исследования ученых ИГ РАН (Чернышев и др., 1992), растворенная составляющая химического стока в период снеготаяния характеризуется преобладанием выноса минеральной части, которая в гумидных районах достигает 80%. Генезис ее обусловлен веществами, сконцентрированными к началу половодья в снежном покрове.

В данной работе рассматривается динамика макрокомпонентной атмосферной нагрузки на примере речных бассейнов рек Печоры и Северной Двины за период 1987–2006 гг.

Проба снега отбирается на стационарном маршруте снегомерной съемки. Проба является сборной и состоит из смеси частных проб, отобранных по всей глубине снежного покрова на всех точках определения параметров влагозапаса. Длина снегомерного маршрута достигает 1,5–2,0 км. Отбор проб осуществляется стандартным для всех пунктов наблюдений пробоотборником – плотномером.

Плотность загрязнения снега вычисляется исходя из средних значений влагозапаса на маршруте и результатов химического анализа воды сборной снежной пробы

$$U_j = c_j \cdot d$$

1 мм влагозапаса d эквивалентен 1 л/м^2, отсюда размерность U_j – мг/л·л/м^2=мг/м^2 или кг/км^2.

Определение характеристик распределения и погрешностей определения средних значений плотности загрязнения производится по известным формулам. Общий порядок расчетов следующий:

• определение средней плотности загрязнения снега j-м ингредиентом в бассейне;

• определение суммы квадратов отклонений частных значений U_{ji} от среднего ($\Sigma\alpha_x^2$);

• определение среднего квадратичного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\alpha_{\delta}^2}{n-1}}$$

Таблица 1. Классификация параметров

Распределение	Коэффициент вариации исследуемых свойств, %
Весьма равномерное	до 20
Равномерное	20–40
Неравномерное	40–100
Весьма неравномерное	100–150
Крайне неравномерное	> 150

• определение коэффициента вариации (%):

$$\upsilon=\sigma/\overline{U}_j \cdot 100\%$$

• определение погрешности вычисления среднего (кг/км^2)

$$q= \sigma/\sqrt{n}\ ,$$

где n – количество сборных проб

• определение относительной погрешности вычисления среднего (%):

$$p= q/\overline{U}_j \cdot 100$$

В работе часто используются расчеты коэффициента корреляции для оценок связи между ингредиентами загрязнения,

$$r=\frac{\Sigma(\alpha_x * \alpha_y)}{\sqrt{\Sigma\alpha_x^2 * \Sigma\alpha_y^2}}$$

где $\Sigma(\alpha_x * \alpha_y)$ – сумма произведений частных отклонений от средних содержаний ингредиентов x и y. $\Sigma\alpha_x^2$ и $\Sigma\alpha_y^2$ – суммы квадратов частных отклонений α_x и α_y.

Для оценок распределения удобно пользоваться классификацией изменчивости параметров, входящих в подсчет запасов, которая принята в практике опробования при геологоразведочных и геохимических поисковых работах (табл. 1).

На больших площадях распределение ингредиентов загрязнения обычно постепенно изменяется в каком-нибудь направлении и функционально связано с траекториями атмосферного переноса. В этом случае коэффициент вариации отражает только уровень изменчивости, но не его пространственные особенности.

Таблица 2. Распределение водосборных территорий бассейнов Печоры и Северной Двины по категориям земель

Категория земель	Печора		Северная Двина	
	тыс. км^2	%	тыс. км^2	%
Общая, тыс. км^2	322		357	
С/х угодья, %,	1,28	0,40	9,53	2,67
в том числе пашня	0,43	0,13	6,48	1,81
Общая площадь лесного фонда и лесов, не входящих в лесной фонд	213,44	66,29	263,11	73,70
Остальные земли	10,35	33,32	6,62	23,63
Площади, загрязненные в процессе урбанизации	8,05	2,50	12,14	3,40

В предлагаемой работе особенности пространственного распределения отражены на картосхемах загрязнения снега сульфатами и нитратами. Они построены расчетным методом, разработанным в ИГКЭ с использованием данных по атмосферным выбросам загрязняющих воздух веществ, данных мониторинга снежного покрова и описаний условий формирования его в течение всего зимнего периода. Метод используется для построения карт нагрузок атмосферных выпадений на территории РФ, публикуемых в ежегодных Обзорах Росгидромета (Василенко и др., 1986, 1989; Руководство.., 1991).

Распределение водосборных территорий по категориям земель в бассейнах исследуемых рек представлено в табл. 2. Гидрологические характеристики речного стока по бассейнам рек даны в табл. 3.

Детально накопление основных макрокомпонентов в снежном покрове рассмотрено за период 2001–2006 гг.

Средний влагозапас в бассейне Печоры составляет 233 мм. Диапазон изменений значений влагозапаса в бассейне от 140 до 294 мм.

Характеристики распределения плотности загрязнения снежного покрова помещены в табл. 4. Диапазон вариаций значений

Таблица 3. Оценка речного стока по бассейнам рек (Василенко и др., 1989)

Река	W км^3/год	Q м^3/с	M л/с км^2	Cv	K_R	K_U	Осадки мм	U мм
Печора	130,00	4000,00	12,80	0,11	0,58	0,18	701,00	108,00
Северная Двина	110,00	3491,00	9,80	0,2	0,43	0,19	706,00	79,00

Таблица 4. Характеристики распределения примесей в снеге бассейна Печоры

Вещественный состав загрязнения снега	Средние значения плотности загрязнения, U кг/км^2	Характеристики распределения		Погрешность определения средних	
		σ	υ	$\pm q$, кг/км^2	$\pm P$, %
SO_4	180	73	40	20	11
NO_3	77	38	49	11	14
NH_4	65	68	104	12	18
Cl	219	149	68	41	19
Na	123	98	80	27	22
K	110	108	99	30	27

U (кг/км^2) следующий: U_{SO4} 82–513; U_{NO3} 31–317; U_{NH4} 76–277; U_{Cl} 23–164; U_{Na} 22–388; U_K 12–360.

Как видно из табл. 4, для сульфатов и нитратов наблюдается неравномерное распределение с минимальными для этого класса значениями коэффициента вариаций. Наибольшие вариации распределения характерны для аммония.

Наблюдаются связи между содержанием хлора, натрия и калия (мг/л). Для хлора и натрия рассчитанный коэффициент корреляции

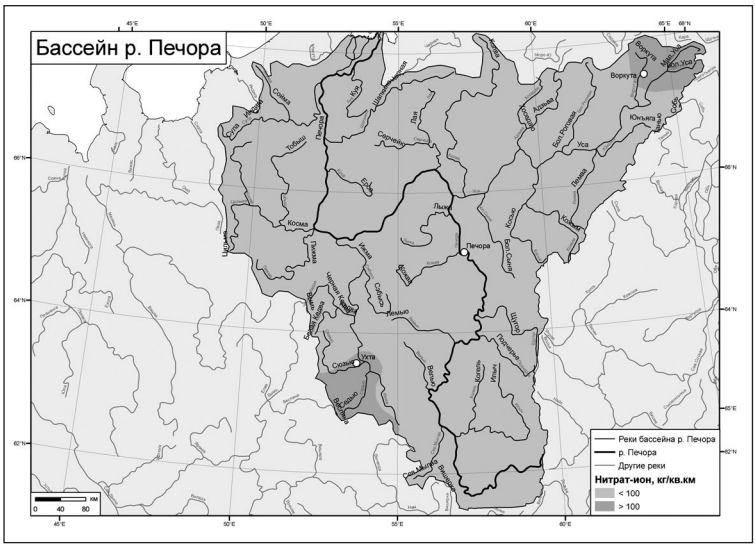


Рис. 1. Распределение атмосферных выпадений нитрат-иона в снежном покрове при максимуме влагозапаса (бассейн Печоры), кг/км^2

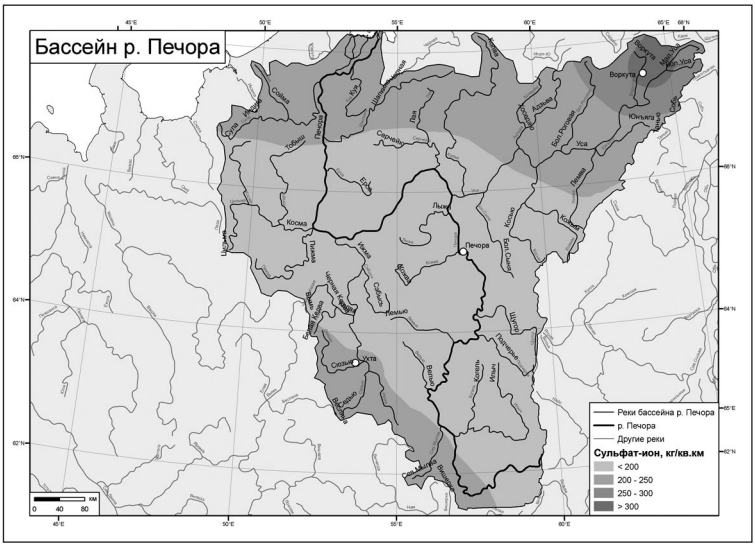


Рис. 2. Распределение атмосферных выпадений сульфат-иона в снежном покрове при максимуме влагозапаса (бассейн Печоры), кг/км^2

составляет 0,98, а для хлора и калия – 0,72. Такие характеристики типичны для засоления снежного покрова в результате морского влияния на состав атмосферных выпадений.

Представленные на рис. 1 и 2 поля загрязнения снега сульфатами и нитратами в бассейне Печоры в целом обусловлены дальним атмосферным переносом. Местные источники загрязнения дают вклад по этим компонентам в общую массу накопленного в снеге вещества не более чем несколько процентов. На северо-востоке бассейна проявляется аномальное поле, обусловленное выбросами Воркутинского промышленного района, которые составляют по диоксиду серы половину всего объема выбросов предприятиями в Республике Коми (данные 2005 г.).

В целом, по данным расчетов, на территории бассейна Печоры в период образования максимального влагозапаса в снеге в водорастворимой форме накапливается, тонн: сульфат-иона – 57 960, нитрат-иона – 24 790, аммония – 20 930, хлора – 70 520, натрия – 39 600, калия – 35 420.

Средний влагозапас в бассейне Северной Двины составляет 187 мм, с диапазоном от 91 до 314 мм.

Характеристики распределения плотности атмосферных выпадений загрязняющих снег веществ приведены в табл. 5. Наблюда-

Таблица 5. Характеристики распределения примесей в снеге бассейна Северной Двины

Вещественный состав загрязнения снега	Средние значения плотности загрязнения, U кг/км^2	Характеристики распределения		Погрешность определения средних	
		σ	υ	±q, кг/км^2	±P, %
SO_4	333	156	47	42	12,5
NO_3	181	67,5	37	18	10
NH_4	127	94,5	74	25	20
Cl	278	135,5	49	36	13
Na	220	153	70	41	19
K	130	96,5	74	26	20

емые диапазоны изменений значений U (кг/км^2) для загрязняющих снег веществ следующие: U_{SO_4} 91–660; U_{NO_3} 81–332; U_{NH_4} 27–349; U_{Cl} 77–541; U_{Na} 55–534; U_K 33–389.

Относительно низкими значениями коэффициента вариации характеризуется распределение сульфатов и нитратов. Повышенные значения коэффициента вариации наблюдаются в отношении аммония и щелочных металлов. В целом, распределение компонентов загрязнения можно классифицировать как неравномерное с минимальными вариациями для сульфатов и нитратов. Следует обратить внимание на похожий характер распределения компонентов загрязнения, наблюдавшихся в бассейне Печоры, т.е. в одной и той же географической зоне получены практически аналогичные характеристики распределения. Это обстоятельство косвенно свидетельствует о достоверности полученных результатов, несмотря на ограниченное количество исходных данных.

Рассчитанные значения коэффициента корреляции между хлором и натрием и хлором и калием составляют соответственно 0,85 и 0,53, т.е. обнаруживается тесная взаимосвязь между хлором и натрием. При этом характерно, что максимальные концентрации хлора (1,8–2,6 мг/л) и натрия (1,7–3,7 мг/л) проявляются в прибрежной зоне бассейна (на расстояниях до 100 км от моря). В ряде случаев совместно с увеличением концентраций хлора и натрия увеличиваются концентрации сульфат-иона в снеге. Отношения молярных концентраций *Na/Cl* в 70% случаев близки к единице (0,8–1,1), что типично для морского влияния на состав атмосферных выпадений на всем протяжении побережья ЕТР.

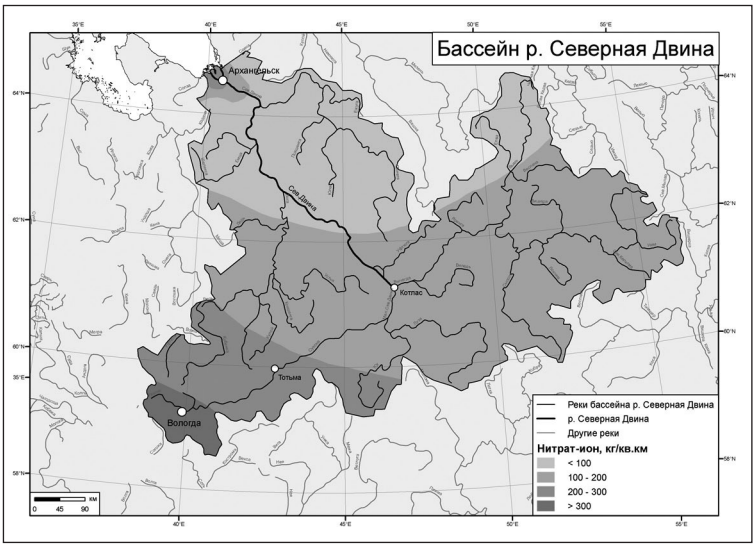


Рис. 3. Распределения атмосферных выпадений нитрат-иона в снежном покрове при максимуме влагозапаса (бассейн Северной Двины), кг/км^2

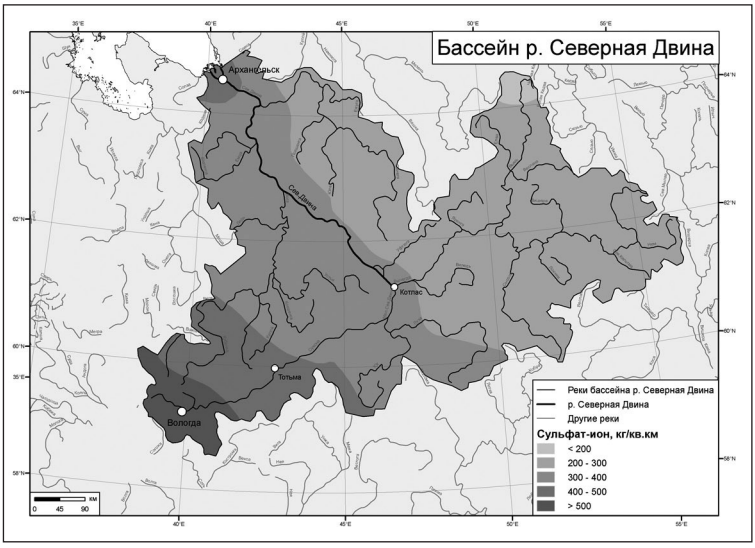


Рис. 4. Распределение атмосферных выпадений сульфат-иона в снежном покрове при максимуме влагозапаса (бассейн Северной Двины), кг/км^2

Рассчитанным полям загрязнения снега, представленным на картосхемах (рис. 3 и 4), в большинстве случаев соответствуют наблюдаемые значения плотности загрязнения. Исключение составляют в основном места, подверженные морскому влиянию. В целом представленные карты отражают изменение уровней загрязнения в результате атмосферного переноса соединений серы и нитратного азота от центральных регионов России. Влияние местных источников загрязнения проявляется аномалиями в районе г. Северодвинск – Архангельск и на юго-западе – в районе г. Вологда – Череповец. Общий вклад источников загрязнения, расположенных в бассейне, на массы выпадений сульфатов и нитратов составляет не более 10%.

В целом, по данным расчетов, на территории бассейна Северной Двины в период образования максимального влагозапаса в снеге в водорастворимой форме накапливается, тонн: сульфат-иона 118 880, нитрат-иона 64 620, аммония 45 340, хлора 99 250, натрия 78 540, калия 46 410.

Динамика атмосферных выпадений во времени прослежена для приоритетных загрязнителей, сульфатной серы и нитратного азота, за период с 1987 по 2006 г. В качестве исходных данных использованы измерения интенсивности выпадений в кг/км^2/сутки, проведенные на специально подобранных стационарных маршрутах, отличающихся устойчивым снежным покровом и пространственно не связанных с крупными источниками атмосферных выбросов диоксида серы и окислов азота.

Таблица 6. Средние значения интенсивности выпадения серы и азота за период 1987–2006 гг.

Бассейны рек	Вещество	Периоды времени и средние уровни интенсивности выпадения, кг/км^2/сутки (в единицах серы и азота)			
		1987–1990 гг.	1991–1992 гг.	1993–2006 гг.	% снижения
Печора	S	0,57	0,37	0,31	46
	N	0,18	0,12	0,09	50
Сев. Двина	S	1,60	0,96	0,60	40
	N	0,64	0,38	0,22	65

В табл. 6 приведены осредненные значения интенсивности выпадения соединений серы и азота по выделенным периодам времени за зимний сезон и показано уменьшение их уровней относительно максимально наблюденных величин в период 1987–1990 гг.

Данные расчетов по речным бассейнам Европейской территории России показали, что по сравнению с периодом проявления максимальных значений в период 1993–2006 гг. в северном регионе ЕТР наблюдается наибольшее сокращение интенсивности выпадения соединений серы и азота. В бассейнах Печоры и Северной Двины сокращение выпадений соединений азота достигает 50–65%.

Литература

1. *Василенко В., Назаров И., Пегоев А., Фридман Ш.* Анализ пространственных неоднородностей загрязнения снежного покрова // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. Выпуск 4 / Под ред. Ф.Я. Ровинского. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. С. 68–74.
2. *Василенко В.Н., Карабань Р.Т., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Баланс серы и азота в атмосфере для территории СССР и нагрузки на лесные экосистемы и почвы // Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды. Труды I советско-канадского симпозиума. Тбилиси, 17 апреля 1988 г. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 191–199.
3. Методическое письмо. Состояние работ по наблюдению за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков в 2000–2004 гг. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 50 с.
4. Обзоры загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 1990–2008 гг. М.: Росгидромет.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Гидрометеоиздат, 1991. 693 с.
6. *Чернышев Е.П., Барымова Н.А., Иванова Н.Б., Китаев Л.М.* Пространственно-временная дифференциация гидрологических процессов и связанного с ними вещественного обмена в системе «водосбор – река» // Географо-гидрологические исследования. М.: МЦГО, 1992. С. 4–26.

G.M. Chernogaeva, A.S. Zelenov, M.S. Zelenova

DYNAMICS OF MACROCOMPONENTAL ATMOSPHERIC LOADING ON RIVER CATCHMENTS IN THE NORTH OF EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Influence of atmospheric pollution on the water quality in Pechora and Northern Dvina is considered. A significant reduction (40–65 %) in deposition of sulphur and nitrogen in 1993–2006 compared with the period 1987–1990 is revealed.

РАЗДЕЛ III. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ВОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

А.Л. Чепалыга

ИСТОРИЯ ВСЕМИРНОГО ПОТОПА (ЭПОХА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАТОПЛЕНИЙ) НА ОСНОВЕ ПАЛЕОГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ И АНАЛИЗА БИБЛЕЙСКИХ ТЕКСТОВ

Основой для реконструкции являются события эпохи экстремальных затоплений (17–11 тыс. лет назад), когда в результате речных сверхполоводий речной сток увеличился в 5–15 раз, что привело к морским трансгрессиям (Хвалынским, бассейн Каспия) и формированию каскада Евразийских бассейнов. Используя библейские тексты, реконструирован Ноев ковчег, выявлены источники потопных вод, маршрут плавания Ноя, что подтверждается также археологическими данными.

О палеогидрологических реконструкциях

В результате выполненных комплексных реконструкций экстремальных палеогидрологических явлений удалось выявить новое природное событие конца плейстоцена – **эпоху экстремальных затоплений** (ЭЭЗ). Сравнительный анализ морских трансгрессий Северной Евразии, особенно Понто-Каспийской системы бассейнов, показал, что по времени, месту, территориальному охвату и интенсивности гидрологических процессов ЭЭЗ в наибольшей степени соответствует событиям библейского Всемирного потопа и плавания Ноя, описанных в Ветхом Завете – в Книге Бытия. Но об этом ниже.

Теоретическое обоснование этих событий сформулировано в виде полиландшафтной концепции эпохи экстремальных затоплений (ЭЭЗ) (Чепалыга, 2002, 2004, 2005, 2005а; Chepalyga, 2006, 2007). Согласно этой концепции грандиозные морские трансгрессии Понто-Каспия сопровождались обширными затоплениями в речных долинах, на склонах и на междуречьях, причем основным фактором затоплений выступает быстрое таяние ледников и вечной мерзлоты в условиях интенсив-

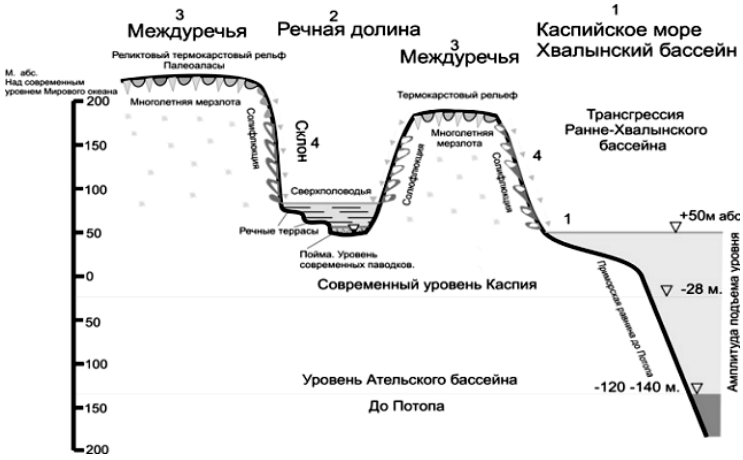


Рис. 1. Полиландшафтная структура
событий эпохи экстремальных затоплений (Чепалыга 2005).

1 – Приморские равнины (морские трансгрессии – затопление при повышении уровня моря). 2 – Речные долины (сверхполоводья). 3 – Междуречья (термокарстовые озера – палеоаласы). 4 – Склоны (солифлюкционные потоки – течение почв на склонах при таянии вечной мерзлоты)

ного потепления 15–17 тыс. лет назад, начавшегося сразу после максимума последнего оледенения (рис. 1).

Морской потоп в пике своего развития проявился в виде системы связанных между собой озерно-морских внутриконтинентальных проточных водоемов, названных нами **каскад Евразийских бассейнов** (КЕБ) (рис. 2, 3) (Чепалыга, 2004, 2005). Они прослеживались от Арала через Каспийскую и Черноморскую впадины и Мраморное море до Средиземного моря. Эпицентром морских затоплений оказался **Хвалынский бассейн** Каспия с подъемом уровня почти на 200 м, общей площадью около 1 млн. км^2 и площадью затопления 850 тыс. км^2. В северной акватории Хвалынского моря сформировались специфические осадки – «шоколадные глины», представляющие собой криосуспензиты (Чистякова, Лаврушин, 2004). В Черном море потоп выразился в быстром подъеме уровня Новоэвксинского бассейна на 35–40 м (от –90 до –50 м), затоплении 30–40 тыс. км^2 шельфа и формировании специфических осадков (коричневых и красновато-коричневых глин), сходных с шоколадными глинами Каспия. Общая площадь затопления водами КЕБ превысила 1,1 млн. км^2, а объем потопных вод – 700 тыс. км^3.

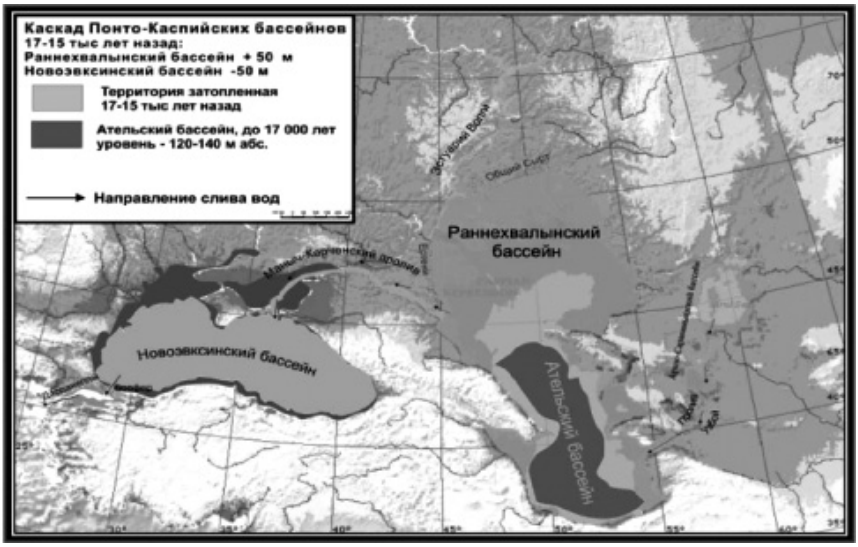


Рис. 2. Каскад Евразийских бассейнов. 17–15 тыс. лет назад (пространственная реконструкция)

Речные затопления были вызваны многократным возрастанием речного стока, особенно во время грандиозных весенних половодий – сверхполоводий (super foods) в речных долинах с затоплением всех пойм и низких речных террас. Эти процессы вызвали формирование крупных речных русел, значительно превышающих по размерам современные русла соответствующих рек. Они известны под названием широтных долин, макромеандров, больших излучин (Dury, 1964; Панин, Сидорчук, 2006). По этим палеоруслам проходил речной сток, служивший основным источником воды для морских затоплений – трансгрессий внутренних озерно-морских бассейнов.

Склоновые затопления охватили практически все склоны долин и других элементов рельефа и проявились особенно активно в весенне-летний сезон во время интенсивного таяния многолетней мерзлоты, усиливая солифлюкционные потоки вниз по склонам, их увлажнение, плоскостной сток воды, накопление мелкоземистых осадков на перегибах склонов. Таяние вечной мерзлоты и склоновые затопления явились дополнительными источниками воды для формирования речных сверхполоводий. Эти процессы наиболее изучены при детальных исследованиях на палеолитических стоянках.

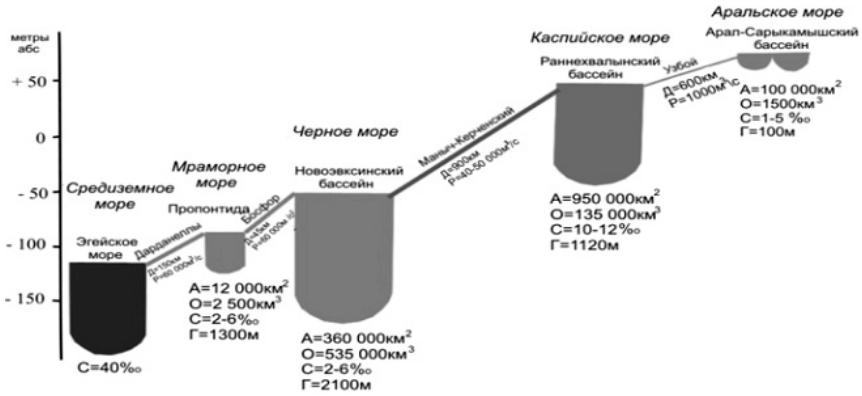


Рис. 3. Каскад Евразийских бассейнов 17–15 тыс. лет назад
(палеогидрологический профиль)

Сокращения: А – площадь акватории, С – соленость (‰), О – объем водной массы, Г – максимальная глубина, Р – расход воды, Д – длина проливов.
Типы бассейнов: А) Полупресноводный, Б) Солоновато–водный, В) Морской

Междуречные затопления охватили огромные площади плато и междуречий со сравнительно плоским рельефом. В результате неравномерного таяния многолетней мерзлоты активизировались процессы термокарста и значительно возросла площадь термокарстовых озер – палеоаласов. Заозеривание междуречий привело к увеличению площади акваторий и сокращению площади суши.

Все эти процессы затоплений (потопов) активизировались в периоды потеплений на фоне ледникового климата и были синхронизированы и четко связаны между собой, образуя единую систему событий эпохи экстремальных затоплений.

Библейская версия потопа

Рассмотрим библейскую версию гидрологических событий Всемирного потопа. Начало Потопа описано так:

«…Разверзлись все источники великой бездны, и окна небесные отворились; и лился на землю дождь сорок дней и сорок ночей» (Бытие 7,11–12).

Дальнейшее развитие событий привело к возникновению экстремальных гидрологических явлений:

«И продолжалось на земле наводнение сорок дней (и сорок ночей), и умножилась вода... и он (ковчег) возвысился над землею.

*Вода же усиливалась и весьма умножалась на земле; и ковчег плавал на поверхности вод» (Бытие **7**, 17–18).*

Далее приводятся масштабы и последствия экстремальных гидрологических событий:

*«И усилилась вода на земле чрезвычайно, так что покрылись все высокие горы, какие есть под всем небом. На пятнадцать локтей поднялась на ними вода… И лишилась жизни всякая плоть, движущаяся по земле… Вода же усиливалась на земле сто пятьдесят дней» (Бытие **7**, 19–24).*

Это был пик потопных событий, максимальный подъем уровня. После этого наводнение пошло на спад:

*«…И навел Бог ветер на землю, и воды остановились. И закрылись источники бездны и окна небесные, и перестал дождь с неба... И остановился ковчег в седьмом месяце, в семнадцатый день месяца, на горах Араратских. Вода постоянно убывала до десятого месяца; в первый день десятого месяца показались верхи гор (Араратских)» (Бытие **8**, 1–5).*

Завершение потопных событий описано так:

*«Шестьсот первого года (жизни Ноевой) к первому дню первого месяца иссякла вода на земле; и открыл Ной кровлю ковчега и посмотрел, и вот, обсохла поверхность земли. И во втором месяце, к двадцать седьмому дню месяца, земля высохла» (Бытие **8**,13–14).*

Хронология и локализация библейского потопа

Возраст потопа. Время потопных событий определено в библейском календаре от рождества Ноева, аналогично современному календарю с отсчетом времени от Рождества Христова.

«Ной же был шестисот лет, как потоп водный пришел на землю» (Бытие *7*, 6).

Эта дата имеет вид: 600 г. Р.Н. (рождество Ноева). Правда, эта дата не привязана к другим известным датам, в том числе к настоящему времени. Но богословы уже давно вычислили дату Потопа, используя данные о рождении, смерти и продолжительности жизни последующих поколений многочисленных потомков Ноя (Бытие **10–11**).

Временные рамки библейского Потопа по разным источникам варьируют от 4,5 до более 10 тыс. лет. Так, потоп в Месопотамии определяется в интервале 4500–6000 лет (Роу, 2003), однако

этот потоп не был Всемирным, это скорее описание крупного наводнения. Что касается библейского Потопа, то по новейшим исследованиям, основанным на разных источниках, преобладают датировки от XII до IX тысячелетия до н. э. (Баландин, 2003), т.е. от более 13 до 12 тысяч лет назад. Значит, возраст Потопа уходит в конец ледникового периода, причем не в самый его финал. Длительность Потопа также варьирует от двух недель до нескольких месяцев. В богословской литературе есть даже точная дата Всемирного потопа – 9545 лет до н. э. (Леонов и др., 2002), т.е. 11 949 лет назад. Довольно близкие датировки событий Потопа получены на основании изучения его отложений: хвалынских отложений Каспия, новоэвксинских осадков Черного моря, а также аллювиальных осадков, заполняющих макроизлучины в речных долинах.

Важно, что эта дата хорошо согласуется с радиоуглеродными датами Позднехвалынской трансгрессии (Chepalyga et al.., 2009).

Длительность плавания Ноя. До сих пор господствует мнение, что Потоп и путешествие Ноя продолжались всего 40 дней. Но это глубоко ошибочное представление: внимательное чтение Библии позволяет установить значительно большую продолжительность этих событий.

Для более точного определения длительности плавания Ноя нужно выявить дату исхода – старта и дату сошествия, т.е. его конца и высадки из ковчега. Обе эти даты указаны в Книге Бытия достаточно точно, правда, в системе отсчета времени от рождества Ноева. Но это не помешает нам определить время плавания с точностью до одного дня.

Время исхода, т.е. отплытия, определяется следующей цитатой:

«...Воды потопа пришли на землю. В шестисотый год жизни Ноевой, во второй месяц, в семнадцатый день месяца...» (Бытие 7, 10–11).

По аналогии с современным календарем это будет выглядеть так: 17.02.600 г. Р.Н. (от рождества Ноева). И далее:

«В сей самый день вошел в ковчег Ной и Сим, Хам и Иафет, сыновья Ноевы, и жена Ноева, и три жены сынов его с ними» (Бытие 7, 13).

Время сошествия с ковчега (вблизи горы Арарат) приведено точно в главе 8 Книги Бытия:

«Шестьсот первого года (жизни Ноевой) к первому дню первого месяца иссякла вода на земле; и открыл Ной кровлю ковчега, и посмотрел, и вот, обсохла поверхность земли. И во втором месяце к двад-

*цать седьмому дню месяца земля высохла… И вышел Ной, и сыновья его, и жена его, и жены сынов его с ним» (Бытие **8**, 13–14, 18).*

В современном виде дата сошествия имеет вид 27.02.601 г. Р.Н. Разница в датах исхода (17.02.600 г. Р.Н.) и сошествия (27.02.601 г. Р.Н.) составляет один год и 10 дней. Это и есть полная продолжительность плавания Ноя, от посадки на ковчег до высадки на землю, – всего 375 дней.

Правда, чистое время плавания по морю может получиться несколько меньше. Нужно вычесть время от посадки на корабль (17.02.600 г. Р.Н.) до всплытия ковчега (до 40 дней) и после открытия кровли ковчега 01.01.601 г. Р.Н. до полного высыхания земли 27.02.601 г. Р.Н., т.е. 57 дней. Тогда продолжительность плавания Ноя в акватории Хвалынского бассейна составит от 278 до 318 дней, т.е. менее одного года, в среднем 300 дней.

Расстояние плавания Ноя. Теперь, зная длительность плавания, можно приблизительно оценить расстояние, которое проплыл Ной на ковчеге за это время. Логично, что он плыл в одном направлении, с севера на юг, достаточно целенаправленно. Вначале плавание проходило в палеоэстуарии Волги, ковчег медленно дрейфовал вниз по течению до впадения в море и далее – вдоль западных берегов Хвалынского моря. Примем реальную среднюю скорость плавания около 5 км в день, учитывая также неизбежные остановки для пополнения запасов и по метеоусловиям. Тогда скорость движения могла составлять около 200 м/час. За время плавания в течение года корабль мог покрыть расстояние около 1500 км. Это превышает длину современного Каспия с севера на юг (1200 км). Казалось, что это противоречит библейской версии. Однако нужно учесть, что Позднехвалынский бассейн того времени имел более высокий уровень, выше отметок ±0 м абс. и более обширную акваторию, его длина с севера на юг достигала 1400–1500 км, а если учитывать палеоэстуарий Волги, то и несколько больше – 1500–1600 км, что примерно соответствует дистанции, покрытой за время плавания Ноя. Это достаточно хорошее совпадение палеогеографических и библейских данных.

Место потопных событий в ЭЭЗ. Теперь можно определить по библейским источникам место действия, т.е. акваторию, в которой проходило плавание Ноя. Для этого необходимо сначала выявить тип морского бассейна, его размеры и географическое положение по упоминаемым в первоисточнике географическим объектам.

Все эти сведения можно получить из Библии, точнее из Книги Бытия (Ветхий Завет) в главах 7, 8 и 9. Весьма полезным для этой цели будет также реконструкция плавсредства – Ноева ковчега.

При определении типа бассейна исходим из того, что быстрый подъем уровня воды невозможен в водоеме, соединенным с океаном, т.к. уровень океана из-за его размеров и инерционности не может подняться так быстро. Значит, это был внутриконтинентальный замкнутый водоем без связи с океаном. Теперь можно определить географическое положение этого водоема по подсказкам из самой Библии. В Книге Бытия упоминается, что плавание Ноя проходило вдоль гор Араратских:

*«И остановился ковчег в седьмом месяце, в семнадцатый день месяца, на горах Араратских» (Бытие **8**, 4).*

Упомянутые здесь «горы Араратские» имеют прямое отношение к Кавказу. Причем не только к Большому Кавказу, но и к Малому Кавказу, где и расположена гора Арарат, как место сошествия и конца путешествия Ноя. А ближайший большой изолированный водоем расположен как раз восточнее гор Кавказа в Каспийской котловине. Если привлечь палеогеографические данные, то можно реконструировать потопный бассейн времени плавания Ноя. В это время (11–12 тыс. лет назад) здесь существовал Хвалынский бассейн в поздней фазе трансгрессии, т.е. Позднехвалынское море с максимальным уровнем воды (хайстендом) от отметок ±0 м абс. (Махачкалинская фаза) до + 15 м абс. (Туркменская фаза). Поскольку основные параметры бассейнов этих фаз нам уже известны, их можно использовать для реконструкции библейских событий, в том числе и плавания Ноя.

Ноев ковчег

Большое значение для реконструкции потопных событий и плавания Ноя имеет восстановление типа и размеров плавредства, на котором плавал Ной, Ноева ковчега. Основные его размеры приводятся в Книге Бытия и могут быть использованы для интерпретации параметров водоема и потопных событий:

«Сделай себе ковчег... и сделай его так: длина ковчега триста локтей, ширина его пятьдесят локтей и высота его тридцать локтей».

Учитывая, что локоть в древние времена составлял около 0,45 м, то в метрических единицах это будет: длина – 135, шири-



Рис. 4. Ноев ковчег в Хвалынском море
(реконструкция А.Л. Чепалыги, художник А.В. Кондратьев).
Параметры этого плавсредства согласно Библии (Бытие, 6): длина корабля – 135 м, ширина – 22,5 м, высота – 13,5 м. Основа корабля – бревенчатый плот

на – 22,5 и высота – 13,5 м (рис. 4). По размерам – это достаточно крупное плавсредство даже для современных судов. Обращает на себя внимание соблюдение идеальных пропорций ширины и длины (1:6), принятых и сейчас в кораблестроении. Это значит, что ковчег был предназначен для дальнего и длительного плавания.

Что касается материала, из которого был построен ковчег, то это, конечно, деревянное судно, о чем четко сказано в Библии. Причем именно из одной породы дерева:

*«Сделай себе ковчег из дерева гофер…» (Бытие **6**, 14).*

Дерево гофер – это скорее всего хвойное дерево, а именно лиственница Larix sibirica, т.к. она не гниет в воде. В подтверждение этого есть указание, что ковчег был пропитан смолою для герметичности:

*«…Отделения сделай в ковчеге и осмоли его смолою изнутри и снаружи» (Бытие **6**, 14).*

Как же выглядел и как устроен был Ноев ковчег? Скорее всего он не имел никакого сходства с рисунками Доре и других художников, посвященным Всемирному потопу, где изображен деревянный

корабль современного типа, сделанный из пиломатериалов. Но это невозможно, так как по всем законам кораблестроения корабль таких размеров может быть только цельнометаллическим, а деревянное судно сразу развалится. Да и технологические возможности того времени (11–13 тыс. лет назад), и стройматериалы были весьма ограниченными и позволяли реально построить только самое простое и примитивное плавсредство – деревянный плот. Но это был не простой плот, а трехпалубный. Об этом есть прямые сведения из Библии: во-первых, большая высота корабля (15 м) (Бытие **6**, 15) уже предполагала наличие нескольких ярусов построек или палуб. Во-вторых, – прямые указания Ною по устройству ковчега:

*«Отделения сделай в ковчеге…» (Бытие **6**, 14).*

*«Устрой в нем нижнее, второе и третье жилье» (Бытие **6**, 16).*

Предназначение этих трех палуб может интерпретироваться исходя из потребностей плавания. Так, нижняя палуба могла быть населена только животными, что также логично и решало проблему уборки помещения путем смыва навоза морскими волнами. Третья палуба, вероятно, использовалась как командный мостик и резиденция Ноя с его семейством. Что касается второй (средней) палубы, то ее могли занимать команда и обслуживающий персонал. Не могли же всего шесть человек (три сына и три невестки Ноя) управляться с навигацией, вахтенной службой, ухаживать за животными, заниматься кухней, уборкой и другими многочисленными обязанностями на таком большом корабле, да еще при столь длительном плавании. Значит, была еще дополнительная команда: моряки, слуги, пленники, которые могли размещаться на средней палубе.

Анализ параметров Ноева ковчега позволяет реконструировать также природную среду того времени и уточнить место начала плавания. Для строительства плота-ковчега понадобилось большое количество стройматериалов, в первую очередь дерева. Можно посчитать объем материала. Площадь нижней палубы ковчега при размерах 135×25 м составляла 3037,5 м^2, а если взять бревна среднего диаметра 0,5 м и длиной по 10 м, то получится 750 бревен общим объемом до 1000 м^3. И это только нижняя палуба и только один слой бревен. На весь ковчег потребовалось громадное количество высококачественного леса-кругляка, причем одной только породы – лиственницы. Столько леса можно было собрать только в устье великой реки, которой могла быть только Волга – крупнейшая река Ев-

ропы. Остальные реки бассейна Каспия – небольшие и горные, а в горах в то время лесов не было. По палинологическим данным лиственничные леса тогда произрастали в бассейне Волги и Камы и на всей Русской равнине.

Поэтому данные по Ноеву ковчегу дают основание считать местом исхода Ноева племени палеоэсутуарий Волги, впадавшей в Позднехвалынский бассейн где-то в районе нынешней Прикаспийской низменности около 50º с.ш. Расстояние отсюда до конечной точки плавания (южного побережья Хвалынского моря и горы Арарат) составляет 1500–1600 км, что примерно равно нашим расчетам расстояния годового плавания Ноева ковчега. Это хорошее совпадение библейских и палеогеографических данных.

Источники воды Всемирного потопа

Что касается источников воды, то в Книге Бытия имеются достаточно четкие указания, полезные для палеогидрологических реконструкций. В Главе 7 приводятся сведения, что Потоп начался с того, что

«…Разверзлись все источники великой бездны...» (Бытие,7,11),

а потом только

«…Окна небесные отворились и лился на землю дождь сорок дней и сорок *ночей»[там же].*

Интерпретация второй цитаты не вызывает споров – имело место проявление интенсивных атмосферных осадков в виде дождя. А вот первая цитата до сих пор не трактовалась как объективное явление. А ведь это очень важно, скорее всего, выражение «источники великой бездны» следует понимать как подземные водные источники, в том числе родники, мочажины, болота, солифлюкционные потоки на склонах и питающиеся ими речные сверхполоводья, переполненные озера. То, что «источники великой бездны» упомянуты первыми, раньше атмосферных осадков, может свидетельствовать о преобладании стока подземных вод, связанных с таянием вечной мерзлоты, перед дождевыми осадками. И это хорошо согласуется с нашей полиландшафтной концепцией ЭЭЗ, включающей, кроме морских затоплений, также речные сверхполоводья, склоновые затопления и заозеривание междуречий палеоаласами (Chepalyga, 2006). В ней как раз найдется место для подземных и грунтовых вод из источников «великой бездны». Тоже неплохое совпадение библейских данных с событиями ЭЭЗ.

Реконструкция плавания Ноя

Ранее выявлено, что плавание ковчега проходило в акватории Хвалынского моря, наиболее вероятно, в бассейне Туркменской фазы развития Хвалынской трансгрессии с уровнем моря на отметках +15 м абс. Площадь моря тогда составляла 809 тыс. км² и более чем в 2 раза превышала размеры акватории современного Каспия (380 тыс. км²), а объем воды достигал 102 тыс. км³ (в 1,4 раза больше современного Каспия). Берега моря были извилистыми, особенно на северном берегу, длина береговой линии (9458 км), однако, была наименьшей среди Хвалынских бассейнов (в хайстендах), но больше современной в 1,6 раза. Особенно сложной была береговая линия северного побережья, где было много заливов, полуостровов и несколько островов. Самый крупный залив вдавался глубоко в сушу вдоль современной долины Волги, а севернее поворота Волги он продолжался в виде глубоковдающегося в сушу, но узкого эстуария, откуда предположительно вышел в море Ноев ковчег. Это Волжский палеоэстуарий.

Начало плавания (исход). Реконструкцию плавания Ноя начнем с установления крайних точек путешествия: погрузки на ковчег (исход) и высадки (сошествия). Что касается последнего, то традиционно местом сошествия считается гора Арарат в Малом Кавказе, недалеко от побережья Хвалынского моря.

Теперь определим место начала плавания. Учитывая удлиненность моря с севера на юг на 1600 км и место высадки близ южного побережья, можно предположить, что Ной плыл на юг с севера. Это подтверждается данными по Ноеву ковчегу. Необходимость сбора большого количества лесоматериалов для ковчега предполагает начать плавание с северных берегов Хвалынского моря, точнее из палеоэстуария Волги. Это было единственное место на каспийских берегах с богатыми запасами леса-плавника.

Теперь проверим эту гипотезу по сведениям из первоисточника. В Книге Бытия (глава 9) описывается, что вскоре после окончания плавания и высадки из ковчега (предположительно вблизи горы Арарат) Ной имел опыт дегустации виноградного вина. Но этот опыт оказался первым и поэтому неудачным. Ной выпил вина и упал голый в палатке, чем вызвал насмешки даже своего сына Хама:

«И выпил он вина, и опьянел и лежал обнаженным в шатре своем. И увидел Хам, отец Ханаана, наготу отца своего и, выйдя, рассказал братьям своим… Ной проспался от вина своего и узнал,

*что сделал над ним меньший сын его, и сказал: проклят Ханаан; раб рабов будет он у братьев своих» (Бытие **9**, 21–22, 24–25).*

Как могло случиться, что такой праведный и непорочный человек, как старец Ной (ему был уже 601 год), так непристойно вел себя? Ведь он был богоугодным и даже после плавания его благословил сам Господь! Ответ может быть только один: Ной не знал коварных свойств вина, потому что до плавания он его никогда не пробовал. Значит, он прибыл сюда из страны, где не растет виноград, т.е. из более холодной страны, и родина Ноя находится далеко к северу от Арарата и Кавказа. А так как ковчег покрыл расстояние 1500–1600 км, то нужно отмерить это расстояние от южного берега Каспия на север, чтобы попасть на родину Ноя. И тогда мы попадаем на северо-западное побережье Хвалынского моря, в палеоэстуарий Волги, где-то около 50˚с.ш. Опять достаточно хорошее совпадение библейских данных с палеогеографическими реконструкциями.

Этапы плавания Ноя

Первый этап плавания. Итак, плавание Ноя проходило с севера на юг, из палеоэстуария Волги до южного побережья Хвалынского моря (рис. 5). Наиболее вероятно, что вначале Ноев ковчег медленно дрейфовал в эстуарии Волги вниз по течению, вплоть до ее впадения в море. А затем ковчег двигался на юг вдоль западного берега Хвалынского моря. Поэтому, на первом этапе плавания, который продолжался 5 месяцев (150 дней), сведений о побережье или других ориентирах в библейском описании путешествия не приводится, только описываются потопные события и гибель всего живого. Причиной этого может быть отсутствие каких-либо примечательных объектов на берегах. Если принять нашу реконструкцию, то это вполне объяснимо. Плавание проходило в Северном Прикаспии вдоль плоских низменных берегов, да еще заросших тростником и прибрежной растительностью. Так что с корабля этого низкого берега почти не было видно. Только через 150 дней показались горы, вернее верхи гор Араратских.

*«И остановился ковчег в седьмом месяце, в семнадцатый день месяца, на горах Араратских» (Бытие **8**, 4).*

Под этим названием в Библии понимаются горы Кавказские, причем не только Большого Кавказа, но и Малого Кавказа, где расположена гора Арарат, место сошествия с ковчега.

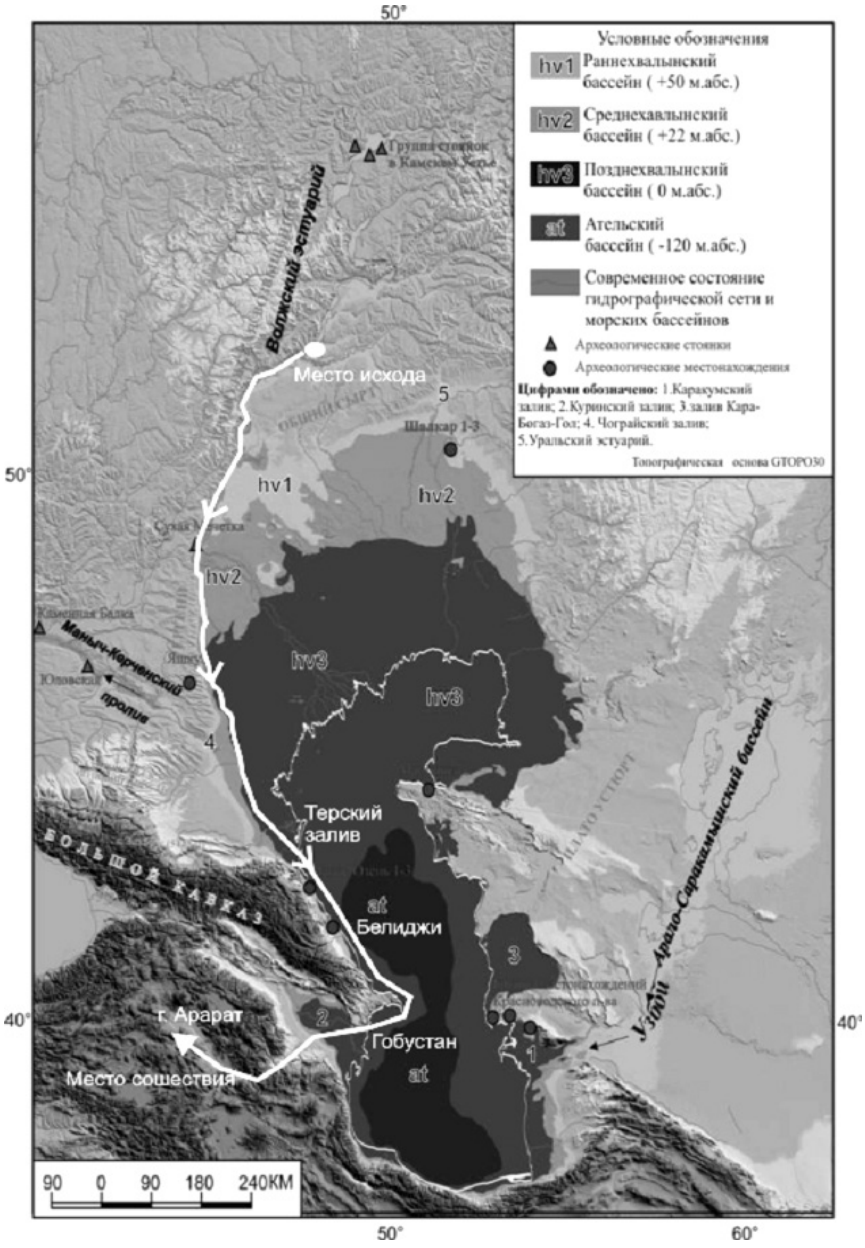


Рис. 5. Маршрут путешествия Ноя

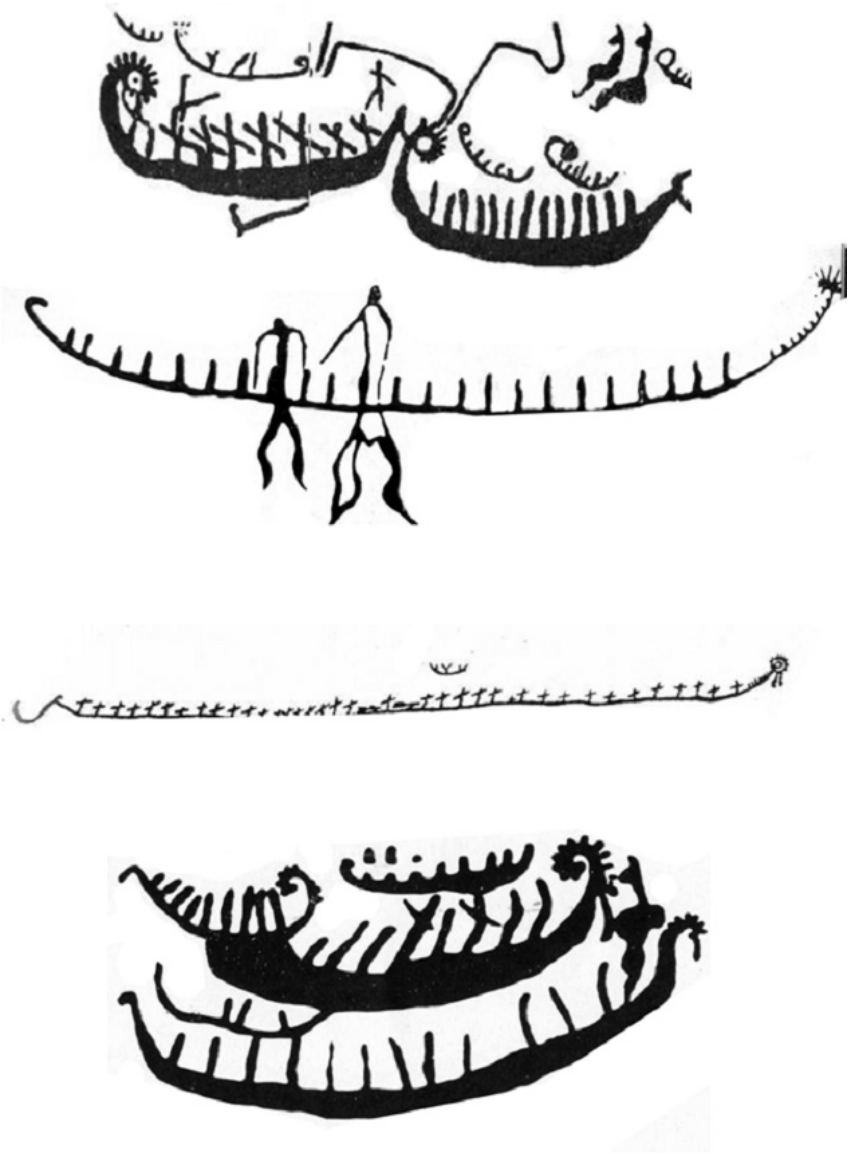


Рис. 6. Свидетельства древнейшего судоходства на Каспии.
Наскальные рисунки Гобустана (по И.М. Джафар-заде, 1973)

Второй этап. Попробуем определить, где же Ной мог впервые увидеть вершины Кавказских гор. Если проплыть вдоль западного берега Хвалынского моря на юг, 700–800 км до 43˚с.ш., то попадаем в современную дельту Терека, тогда затопленную до отметки +15 м абс. водами Терского палеозалива. Отсюда действительно можно наблюдать в хорошую погоду снежные вершины Кавказа, даже гору Эльбрус. Сколько же мог проплыть Ноев ковчег за 150 дней плавания со скоростью 5км/день? Это будет 5×150 км = 750 км. Опять удивительное совпадение расчета расстояний по библейским данным и палеогеографическим реконструкциям.

Третий этап продолжался еще полтора месяца (45 дней), плавание проходило вдоль Кавказского побережья:

*«Вода постоянно убывала до десятого месяца; в первый день десятого месяца показались верхи гор» [Араратских] (Бытие **9**,5).*

За это время ковчег мог проплыть около 220–250 км и оказаться в районе устья Самура, между Дербентом и Апшеронским полуостровом. Именно здесь Кавказские горы близко подходят к берегу Хвалынского моря. Здесь, в отложениях Туркменской стадии Хвалынского моря, у с. Билиджи, была обнаружена костяная чаша, изготовленная человеком из коленной чашечки мамонта – билиджайская чаша. Так как мамонты в это время здесь не обитали, можно предположить что она была принесена с севера племенем кроманьонцев, мигрировавших, как и Ной, из бассейна Волги. Опять хорошее совпадение библейских, палеогеографических и археологических данных.

Четвертый этап. Следующий переход, продолжительностью 40 дней, завершился 31.12.600 г. Р.Н. значительно южнее:

*«По прошествии сорока дней Ной открыл… окно ковчега» (Бытие **8**,6).*

За это время ковчег мог проплыть 5×40 км = 200 км. Отмерим на юг вдоль берега еще 200 км и попадаем к югу от Апшерона в устье р. Пирсагат. Чем же примечательно здесь побережье? Здесь, в районе Гобустана, среди скалистых берегов и удобных бухт, могла быть очередная стоянка Ноева ковчега.

Именно здесь, в Гобустане, имеются следы крупной якорной стоянки древних кораблей и поселений человека в течение многих тысяч лет, от палеолита до Средневековья. Об этом свидетельствуют многочисленные наскальные рисунки древних кораблей (рис. 6). Среди них есть и плоскодонные корабли, похожие на плоты, причем они самые большие и самые древние и имеют возраст 9–10 тыс. лет. На одном из

них изображены 37 человек, сидящие с луками наперевес, но без весел. Это были, вероятно, воины, среди них двое (погибших) лежат, а один стоит, вероятно, жрец или вождь. Здесь можно опять зафиксировать совпадение не только библейских, палеогеографических, но и археологических данных.

Финал плавания. Далее путь Ноя, вероятно, пролегал через Куринский залив к юго-западному берегу Хвалынского моря, откуда уже совсем недалеко до горы Арарат и Араратской долины – предполагаемого места сошествия с ковчега. Вполне возможно, что на завершающем этапе плавания, с 01.01.601 г. Р.Н. по 27.02.601 г. Р.Н., экспедиция Ноя исследовала южное побережье моря, пока не остановилась в Араратской долине. Это место оказалось для Ноя более комфортным, чем засушливое побережье моря южнее. Здешний ландшафт горного редколесья Араратской долины, орошаемого многочисленными речками и ручьями и богатого дикой фауной, был более привычным, похожим на родные лесостепи Среднего Поволжья.

Итак, при наложении библейского описания Потопа и плавания Ноя на реконструированные события ЭЭЗ можно отметить многочисленные совпадения этих параметров, как количественные, так и фактические, что подтверждает реальность библейских потопных событий (табл.).

Место библейского потопа в событиях ЭЭЗ

Теперь, после выяснения всех деталей плавания Ноя, можно определить место и время этого события в природных процессах ЭЭЗ. По длительности эти процессы несопоставимы: период ЭЭЗ продолжался 6 тыс. лет, а плавание Ноя – всего около года. Это значит, что плавание на ковчеге представляет собой всего лишь короткий эпизод на фоне более длительных событий ЭЭЗ. Соответственно и значение этих событий оценивается по-разному. Исходя из библейского текста первичными были грехи человеческие, кара Господня и чудесное спасение Ноя. А Потоп был вторичным, он был необходим как фон и мотивация для спасения племени Ноя и всего человечества. Всемирный потоп, или библейский Потоп, был, вероятно, всего лишь одним из весенне-летних половодий во время одного из хайстендов (+15 м абс.) Хвалынской трансгрессии.

На самом деле основным процессом выступают события Всемирного потопа, а в природе – это ЭЭЗ и Хвалынская трансгрессия, которые начались гораздо раньше (на четыре тысячи лет) и продолжались

Таблица. Хронология библейского Всемирного потопа и плавания Ноя

Даты от рождения Ноя	**Длительность событий Потопа**		**Основные события Потопа и плавания Ноя**	**Цитаты из Библии: Ветхий Завет, Книга Бытия, Главы 6, 7, 8**
До 10.02.600 г.	Несколько месяцев или лет		Подготовительный этап: заготовка стройматериалов и строительство ковчега	«Сделай себе ковчег из дерева гофер… И сделай его так: длина ковчега 300 локтей, ширина его 50 локтей и высота его 30 локтей» (Бытие, 6).
С 10.02.600 по 16.02.600 г.	7 дней		Загрузка припасов и взятие на борт пассажиров	«И сказал Господь Ною: войди ты и все семейство твое в ковчег... ибо через 7 дней Я буду изливать дождь на землю...» (Бытие, 7)
17.02.600 г.			Начало Потопа: сильное наводнение	«Через 7 дней воды потопа пришли на землю. В 600-й год жизни Ноевой, во второй месяц, 17-й день месяца...» (Бытие, 7)
С 17.02.600 по 26.03.600 г.	I этап	40 дней	Подъем уровня воды до всплытия ковчега	«И продолжалось на земле наводнение 40 дней, и умножалась вода...» (Бытие, 7)
27.03.600 г.			Всплытие ковчега, начало плавания Ноя	«...И умножилась вода, и подняла ковчег, и он возвысился над землею. Вода же усиливалась и весьма умножалась на земле; и ковчег плавал по поверхности вод» (Бытие, 7)
С 27.03.600 по 16.07.600 г.		110 дней	Первый этап плавания: от всплытия до прибытия в район гор Араратских	«И усилилась вода на земле чрезвычайно, так что покрылись все высокие горы... на 15 локтей (6,?% м) поднялась над ними вода… вода же усиливалась на земле 150 дней» (Бытие, 7)
17.07.600 г.			Прекращение наводнения и притока вод от дождей и земных источников	«…И навел Бог ветер на землю, и воды остановились. И закрылись источники бездны и окна небесные, и перестал дождь с неба. Вода же... стала убывать… по окончании 150 дней» (Бытие, 8)

17.07.600 г.			Прибытие Ноя в район «гор Араратских» в Терский палеозалив, спад уровня воды	«И остановился ковчег в 7-м месяце, в 17-й день месяца, на горах Араратских» (Бытие, 8)
С 17.07.600 по 31.09.600 г.	II этап	75 дней	Второй этап плавания вдоль гор, продолжение спада уровня воды	«Вода постепенно убывала до 10-го месяца» (Бытие, 8)
01.10.600 г.			Показались вершины гор [Араратских?]	«...В 1-й день 10-го месяца показались верхи гор [Араратских?]» (Бытие, 8)
С 01.10.600 по 10.11.600 г.	III этап	40 дней	Третий этап плавания в виду гор [Араратских?]	
С 11.11.600 по 31.12.600 г.	IV этап	50 дней	Навигационные операции Ноя с птицами в поисках подходящего места высадки	«По прошествии 40 дней Ной открыл… окно ковчега и выпустил ворона. [Ворон]... вылетев, отлетал и прилетал, пока осушилась земля от воды. Потом выпустил от себя голубя, но голубь... возвратился к нему в ковчег… И помедлил еще 7 дней других и опять выпустил голубя из ковчега. Голубь возвратился к нему… свежий масличный лист во рту у него... Он помедлил еще 7 дней других и выпустил голубя; и он уже не возвратился к нему» (Бытие, 8)
01.01.601 г.			Остановка ковчега [на горе Арарат] и открытие кровли ковчега	«601 года жизни к 1-му дню 1-го месяца иссякла вода на земле; и открыл Ной кровлю ковчега и посмотрел, и вот, обсохла поверхность земли» (Бытие, 8)
С 01.01.601 по 27.02.601 г.	V этап	2 месяца	Просушка земли от вод Потопа	«И во 2-м месяце, к 27-му дню месяца, земля высохла» (Бытие, 8)
27.02.601 г.			Конец плавания, выгрузка с ковчега	«И вышел Ной, и сыновья его, и жена его, и жены сынов его с ним. Все звери, все гады… вышли из ковчега» (Бытие, 8)

еще две тыс. лет до конца плейстоцена. Значит, библейские события Потопа и плавания Ноя развивались на фоне гораздо более длительных и масштабных событий ЭЭЗ и представляют собой лишь частный эпизод истории ЭЭЗ. Возможно, что плавание Ноя является не уникальным событием, а одним из эпизодов массовых миграций позднепалеолитических племен кроманьонцев из бассейна Волги через Хвалынское море на Кавказ, в Закавказье и далее на Ближний Восток. Это мог быть один из серии целенаправленных походов на юг более высокоразвитых племен кроманьонцев Северной Евразии для открытия и завоевания новых земель, Прикаспия и Центральной Азии, заселенных тогда более примитивными племенами неандертальцев. Это подтверждается археологическими данными, т.к. на берегу Каспия имеются мустьерские стоянки, расположенные на хвалынских террасах в районе р. Манас-озень (Амирханов, 1986), но нет позднепалеолитических находок. Такая же ситуация для всего Каспийского региона, где нет позднего палеолита, но зато известны мустьерские стоянки. (Амирханов, 1986). Их возраст очень молодой для мустье, не древнее 12–14 тыс. лет. Значит, неандертальские племена обитали на побережьях Каспия почти вплоть до конца плейстоцена. А в это время, начиная с 40–35 тыс. лет назад, севернее Хвалынского моря и всего каскада Евразийских бассейнов и западнее Кавказа, обитали уже позднепалеолитические племена. Вокруг Каспия и в Средней Азии образовался своеобразный рефугиум (убежище), где сохранились мустьерские племена неандертальцев, обитавшие здесь более 20–25 тыс. лет после их исчезновения из Европы (Chepalyga et al., 2009a).

Плавание Ноя на ковчеге представляется как поход эволюционно продвинутого племени кроманьонцев из бассейна Волги на юг на завоевание новых земель, занятых племенами примитивных неандертальцев, которые в конце плейстоцена были вытеснены более высоко развитыми кроманьонцами. Это были первопроходцы-завоеватели подобно конкистадорам в Америке и русским казакам в Сибири.

Литература

1. *Амирханов Х.А*. Манас-озеньские мустьерские местонахожения в Прикаспийском Дагестане // Новое в археологии Северного Кавказа. М.: Наука,1986. С. 5–26.
2. *Баландин Р. К.* Тайны Всемирного потопа (Тайны веков). М.: Вече, 2003. 360 с.

3. Библия. Книги Священного Писания и Нового Завета, канонические, Московская Патриархия.1988 // Первая Книга Моисея, Бытие. Гл. 6,7,8. С. 9–11.
4. *Джафар-заде И.М.* Гобустан. Институт истории АН Азерб. ССР. Элм. Баку. 1973. С. 374
5. *Леонов Ю.Г. Лаврушин Ю.А. и др.* Новые данные о возрасте отложений трансгрессивной фазы раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря // Доклады Академии Наук. 2002. Т. 386. №2. С. 229–233.
6. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Макроизлучины («большие меандры»): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2006. №6.
7. *Роу Д.* Генезис цивилизаций // Откуда мы произошли. М.: «Эксмо», 2003. 480 с.
8. *Чепалыга А.Л.* Особенности развития внутренних морей в плейстоцене и голоцене // Атлас-монография: Динамика ландшафтных компонентов бассейнов Северной Европы за последние 130 000 лет. Часть 2. «Морские бассейны». М.: ГЕОС, 2002.
9. *Чепалыга А.Л.* Позднеледниковое обводнение в Понто-Каспийском бассейне как прототип Всемирного потопа // Экология антропогена и современности: Природа и человек. СПб.: Гуманистика, 2004.
10. *Чепалыга А.Л.* Прототип Всемирного потопа. М.: Знание – сила, 2005. С. 85–91.
11. *Чепалыга А.Л.* Эпоха экстремальных затоплений (ЭЭЗ) как прототип Всемирного потопа. Понто-Каспийские бассейны и северное измерение // Квартер-2005. Труды 4 Всерос. совещ. по изучению Четвертичного периода. Сыктывкар, 2005а. С. 447–450.
12. *Чистякова И.А., Лаврушин Ю.А.* Суспензиты времени последнего позднеледниковья на территории Русской равнины и прилежащих шельфах: типы, особенности строения и седиментогенеза // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. №65. 2004. С. 36–44.
13. *Chepalyga A.L.* Late Glacial Great Flood in the Ponto-Caspian basin // The Black Sea Flood Question: Changes in coastline, climate and human settlement. Dordrecht, 2006. Pp. 119–148.
14. *Chepalyga A.L.* Noah,s Flood in the Ponto-Caspian region: theory, influence on the BSMC corridor and a reconstruction of Noah, s voyage // Extended abstracts OGSP 521-481 Joint Meeting and Trip. Gelendzhik; Kerch, 2007. Pp. 35–36.
15. *Chepalyga A., Arslanov H., Yanina T.* Detailed age control of Khvalynean basin history // Collection papers of Intern. geosciences program conference, project 521 «Black Sea-Mediterranean corridor» Izmir, 2009. Pp. 71–75.

16. *Chepalyga A.L., Dolukhanov P.M., Shkatova V.K. and Lavrentiev N.V.* Late Quaternary Caspian: Sea-Levels, Environments and Human Settlement // The Open Geography Journal. 2009a. №2. Pp. 1–15.
17. *Dury G.H.* General theory of meandering valleys // US Geol. Surv. 1964. Prof. Pap. 452-A, B.

A.L. Chepalyga

HISTORY OF NOAH'S FLOOD (EXTREME INUNDATION EPOCH) ON THE BASIS OF PALEOHYDROLOGOCAL RECONSTRUCTIONS AND BIBLE TEXTS

On the basis of paleohydrological studies Extreme Inundation Epoch event was reconstructed, including Cascade of Eurasian Basins (Ponto-Caspian), river superfloods and marine transgressions (Khvalynean, Caspian basin). Using Bible texts events of Noah's Flood simulated: Noah' arc parameters, Flood water sources, rout of Noah' cruise along the Khvalynean sea and archeological data support.

Е.А. Барабанова, А.Ф. Бумакова, И.С. Зайцева, Н.И. Коронкевич

К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Рассматриваются критерии и показатели экстремальных гидрологических ситуаций (ЭГС). В качестве основных ЭГС выделены многоводье, маловодье и загрязнение природных вод. Составлены картосхемы их распределения по территории Российской Федерации. Дана интегральная оценка опасности основных видов ЭГС. Показано, что наиболее остро интегральная гидрологическая опасность проявляется в ряде областей юго-запада России.

Введение

Даже обычная гидрологическая ситуация таит в себе опасность для человека и животных при несоблюдении элементарной осторожности. Свидетельствует об этом, например, значительное число ежегодно утонувших в подчас идеальных природных условиях. Но особую опасность (именно со стороны водной среды) представляют, конечно, экстремальные гидрологические ситуации (ЭГС). Причем эта опасность выражается как в угрозе для здоровья и жизни людей, животных, экосистем, так и для различного рода материальных ценностей. Не всегда эта опасность реализуется, даже если ЭГС случается, например, в малонаселенных районах. Если же ЭГС имеет место и сопровождается гибелью людей и животных, крупным материальным ущербом, принято считать их чрезвычайными гидрологическими ситуациями (ЧГС). Соответственно можно, очевидно, говорить о потенциальной (риске) и реализованной опасности гидрологических ситуаций, особенно ЭГС. Для выражения той и другой опасности применяются различные показатели, характеризующие масштабы возможных и произошедших гидрологических ситуаций, причиняемый ими ущерб. В более ранних публикациях авторов (Коронкевич, 2002; Коронкевич и др., 2003, 2005) эта тема уже затрагивалась. В данной статье она получила дальнейшее развитие применительно к трем опасным для большинства видов хозяйственной деятельности, здоровья и жизни людей, а также природных экосистем гидрологическим ситуациям: многоводью, особенно ярко проявляющемуся в виде наводнений; маловодью; экстремальному изменению качественного состава вод (загрязнению).

Критерии опасности гидрологических ситуаций

О потенциальной опасности гидрологических ситуаций известное представление дает уже величина их показателей – очень большая в случае многоводья, загрязнения вод или малая в случае маловодья. Но понятия «большая», «малая» сами по себе весьма условны. Нужно от чего-то отталкиваться, с чем-то сравнивать. Это может быть некий норматив, какая-то средняя величина для данного региона, речного бассейна или соответствующая величина для другого региона, речного бассейна. Очевидно, что все эти оценки носят в основном антропоцентрический характер, который еще более усиливается, когда конкретизируется возможный или уже произведенный ущерб применительно к конкретным регионам, речным бассейнам или административным подразделениям и проживающему в них населению. В случае многоводья и маловодья в качестве потенциальных показателей опасности гидрологической ситуации чаще всего служат объем стока, расход воды в реке, уровень воды в реке, водоеме, в почве и грунтах. Широкое распространение получило подразделение величины показателей в гидрологическом ряду, согласно которому имеющие обеспеченность 25–75% относятся к средним по водности, менее 25% – к многоводным, более 75% – к маловодным. Из них экстремально многоводные имеют обеспеченность менее 5%, а экстремально маловодные – более 95%. В этом отношении интересна дифференциация наводнений с учетом производимого ими ущерба (Воробьев и др., 2003): небольшие (повторяемость 1 раз в 5–8 лет или обеспеченность соответственно 20–12,5%), большие (повторяемость 1 раз в 10–25 лет, обеспеченность 10–4%), выдающиеся (1 раз в 50–100 лет, обеспеченность 2–1%), катастрофические (повторяемость реже, чем 1 раз в 100 лет, обеспеченность менее 1%). Из анализа изложенного следует, что рано или поздно в любом районе, речном бассейне можно ожидать проявления ЭГС. Но, очевидно, что сток одной и той же обеспеченности, например, в степной зоне России, и в горах Кавказа, существенно, в разы, отличаются. Поэтому целесообразно сопоставить расчетные величины гидрологических показателей с каким-либо усредненным показателем. В качестве такового при характеристике водности той или иной территории была использована величина среднего многолетнего стока для России в целом (Коронкевич и др., 2005). В соответствии с принятой градацией к числу наиболее опасных с точки зрения высокой водности года по речному стоку можно отнести районы с отноше-

нием речного стока 5%-ной обеспеченности к среднему многолетнему для России в целом более 2,4 и особенно свыше 3. С позиций маловодности к числу наиболее неблагоприятных отнесены районы с отношением речного стока 95%-ной обеспеченности к среднему многолетнему для России менее 0,3 и особенно менее 0,1. Группой авторов (Арефьева и др., 2001) для суждения об опасности наводнений принят более конкретный показатель – высота подъема воды во время половодья и паводков. Если максимальные уровни воды на 3,3 м и более превышают уровни начала затопления прибрежных территорий – район относится к чрезвычайно опасным. При превышении на 2,1–3,2 м – к весьма опасным и т.д. В работе (Коронкевич и др., 2005) была сделана попытка ввести в эти величины поправочный коэффициент на вероятность превышения этих уровней. Была получена так называемая интенсивность наводнений, представляющая собой результат умножения соотношения конкретной высоты подъема воды на данной территории к средней по России (приблизительно 1 м) и конкретной вероятности затопления к средней (около 25%). Критерием особенно опасной интенсивности наводнений стали ее значения 3,0 и более. МЧС (Шахраманьян и др., 1998) конкретизировало опасность от наводнений в виде размеров территории и числа людей, находящихся в зоне возможного затопления. В случае реально случившейся ЧГС о ее масштабах судят по числу погибших людей и общему материальному ущербу.

Целый ряд показателей для суждения о минимальной водности рек предложен А.М. Владимировым (1976). Среди них нашедший широкое практическое применение 30-дневный (средний месячный) минимальный сток рек.

И.А. Шикломанов и Ж.А. Балонишникова (2008) применили следующую шкалу для оценки остроты маловодий в виде удельной водообеспеченности населения отдельных районов, административных областей, тыс. $м^3$ водных ресурсов на одного человека в год: менее 1,0 – катастрофически низкая водообеспеченность; 1,01–2,0 – очень низкая; 2,01–5,0 – низкая; значения 5,01 и выше свидетельствуют о средней и высокой водообеспеченности территории.

Качество воды чаще всего оценивается по превышению ПДК загрязняющих компонентов или кратности разбавления сточных вод (Единые критерии.., 1982; Критерии.., 1992; Методические указания.., 1988; Никаноров, 2005 и др.). Обзор литературы показывает, что по большинству ингредиентов границей экстремальности слу-

жит 50-кратное превышение ПДК. В то же время по $БПК_5$ соответствующая цифра – 20, а по ряду особо токсичных веществ – до 5.

Представляется целесообразным при использовании в качестве критерия кратности разбавления загрязненных сточных вод (без учета состава загрязняющих веществ) чистой речной водой в среднем за год применять следующую шкалу: менее 10 – экстремально грязная вода, от 10 до 25 – грязная, от 25 до 50 – загрязненная, от 50 до 100 – слабо загрязненная и более 100 – условно чистая.

Весьма актуален вопрос об интегральной оценке остроты гидрологических ситуаций, учитывающей как опасность маловодий, многоводий (наводнений), так и загрязнение вод. Представляется целесообразным использовать при этом балльную систему. Если остроту каждой из указанных трех основных опасностей оценивать в 5-балльной шкале, то в интегральной оценке (допуская равную степень опасности, что, конечно, не всегда корректно) можно предложить следующую шкалу опасности, представляющую собой результаты суммирования по каждой из трех основных гидрологических ситуаций: 3–4 – низкая опасность, 5–6 – умеренная, 7–8 – средняя опасность, 9–11 – высокая, 12–15 – очень высокая.

Оценка опасности гидрологических ситуаций для территории России.

Различным аспектам гидрологических опасностей посвящена обширная литература (Антропогенные воздействия.., 2003; Водные ресурсы России.., 2008; Природные опасности.., 2002; Таратунин, 2008; Тенденции.., 2007 и др.). В статье авторов (Коронкевич и др., 2005) также рассматривалась данная проблема. При этом указанные опасности рассматривались преимущественно довольно разрозненно. В данной статье мы попытались избежать этого и дать комплексную оценку опасности применительно к субъектам РФ, предварительно оценив остроту ситуации по каждому виду опасности в 5-балльной шкале.

На рис. 1 представлена рассчитанная нами на основе карты О.Н. Арефьевой и др. (2001) максимальная высота подъема воды во время половодья и паводков, средняя для каждого субъекта Российской Федерации. Как видно, наиболее неблагополучны при этом регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока, во многом из-за заторов льда. В этот же разряд можно отнести Калужскую, Орловскую, Смоленскую, Ленинградскую, Курганскую, Кемеровскую области, Республику Башкортостан и ряд других. Относительно благополучен

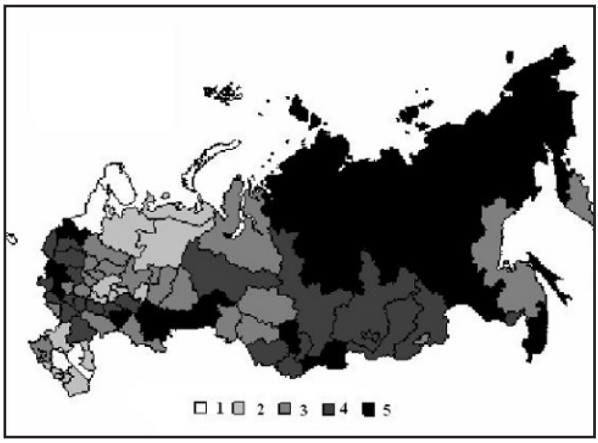


Рис. 1. Высота подъема воды: 1) <0,3; 2) 0,3–0,7; 3) 0,7–1,4; 4) 1,4–2,1; 5) >2,1

северо-запад России. Очевидно, что благополучие или неблагополучие по угрозе от многоводья, наводнений в данном случае оценивается по среднероссийским меркам. В масштабах земного шара Россия в целом существенно уступает по большинству среднемировых показателей интенсивности и ущерба от наводнений (табл. 1).

Для характеристики маловодья использовалась несколько трансформированная градация водообеспеченности населения И.А. Ши-

Таблица 1. Величина ущерба от наводнений за 1998–2002 гг. (Добровольский, Истомина, 2006)

Регион	Ущерб от наводнений, млн. $	Ущерб на 1 наводнение, млн. $	Ущерб на 1 км², $	Ущерб на 1 чел., $.	Ущерб, % от ВВП
Северная Америка	15714	148,2	648	38,80	0,03
Южная Америка	7113	76,5	389	20,44	0,11
Европа	34480	341,4	3448	47,49	0,07
Азия	64881	171,6	1495	17,39	0,17
Африка	1560	13,9	52	1,96	0,06
Австралия	960	29,1	126	49,11	0,04
Итого по миру	**124708**	**151,5**	**932**	**20,69**	**0,08**
Россия	1600	13,1	94	11,04	0,13

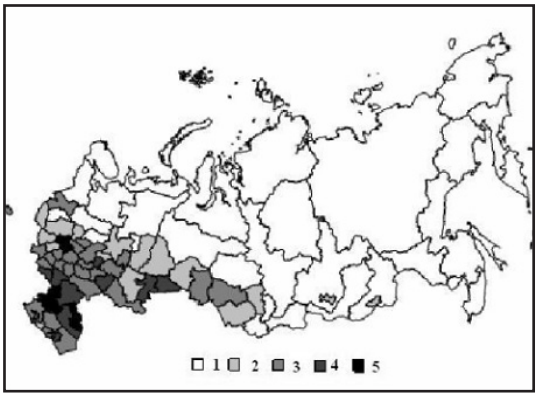


Рис. 2. Обеспеченность населения субъектов РФ ресурсами местного стока:
1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая, 4 – очень низкая,
5 – катастрофически низкая

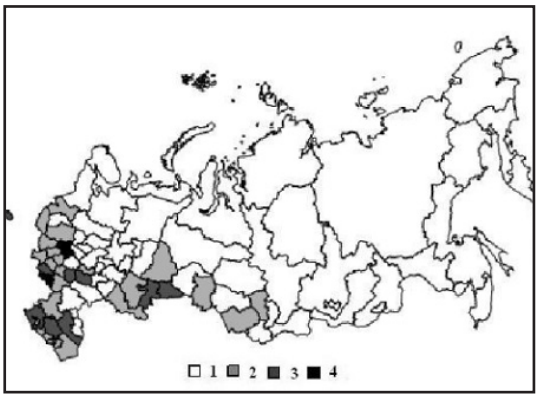


Рис. 3. Обеспеченность населения субъектов РФ ресурсами общего стока
(местного и транзитного):
1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая, 4 – очень низкая

кломанова и Ж.А. Балонишниковой, представленная на рис. 2 и 3. При этом учтены как местный речной сток (рис. 2), так и транзитный (рис. 3). Учет транзитного стока кардинально во многих случаях меняет общую ситуацию, хотя очевидной остается проблемность водообеспечения юго-западных районов России.

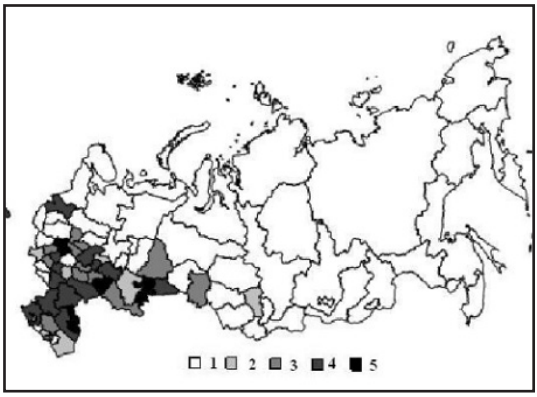


Рис. 4. Кратность разбавления загрязненных сточных вод в субъектах РФ местным стоком:
1 – условно чистая, 2 – слабо загрязненная, 3 – загрязненная, 4 – грязная, 5 – экстремально грязная

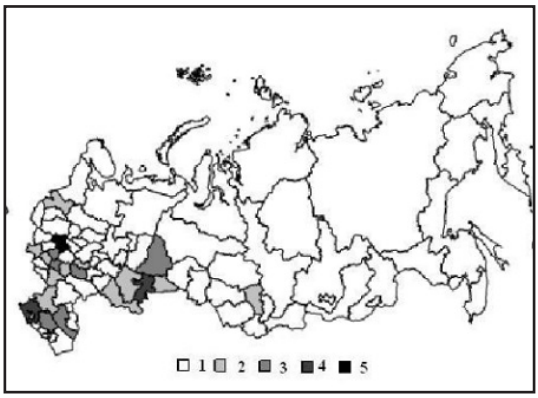


Рис. 5. Кратность разбавления загрязненных сточных вод в субъектах РФ общим стоком:
1 – условно чистая, 2 – слабо загрязненная, 3 – загрязненная, 4 – грязная, 5 – экстремально грязная

Ситуацию с водообеспечением во многом напоминает положение с кратностью разбавления загрязненных сточных вод речными (рис. 4 и 5), которая находилась как средняя за 2001–2005 гг. При этом объем загрязненных сточных вод определялся по А.Д. Думнову и др. (2006).

На основании сведений об остроте и опасности рассматриваемых гидрологических ситуаций составлены сводные картосхемы их интегральной опасности, учитывающие ресурсы местного (рис. 6) и общего (рис. 7) стока. Наиболее острой гидрологической ситуацией, согласно этим картам, характеризуется ряд областей юго-запада России, что объясняется в основном относительно низкой водообеспеченностью и высоким уровнем загрязнения вод в условиях значительной антропогенной нагрузки на них.

Происходящие сейчас процессы трансформации водных ресурсов в сторону их увеличения, особенно в зимнюю и летнюю межень, во многих районах России (Водные ресурсы.., 2008) могут повлиять на представленные оценки. Однако вряд ли они внесут кардинальные изменения. Вместе с тем следует отдавать отчет в том, что балльная система оценок имеет известные недостатки. И один из них в данной работе – равный вес, приданный каждой из рассматриваемых опасностей. Но вопрос «взвешивания» того, какой вид опасности более существен и при каких обстоятельствах – требует специального рассмотрения.

Особого внимания заслуживает и вопрос того, насколько на оценку сложившихся гидрологических ситуаций могут повлиять различного рода мероприятия. Известно, что во многих случаях гидротехническое строительство, изменение технологии производства, целый ряд организационных мероприятий являются мощными факторами снижения опасности наводнений, маловодья, загряз-



Рис. 6. Интегральная оценка опасности основных видов ЭГС в субъектах РФ (с учетом местного стока): 1 – низкая, 2 – умеренная, 3 – средняя, 4 – высокая, 5 – очень высокая



Рис. 7. Интегральная оценка опасности основных видов ЭГС
в субъектах РФ (с учетом общего стока):
1 – низкая, 2 – умеренная, 3 – средняя, 4 – высокая, 5 – очень высокая

нения вод. Но если с технологической точки зрения все это вполне реально, то серьезным препятствием могут служить высокая стоимость работ и неприемлемые экологические ограничения. Что касается стоимости, то известное представление дает табл. 2.

При рассмотрении экологических ограничений важно сопоставить их с тем ущербом, который несут рассмотренные гидрологические ситуации, и в зависимости от такого сопоставления решать вопрос о целесообразности различного рода преобразований.

Таблица 2. Капитальные затраты для получения дополнительных водных ресурсов или экономии 1 км^3 пресной воды (Шикломанов, 2008)

Мероприятия	Капитальные затраты, млн. $ на 1 км^3
Регулирование речного стока водохранилищами	50–80
Использование ледников горных районов	50–100
Опреснение соленых и солоноватых вод	600–1800
Территориальное перераспределение речного стока	100–800
Использование антарктических айсбергов	500–700
Современные технологии в промышленности и очистка промстоков	200–1000
Реконструкция оросительных систем и технологии полива	700–900

Литература

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 367 с.
2. *Арефьева О.Н., Бельчиков В.А. Борщ С.В. и др.* Наводнения // Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. М.: «Крук», 2001. С. 25–63.
3. *Владимиров А.М.* Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 295 с.
4. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
5. *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.* Катастрофические наводнения начала XXI века. Уроки и выводы. М.: «ДЭКС-Пресс», 2003. 352 с.
6. *Добровольский С.Г., Истомина М.Н.* Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 225 с.
7. *Думнов А.Д., Кузьмич В.Н., Максимов Ю.И. и др.* Водные ресурсы Российской Федерации. Статистический сборник. М.: НИА-Природа, 2006. 176 с.
8. Единые критерии качества вод. М.: Изд. СЭВ, 1982. 69 с.
9. *Коронкевич Н.И.* Экстремальная водность года: ее проявления и последствия // Изв. РАН. Сер. геогр. 2002. №1. С. 20–27.
10. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Малик Л.К.* Об экстремальных гидрологических ситуациях // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций // II научно-практическая конференция. 23 октября 2002 г. Доклады и выступления. М.: Едиториал УРСС, 2003. С. 152–160.
11. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бумакова А.Ф., Зайцева И.С., Малик Л.К.* Экстремальные гидрологические явления // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. №2. С. 45–57.
12. Критерии оценки экологической обстановки для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды РФ, 1992. 58 с.
13. Методические указания по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: ГХИ, 1988. 28 с.
14. *Никаноров А.М.* Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 576 с.
15. Природные опасности России. Т. 1. Природные опасности и общество / Под ред. В.А. Владимирова, Ю.Л. Воробьева, В.И. Осипова. М.: Изд. Фирмы «КРУК», 2002. 245 с.
16. *Таратунин А.А.* Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: МПР РФ, РОСНИВХ, 2008. 432 с.
17. Тенденции и динамика загрязнения природной среды Российской Федерации на рубеже XX–XXI веков. М.: АНО «Метеоагентство Росгидромета», 2007. 64 с.

18. *Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А.* Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД «Деловой экспресс», 1998. 218 с.
19. *Шикломанов И.А.* Мировые водные ресурсы и их использование // Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. С. 490–582.
20. *Шикломанов И.А., Балонишникова Ж.А.* Водопотребление и водообеспеченность, нагрузка на водные ресурсы: Основные факторы и методы оценки // Водные ресурсы России и их использование. СПб., ГГИ, 2008. С. 396–399.

E.A. Barabanova, A.F. Bumakova, I.S. Zajtseva, N.I. Koronkevich

TO AN ESTIMATION OF DANGER OF HYDROLOGICAL SITUATIONS ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Criteria and indicators of extreme hydrological situations (EHS) are considered. As the major EHS are allocated high-water, low-water and natural water pollution. Maps of their distributions over the territory of the Russian Federation are made. The integrated estimation of the danger caused by principal EHS is given. It is shown that most sharply integrated hydrological risk appears in a number of regions in the southwest of Russia.

С.В. Ясинский

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ РАВНИННЫХ РЕК

Дана характеристика современного геоэкологического состояния малых равнинных рек и их основных отличий от более крупных рек. Показана роль природных и антропогенных факторов в формировании водного, гидрохимического и гидробиологического режимов малых рек. Приведены данные об общих факторах антропогенных нагрузок, присущих всем природным зонам Русской равнины, к которым относится поступление загрязняющих веществ из атмосферы, животноводческой отрасли сельского хозяйства, а также урбанизации. Намечены перспективы решения проблемы малых равнинных рек, основанные на реализации основных положений Водного кодекса РФ (2006).

Малые равнинные реки являются природной основой гидрографической сети и начальным элементом более крупных гидрологических систем. К малым обычно относятся реки с водосбором не свыше 2000 км^2 или имеющие длину не более 100 км (Концепция рационального.., 1991). На малые равнинные реки длиной менее 100 км приходится около 99% общего числа рек и 92–93% их протяженности. В пределах территории Российской Федерации насчитывается 2,5 млн. малых рек.

Основные отличия малой равнинной реки от средней и крупной заключаются не только в различиях их морфологических характеристик (площади водосбора и длины), но, прежде всего, в более тесной зависимости ее водного и гидрохимического режимов от физико-географических условий той или иной природной зоны, в которой расположен ее водосбор. Особенности взаимодействия в различных природных зонах процессов гидрологического цикла с рельефом, почвой, растительным покровом, животным миром, микроорганизмами и другими компонентами геосистем, слагающими водосборы малых равнинных рек, в сочетании с воздействием антропогенной нагрузки, обусловливают специфику характеристик их водных, хемогенных и биогенных потоков. В то же время под влиянием местных факторов, например, карста, гидрологический режим и качество воды этих рек могут быть не характерны для данной природной зоны. Другая важная отличительная черта малой равнинной реки – неполное дрениро-

вание подземных вод, что является одной из причин более тесной зависимости ее гидроэкологического состояния от степени освоенности водосбора и особенностей формирования на его территории гидрологических и других, обусловленными ими, процессов горизонтального перемещения вещества и энергии, в первую очередь, поверхностного склонового стока. Гидрологический режим более крупных рек, дренирующих различные водоносные горизонты, в большей мере зависит от зональных условий изменения теплового и водного балансов их водосборов, в отличие от малых равнинных рек, на водосборы которых, помимо зональных условий, большое влияние оказывают местные факторы формирования стока и антропогенная нагрузка. Еще одним важным отличием малых рек от средних и крупных равнинных рек является степень их изученности. Более крупные реки достаточно хорошо освещены данными гидрометрических наблюдений и водохозяйственной статистики. Для большинства малых рек такая информация отсутствует. Поэтому анализ гидроэкологических ситуаций в бассейне конкретной малой реки в целом должен опираться на материалы многолетних наблюдений на водно-балансовых станциях (ВБС) и стационарах, расположенных малых водосборах, типичных для данной природной зоны, и на реках-аналогах, а также использовать карты, отражающие различные гидролого-геохимические характеристики этих рек.

Изменения гидроэкологического состояния малых равнинных рек происходят под влиянием комплекса факторов естественного и антропогенного происхождения. Среди факторов естественного происхождения особо важную роль играют климатические, которые имеют циклический характер, выражающийся в сезонных и межгодовых изменениях характеристик их показателей в соответствии с законом географической зональности. Антропогенные изменения этих рек обусловлены хозяйственной деятельностью человека как на водосборах, так и в руслах самих рек. Эти изменения могут быть не менее важны, чем климатические в связи с ярко выраженной зависимостью формирования стока и потоков других субстанций от ландшафтных условий и степени трансформации их водосборов (Данилов-Данильян и др., 2006). Антропогенная нагрузка на малые и более крупные реки в целом определяется примерно одними и теми же видами воздействий на водосборы и источниками загрязнения водных ресурсов. Различия заключаются в степени интенсивности прямых и косвенных антропогенных воздействий на водосборы и в масштабах изменения водных

ресурсов этих водотоков. Водные ресурсы малых рек используются водопотребителями и водопользователями обычно с небольшими объемами производства, а на их водосборах выше доля косвенных нагрузок от сельского и лесного хозяйства, а также от рекреации. Однако, учитывая высокую чувствительность и быструю реакцию малых рек на изменение антропогенных воздействий, их суммарное влияние может быть очень велико и приводить к существенному ухудшению гидроэкологического состояния не только самих этих рек, но и в зонах их впадения в более крупные реки и водоемы.

Так же как и естественные факторы, вид и интенсивность антропогенных воздействий на водные ресурсы и гидроэкологическое состояние малых равнинных рек зависит от зональности природной среды (Коронкевич, 1972; Зайцева, 1981). Все виды этих воздействий на малые реки и их водосборы можно разделить на две большие группы: 1 – общие, присущие всем природным зонам, 2 – характерные только для каждой из этих природных зон. К общим антропогенным факторам относятся поступление загрязняющих веществ из атмосферы в результате трансграничного переноса и от локальных выбросов, водопотребление и сброс сточных вод предприятиями местной промышленности и ЖКХ, разнообразное влияние животноводческой отрасли сельского хозяйства, а также смыв загрязняющих веществ с урбанизированных территорий.

Специфика антропогенных воздействий на водные ресурсы малых равнинных рек в отдельных природных зонах обусловлена преобладанием того или иного вида хозяйственной деятельности. В лесной зоне Русской равнины преобладает влияние лесного хозяйства, тяжелой и горно-добывающей промышленности, нефтяных и газодобывающих предприятий, осушительных мелиораций, животноводческой отрасли сельского хозяйства и маломерного речного флота. Из-за влияния этих видов хозяйственной деятельности и низкой самоочищающей способности, обусловленной невысокой температурой воды, – сильное загрязнение и закисление воды малых рек этой зоны.

В лесостепной и степной зонах, где производится основной объем сельскохозяйственной продукции РФ, преобладает роль земледелия, хотя существенное воздействие на водные ресурсы малых рек оказывает и животноводство. Результатом сельскохозяйственной стали: распашка до 60–90% площади малых водосборов, сопровождающаяся разрушением почвенного покрова, значительным уплотнением и изменением физико-химических свойств почвы под действи-

ем тяжелой сельскохозяйственной техники и скота, сооружение большого количества малых прудов и водохранилищ в суходольных балках и руслах малых рек для орошения полей и водопоя животных. Это привело к значительной трансформации водного баланса, баланса наносов и биогеохимических циклов органического вещества (ОВ) и биогенных элементов (БЭ) в наземных геосистемах малых водосборов. При этом в многоводные и в средние по водности годы произошло усиление гидролого-эрозионных процессов, обусловивших значительное сокращение ОВ и БЭ в почвенном покрове и накопление их в малых реках и других водоемах. Преобразование структуры потоков этих элементов в наземных геосистемах и ускоренное поступление их в водную среду привело к снижению естественного плодородия почвы, продуктивности естественного растительного покрова и урожайности сельскохозяйственных культур. Оно сопровождалось образованием значительного количества органического вещества и повышением биологической продуктивности водных ресурсов малых рек и водоемов, что явилось основной причиной их эвтрофирования и возникновения ряда других негативных гидроэкологических ситуаций.

Современный этап природопользования в РФ, совпавший с концом XX – началом XXI вв., характеризуется резкой сменой социально-экономического строя общественной жизни в России, приведшей к крупномасштабной трансформации условий ведения и интенсивности хозяйственной деятельности на водосборах водных объектов страны. Основной тенденцией природопользования на этом этапе развития общества является опережение темпов снижения показателей развития производства по сравнению с темпами сокращения его воздействия на окружающую природную среду (Клюев, 2000). Усиление экологической деградации хозяйственной структуры реального сектора экономики – промышленности и сельского хозяйства, главными сферами материального производства, влияющими на природную среду, заключается в следующем. В промышленности – в увеличении доли экологически опасных производств (топливных предприятий, электроэнергетики, металлургии) и снижении доли экологически более приемлемых производств (легкой промышленности и машиностроения). В сельском хозяйстве – в перемещении производства продукции из крупных предприятий (колхозов и совхозов) в индивидуальные хозяйства населения, сконцентрированные в компактных ареалах проживания, в масштабном выводе из оборота посевных площадей и зарастании этих территорий кустарником и мелко-

лиственным лесом, в массовом переводе лесных и сельскохозяйственных угодий в другие категории земель под дачное и коттеджное строительство, в обвальном сокращении поголовья скота – источника ценного органического удобрения (навоза), в резком сокращении объемов внесения минеральных и органических удобрений и средств защиты растений, в снижении парка сельскохозяйственной техники. В целом в стране отмечается «аграризация» регионов, при которой одни из них усиливают сельскохозяйственный потенциал, другие – индустриальный. При этом, в связи с износом основных фондов, усиливается риск загрязнения окружающей среды от экологически опасных производств в промышленности. В сельском хозяйстве – увеличивается доля примитивных агротехнологий при производстве продукции, растет специализация по выращиванию монокультур, особенно в личных хозяйствах, происходит территориальное перераспределение антропогенной нагрузки с концентрацией ее в селах, пригородах и других населенных пунктах (Клюев, 2000, 2004). Деэкологизация реального сектора экономики страны является одной из причин того, что геоэкологическое состояние водных ресурсов страны, и особенно малых равнинных рек, существенно не улучшается, а в некоторых регионах и ухудшается (Коронкевич, Зайцева, 2003; Черногаева и др., 2004). Одной из важных причин неадекватной реакции малых рек на снижение антропогенной нагрузки является поступление в реки значительных объемов загрязняющих веществ, накопленных ранее в почве в результате неоптимального использования удобрений (Алексеевский и др., 2000).

К одному из важных и в целом недостаточно учитываемых факторов антропогенной нагрузки на водосборы малых равнинных рек, относится загрязнение их поверхности разнообразными загрязняющими веществами, поступающими с осадками из атмосферы. Эти вещества попадают в атмосферу в результате газодымовых выбросов предприятий теплоэнергетики, металлургии, нефтехимии, горно-рудной промышленности, а животноводство является источника поступления метана. По данным (Паулюкявичюс, 1990), от одной коровы выделяется в сутки в атмосферу 1м^3 метана (CH_4) и аммиака (NH_3). Кроме того, значительный объем солей поступает в атмосферу с поверхности океана, морей и других водных объектов, а также в результате дефляции почвы. Общий вынос солей в атмосферу (мигрирующих за пределы областей выноса) составляет около 12 млн.т /год, а с учетом выноса из солончаков – 24–132 млн.т/год (Эдельштейн, 2005; Гла-

зовский, 2006). Состав ингредиентов, поступающих с атмосферными выпадениями на водосбор, достаточно велик и включает в себя твердые минеральные частицы, органические вещества (в т.ч. пестициды и гербициды), соединения аммония, фосфора, металлов, окислы азота, серы, а также радиоактивные элементы (Вода России. Малые реки, 2001). Все эти вещества взаимодействуют с растительным и почвенным покровами и, в конечном итоге, в растворенном виде попадают в малые реки и другие водные объекты, усиливая их загрязнение и эвтрофирование. Сводки о концентрациях и общих объемах поступления этих веществ с техногенными выбросами в атмосферу приведены в (Возрождение Волги.., 1996; Малые реки.., 1998; Россия.., 2001; Антропогенные.., 2003). Отметим только, что в среднем в атмосферу, например, бассейна Волги, поступает в год с этими выбросами около 7,2 млн. тонн вредных веществ со степенью очистки 65–70%. Максимальные объемы выбросов отмечены для Тульской, Челябинской, Свердловской областей и Республики Коми, минимальные – для Республики Калмыкии и Республики Марий Эл (Возрождение Волги.., 1996). При этом, как в теплый, так и в холодный сезоны года, основной вклад в формирование средних сезонных концентраций массовых загрязняющих веществ вносит дальний перенос, преимущественно из стран Западной Европы (Парамонов, 1994). Вторым по значимости является перенос загрязняющих веществ от внутрирегиональных источников (крупные предприятия и города). Локальные источники вносят относительно небольшой вклад в общее загрязнение атмосферы. С атмосферными осадкам в РФ на поверхность водосборов в сельской местности поступает в среднем 5–15 т/год растворимых веществ, в городах – 20–30 т/год (Скакальский, 1995).

Животноводческая отрасль сельского хозяйства на территории Русской равнины развита повсеместно и оказывает разнообразное негативное влияние на гидроэкологическое состояние малых рек. Выпас скота на естественных и культурных пастбищах приводит к вытаптыванию растительности и изменению состава биоты, а также к существенному уплотнению почвы, что является причиной ухудшения ее физико-химических свойств и, как следствие, увеличению на этих угодьях склонового стока в 1,5–2,0 раза и выноса органического вещества в растворенной форме в 4,5–6,0 раз по сравнению с естественными геосистемами, не испытывающими воздействия выпаса, а также угодьями, распаханными с осени под зябь. В то же время эрозия почвы с этих угодий невысока в связи со значитель-

ной противоэрозионной устойчивостью почвы и в 5,0–7,0 раз меньше ее величины на зяби (Природно-антропогенные.., 1989). Помимо изменения состава биоты, интенсивное потребление кормов на пастбищах приводит к снижению количества фитомассы, поступающей в биологический оборот, а следовательно, к уменьшению поступления питательных веществ в почву и ухудшению ее плодородия.

Расположение животноводческих, свиноводческих и птицеводческих ферм и комплексов непосредственно в долинах малых рек оказывает большое влияние на режим и качество их водных ресурсов. Как правило, почва территорий и в непосредственной близости от этих предприятий буквально пропитана отходами животноводства и птицеводства, которые, фильтруясь, создают постоянный поток загрязняющих веществ в грунтовые воды. Во время сильных дождей и в период весеннего снеготаяния велика утечка навоза из переполненных навозо- и пометохранилищ прямо в реки, излишки навоза складируются непосредственно на их берегах. Например, объем складированного навоза по берегам рек в Московской области в 1993 году оценивался в 2 млн. тонн (Малые реки..,1998). Сточные воды животноводческих комплексов содержат не только большое количество биогенных и органических веществ, концентрация которых превышает аналогичные показатели в промышленных и коммунально-бытовых стоках, но и пестициды, антибиотики, патогенные микробы. Поэтому они не могут сбрасываться непосредственно в водные объекты даже после очистки на очистных сооружениях, а должны проходить доочистку на полях фильтрации и орошения, после чего они в строго регламентируемых нормах могут использоваться как удобрения. Однако довольно часто уже доочищенные стоки вносятся на поля в зимний период на замерзшую почву, и в период снеготаяния значительная их часть смывается с полей и поступает в малые реки, усиливая их эвтрофирование. Таким образом, загрязнение малых равнинных рек отходами животноводства представляет одну из самых серьезных угроз их гидроэкологическому состоянию и требует организации первоочередных мероприятий по оптимизации функционирования самих этих предприятий, внедрения современных методов очистки, обеззараживания и утилизации этих отходов, предотвращения поступления навозосодержащих вод с их территории в эти водные объекты (Вода России.., 2001).

Одним из результатов отмеченной выше деэкологизации реального сектора экономики является, с одной стороны, усиленная урбанизация пригородов как мегаполисов, так и других крупных городов страны, с другой, – обезлюдивание и стагнация окраинных территорий субъектов РФ. Каждый из этих процессов негативно влияет на гидроэкологическое состояние малых рек. О степени урбанизации свидетельствуют данные о том, что только в 1996–1997 гг. 38 тыс. га экологически ценных лесов в РФ отведено под дачное и коттеджное строительство, в том числе в Подмосковье 2200 га (Россия.., 2001). Урбанизация территории обусловливает увеличение доли слабо- и водонепроницаемых площадей, за счет чего усиливаются склоновый сток, эрозия почвы и вынос загрязняющих веществ с водосбора в реки, нарушается водообмен с подземными водами и в целом ухудшается структура водного баланса, характерная для слабонарушенных этим видом антропогенной деятельности водосборов. В период весеннего снеготаяния диффузный сток, формирующийся на территории малых населенных пунктов, дачных и коттеджных поселков, характеризуется высокими концентрациями всех форм минерального азота и фосфора, которые могут превышать рыбохозяйственные ПДК в 5–20 раз. Кроме биогенных веществ, с талыми и дождевыми водами с этих территорий могут выноситься также нефтепродукты, тяжелые металлы, СПАВ (Вода России.., 2001). Особую опасность для малых рек представляет массовая урбанизация берегов в непосредственной близости от уреза воды и даже в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос. Помимо усиленного выноса загрязняющих веществ с таких урбанизированных участков, непосредственно в малые реки и водные объекты поступают продукты жизнедеятельности человека, поскольку далеко не все жилые строения обеспечены индивидуальными системами очистки бытовых сточных вод. Значительное влияние на малые реки оказывают также свалки твердых бытовых отходов и строительного мусора, часто стихийно возникающие около таких участков, а также стоянки автомашин и объекты инфраструктуры (магазины и др.). В то же время покинутые людьми и заброшенные селитебные территории сами начинают представлять определенную угрозу водным ресурсам малых рек, поскольку некому осуществлять такие водоохранные мероприятия, как расчистка их русел от упавших деревьев и мусора, заилившихся родников и колодцев, осуществлять противоэрозионные и другие мелиоративные мероприятия на водосборах, в водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах. По-

скольку урбанизация пригородных и прибрежных территорий вокруг водных объектов приобрела массовый характер, необходимо усиление контроля за выполнением норм природоохранного и водного законодательства в части как размещения объектов на определенном расстоянии от водных объектов, так и оборудования их индивидуальными или коллективными системами очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Для снижения нагрузки на малые реки от диффузного загрязнения необходимо организовать на урбанизированных территориях системы отвода и очистки талых и дождевых вод, а также повышать уровень их благоустройства.

В целом современное состояние проблемы малых равнинных рек можно оценить как весьма неблагоприятное. Этап значительного научного и общественного интереса к этой проблеме, разработки конкретных мероприятий, на основе Схем охраны и рационального использования водных ресурсов малых рек и Федеральной целевой программы «Возрождение Волги», к сожалению, закончился в середине 90-х годов прошлого столетия. Определенные перспективы возрождения интереса к этой проблеме связаны с новым Водным кодексом РФ (2006). Несмотря на дискуссионность его отдельных положений, в частности, касающихся вопроса установления и использования водоохранных зон и прибрежных защитных полос, Кодекс, тем не менее, обладает значительным потенциалом в решении проблемы малых равнинных рек в целом. Это следует из статей, в которых устанавливается приоритет охраны водных объектов перед их использованием, бассейновый подход в регулировании водных отношений, передача прав на использование и ответственность за экологическое состояние водных объектов на уровень субъектов РФ и муниципальных образований с обеспечением их субвенциями только на эти цели из федерального бюджета. Реализация этих положений должна основываться на предусмотренных законом Схемах комплексного использования и охраны водных объектов, обязательных для органов государственной власти и местного самоуправления. При разработке таких схем для конкретного речного бассейна специфика малых рек может быть учтена путем определения приоритетов в осуществлении водоохранных мероприятий. Оценка приоритетов основана на выделении в бассейне основной реки тех ее притоков, водные ресурсы которых имеют наиболее напряженные водохозяйственные и гидрохимические балансы, а водосборы – находятся в наиболее неблагоприятном, «критическом» геоэкологическом состоянии. Выявление таких рек может быть выполнено с использованием методик, сущность которых заклю-

чается в расчете комплексных показателей, интегрально характеризующих использование поверхностных и подземных вод, качество воды для каждой реки, а также степень трансформации их водосборов под влиянием хозяйственной деятельности (Методические.., 1991; Скорняков, 1999; Ясинский, 2000). Рекам с наибольшими значениями этих показателей отдается приоритет в планировании и реализации водоохранных мероприятий, которые призваны обеспечить значительное снижение уровня прямых и косвенных антропогенных нагрузок на их водные ресурсы и улучшить гидроэкологическое состояние основной реки. Негативное влияние прямых антропогенных воздействий можно существенно снизить за счет внедрения современных малоотходных технологий при производстве продукции, применения новых методов очистки выбросов в атмосферу и сточных вод в водную среду, а также рационального использования и утилизации отходов животноводства и от других видов хозяйственной деятельности. Косвенные воздействия в большей степени, чем прямые, обусловлены зональностью природной среды. В этой связи для лесной зоны актуально соблюдение норм вырубки и своевременное проведение лесовосстановительных работ, использование техники, не нарушающей почвенный покров, рекультивация отвалов предприятий горно-добывающей промышленности и другие природоохранные мероприятия. В лесостепной и степной зонах применение систем ландшафтно-адаптивного земледелия позволит существенно снизить эрозию почвы и диффузное загрязнение водных объектов, улучшить структуру и плодородие почвы, влагообеспеченность и продуктивность сельскохозяйственных культур и тем самым восстановить водность, качество воды и эстетическую ценность малых рек в этих природных зонах.

Значительные возможности в улучшении гидроэкологического состояния малых рек во всех природных зонах имеет воссоздание малой гидроэнергетики. В настоящее время малые ГЭС рассматриваются не только как источник энергии для удаленных населенных пунктов и дополнение к действующим энергосистемам. В не меньшей степени они способны обеспечить решение ряда экологических проблем малых рек и других социально-экономических вопросов жизнеобеспечения населения и развития отраслей хозяйства (Малик, 2005).

Таким образом, арсенал методов по улучшению гидроэкологического состояния малых рек достаточно велик. Важно осознать большую народнохозяйственную значимость этой проблемы и в рамках действующего законодательства продолжить научные, проектные и практические работы по ее решению.

Литература

1. *Алексеевский Н.И., Коронкевич Н.И, Литвин Л.Ф., Чалов Р.С., Ясинский С.В.* Сток и эрозия почвы на водосборах как факторы экологической обстановки на реках // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. №1. С. 52–63.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 367 с.
3. Вода России. Малые реки / Под ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: Изд. «Аква-Пресс», 2001. 803 с.
4. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ (вступил в силу с 01.01.2007).
5. Возрождение Волги – шаг к спасению России. М. – Н. Новгород: «Экология», 1996. 464 с.
6. *Глазовский Н.Ф.* Избранные труды в двух томах. Том 1. Геохимические потоки в биосфере. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 535 с.
7. *Данилов-Данильян В.И., Болгов М.В., Дубинина В.Г., Ковалевский В.С., Кочерян А.Г., Новикова Н.М.* Оценка допустимых изъятий стока в бассейнах малых рек: Основные методические положения // Водные ресурсы. 2006. Том 33. №2. С. 224–238.
8. *Зайцева И.С.* Роль природных факторов при антропогенном изменении водных ресурсов малых рек Русской равнины // Вопросы географии. Малые реки. Сб.118. М.: «Мысль», 1981. С. 93–97.
9. *Клюев Н.Н.* Эколого-географические последствия реформирования России (1990-е гг.) // Изв. РАН. Сер. геогр. №1. 2000. С. 37–45.
10. *Клюев Н.Н.* Эколого-хозяйственная трансформация постсоветской России и ее регионов. Изв. РАН. Сер. геогр. 2004. №1. С. 37–45.
11. Концепция рационального использования и охраны малых рек. М.: Росгипроводхоз, 1991. 36 с.
12. *Коронкевич Н.И.* Влияние природных факторов на водопотребление // Изв. АН СССР. Сер.геогр. 1972. №5. С. 54–63.
13. *Коронкевич Н.И., Зайцева И.С.* Водные ресурсы России на современном этапе // Бюлл. «Использование и охрана природных ресурсов в России». Спецвыпуск №9–10. 2003. С. 83–89.
14. *Малик Л.К.* Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
15. Малые реки Волжского бассейна. М.: Изд. МГУ, 1998. 236 с.
16. Методические рекомендации по определению приоритета малых рек при разработке водоохранных мероприятий. М.: Роскомвод, 1991. 23 с.
17. *Парамонов С.Г.* Фоновое загрязнение атмосферы на Европейской территории России. Автореф. дисс. на соиск. уч.ст. к. г. н. М., 1994. 38 с.
18. *Паулюкевичюс Г.* Оценка и использование средозащитных свойств лесов Литвы. Вильнюс: Изд. Мокслас,1990. 132 с.

19. Природно-антропогенные геосистемы Центральной лесостепи Русской равнины. М.: Наука, 1989. 276 с.
20. Россия и ее регионы. Внешние и внутренние экологические угрозы М.: Наука, 2001. 214 с.
21. *Скакальский Б.Г.* Географические закономерности формирования вод местного стока и их химического состава // Географические направления в гидрологии. М.: ИГРАН, 1995. С. 151–168.
22. *Скорняков В.А.* Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 1. М.: МГУ, 1999. С. 238–261.
23. *Черногаева Г.М., Зеленова М.С., Кулик Н.О.* Качество поверхностных вод России, состояние и прогноз // Бюлл. «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2004. №4. С. 34–37.
24. *Эдельштейн К.К.* Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.
25. *Ясинский С.В.* Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на в водосборы малых рек // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. №4. С.74–82.

S.V. Yasinsky

CONTEMPORARY HYDRO-ECOLOGICAL STATE OF SMALL PLAINS RIVERS

The characteristics of the present day hydroecological state of small plain rivers and their basic differences from larger rivers are given. The role of natural and anthropogenic factors in formation of hydrochemical, hydrobiological and water regimes of small rivers is shown. The data concerning basic factors of anthropogenic pressure for all geographical zones of the Russian plain is given. These factors are thought to be the contributor of pollution from the atmosphere, the livestock farming and as well as urbanization. Some definite prospects for solving the problem of small plain rivers are lined out. These prospects are based on the realization of the basic principles of the Russian Federation Water Code (2006).

Н.А. Лемешко

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ КРУПНЕЙШИХ ОЗЕР РОССИИ

Естественные и антропогенные изменения климата и природной среды в последние десятилетия формируют новые тенденции режима озер, которые интегрируют изменения водных ресурсов обширных территорий. Исследования изменения уровня крупнейших озер России выполнены на основе данных за весь период наблюдений и особое внимание уделяется анализу тенденций уровня воды в озерах за последние десятилетия, когда на территории России зафиксированы значительные изменения климата, в том числе температуры воздуха и режима увлажнения. Представлены оценки изменения уровня воды для семи крупнейших озер: Байкал, Ладожское, Онежское, Чудско-Псковское, Ильмень, Чаны.

Введение

Естественные и антропогенные изменения климата и природной среды в последние десятилетия формируют новые тенденции режима уровня воды озер, которые интегрируют изменения водных ресурсов обширных территорий. Озера России являются важным источником пресных вод, значение которых для населения и экономики страны трудно переоценить. Среди 34 озер страны с площадью зеркала бо-

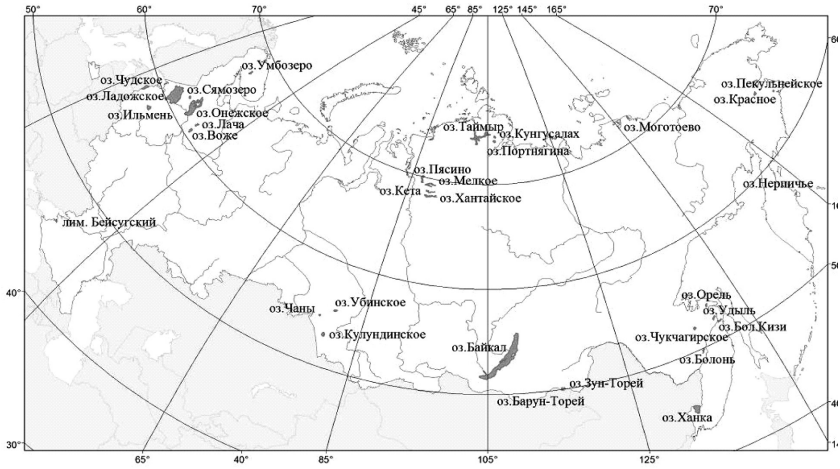


Рис. 1. Озера с площадью зеркала более 250 км^2

Таблица 1. Озера России площадью более 1000 км² (Гронская, 2009)

Озеро	Бассейн реки/район	Площадь, км²		Максимальная глубина, м	Объем, км³
		водосбора	зеркала		
Байкал	Енисей–Ангара	571000	31722	1642	23615
Ладожское	Нева	276000	17872	228	838
Онежское	Свирь – Нева	62800	9693	120	292
Таймыр	Нижняя Таймыра	43920	4560	26	12,8
Ханка*	Амур	20100/18400	4190/3030	10,6	18,5
Чудско–Псковское*	Нарва	47800/27917	3555/1990	15,3	25,07
Чаны	Обь – Иртышское междуречье	23600	1294	8,5	2,58
Ильмень	Волхов – Нева	67200	1100	4,25	2,85

* В числителе – общая площадь, в знаменателе – площадь в пределах территории России.

лее 250 км² только 5 озер являются солеными и солоновато-водными (рис. 1) (Водные ресурсы, 2008). На территории России восемь озер имеют площадь зеркала более 1000 км², из них только озеро Чаны, расположенное в Западно-Сибирском озерном районе в группе озер Барабинской степи, является солоновато-водным, остальные озера – пресноводные. В этих крупнейших озерах сосредоточено около 96% всех запасов вод озер России, из них 23 615 км³ (95,2%) находится в чаше оз. Байкал (табл. 1). Наибольшие запасы озерных вод приурочены к бассейнам следующих рек России: в Азии – Енисея (около 24 тыс. км³, включая объем воды озера Байкал) и в Европе – Невы (объем воды в крупнейших озерах Европы, таких как Ладожское, Онежское и Ильмень, – более 1,1 км³).

Уровень воды в озерах России

Систематические наблюдения за уровнем воды озер в России начаты в середине XIX века. Первые гидрометрические наблюдения за уровнем озер начались в бассейне Ладожского озера. Первый водпост в бассейне был организован на озере Сайма в 1818 г., а второй на острове Валаам в 1859 г. В 1876 г. была образована Навигационно-описная комиссия, положившая начало развитию общей гидрометри-

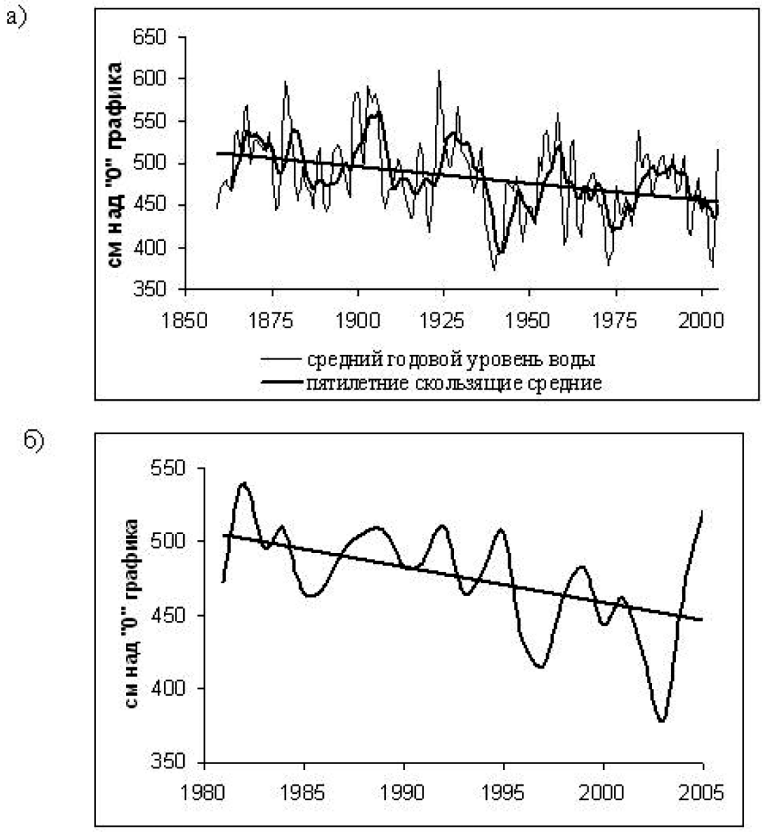


Рис. 2. Средний годовой уровень воды Ладожского озера и линейные тренды за период наблюдений (а) и за последние десятилетия (б)

ческой сети России. В этом же году был организован первый водомерный пост на Онежском озере, а с 1884 г. начались систематические наблюдения за уровнем воды на других озерных постах (Молчанов, 1945). Такие крупнейшие озера России, как Байкал, Ильмень, Чудско-Псковское и Чаны, имеют менее продолжительные ряды систематических наблюдений: Байкал – с 1901 г., Чудско-Псковское – с 1907 г., Ильмень – с 1916 г., Чаны – с 1934 г.

Длинные ряды наблюдений за уровнем воды в озерах позволяют проследить его изменения за последнее столетие и выявить его внутривековые колебания, которые в значительной степени отражают колебания общей увлажненности бассейнов озер. Среди ранних ис-

следований режима озер следует отметить фундаментальные работы И.В. Молчанова (Молчанов, 1945; 1946) и А.В. Шнитникова (Шнитников, 1969). Современные исследования представлены в работах Р.К. Клиге (Клиге, 1985), А.М. Догановского и В.Н. Малинина (Догановский, Малинин, 2004), в монографии «Водные ресурсы России и их использование» (2009) и других работах.

В настоящей статье представлены данные по уровню воды крупнейших озер России, таких как: Байкал, Ладожское, Онежское, Ильмень, Чудско-Псковское и Чаны. Прекращение наблюдений на озере Таймыр не позволило проследить современные тенденции уровня воды.

Ладожское озеро. Средний многолетний уровень Ладожского озера за период 1859–2005 гг. составляет 4,83 м БС (Балтийской системы), с амплитудой колебания равной 2,37 м. Максимальный средний годовой уровень наблюдался в 1924 г. (6,10 м БС), а минимальный (3,73 м БС) в 1940 г. За последние десятилетия высокий уровень был отмечен в 2005 г., когда после ряда маловодных лет уровень воды поднялся до 5,21 м БС. Средняя годовая амплитуда уровня воды озера равна 0,70 м. Минимальный уровень приходится на январь, максимальный уровень достигается в июне. Неравномерность прохождения по огромному бассейну Ладоги весеннего половодья определяет плавный ход весеннего подъема уровня озера и относительно небольшую его величину. Весенний подъем уровня воды начинается в апреле и составляет в среднем 0,48 м.

Анализ внутривековых изменений среднего годового уровня показал наличие устойчивого отрицательного линейного тренда, который на 150-летнем интервале составляет 4 см/10 лет и статистически значим. Эта скорость снижения уровня воды озера сохранилась и даже усилилась в последние 25 лет и для периода 1981–2005 гг. оценка линейного тренда равна 17 см/10 лет (тренд статистически незначим). На рис. 2 приведен ход среднего годового уровня воды Ладожского озера за весь период наблюдений (а) и за последние 25 лет (б).

На фоне общего понижения водности, начавшегося в 30-е годы XX века выделяются несколько циклов увлажнения бассейна Ладоги. Современный цикл начался в 1982 г., и его многоводная фаза продолжалась до 1994 г., с 1995 г. началась маловодная фаза, которая еще не завершилась. Аналогичные выводы получены А.М. Догановским (Современные проблемы.., 2006).

Таблица 2. Морфометрические характеристики озера Ильмень

Уровень	Уровень, м БС	Объем, км^3	Площадь, км^2	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м
Низший	16,00	1,01	660	1,55	2,25
Средний	18,00	2,85	1100	2,60	4,25
Высший	23,50	12,07	2230	5,40	9,75

Озеро Ильмень. К водосборному бассейну Ладожского озера принадлежит озеро Ильмень, четвертое по площади озеро ЕТР, значительно отличающееся от других больших озер гидрологическим режимом. Уникальность режима озера Ильмень заключается в большой амплитуде колебания уровня воды, которая составляет 7,5 м и больше не наблюдается ни на одном из озер нашей страны. Значительные колебания уровня воды связаны с избыточным увлажнением водосборного бассейна и большой проточностью озера, характеризуемой показателем удельного водосбора (отношение площади бассейна водоема к площади зеркала). Площадь бассейна оз. Ильмень в 60 раз превышает площадь его зеркала. Для Ладожского озера этот показатель равен 15, а для Онежского – 6. Из-за значительных колебаний уровня и плоской котловины площадь зеркала оз. Ильмень может изменяться более чем в три раза, а объем воды в нем – в 12 раз (табл. 2).

Фазами гидрологического режима озера являются весенний и осенне-зимний подъемы уровня, характеризующиеся следующими особенностями:

- значительным превышением максимума весеннего подъема над максимумом осенне-зимнего подъема (568 см и 230 см над «0» графика, соответственно). Подъем уровня воды весной начинается в апреле и длится 1–1,5 месяца, причем рост уровня может составлять 3 м над зимним меженным уровнем; средняя скорость весеннего подъема уровня воды достигает 10–25 см в сутки;

- близким положением весеннего и осеннего минимальных уровней (204 см и 193 см над «0» графика соответственно), при незначительном превышении первого над вторым.

Внутригодовая амплитуда уровня озера изменялась за период наблюдений от 537 см в 1966 г. до 187 см в 1954 г. Максимальный средний годовой уровень воды наблюдался в 1953 г. (20,03 м БС), а также в 1990 г. (19,65 м БС). Минимальный отмеченный уровень воды

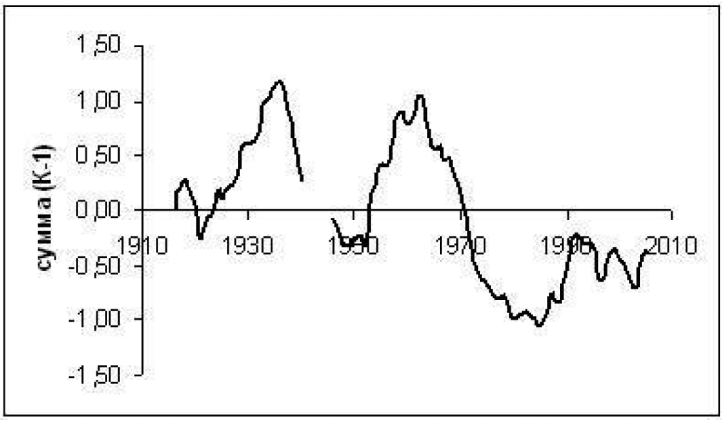


Рис. 3. Интегральная кривая модульных коэффициентов среднего годового уровня воды озера Ильмень

озера предшествует году самого низкого уровня Ладожского озера в 1940 г. и равен 17,46 м БС. После 1939 г. такой уровень воды отмечался только в 1972 и 1996 гг.

Пойма оз. Ильмень – один из регионов северо-запада, наиболее подверженных наводнениям, которые происходят почти ежегодно. Так, в апреле 1994 г. резкое увеличение уровня воды в оз. Ильмень (на 4 м) привело к подтоплению г. Великого Новгорода, населенных пунктов поймы озера и долины р. Волхов. Ежегодно в зоне затопления находится около 100 населенных пунктов (Таратунин, 2000).

На рис. 3 приведена разностно-интегральная кривая среднего годового уровня воды озера, которая позволяет выделить три многоводных и два маловодных периода. Продолжительность полного цикла колебаний уровня составляет 30–40 лет. С 1994 г. наблюдаются короткопериодные фазы низкого и высокого стояния уровня воды продолжительностью от 2 до 5 лет.

Устойчивой тенденции за период наблюдений и за 1980–2005 гг. в ходе среднего годового уровня воды озера Ильмень не обнаруживается.

Строительство в 1921–1926 гг. Волховской ГЭС привело к некоторым изменениям уровенного режима озера, так как подпор от плотины гидроэлектростанции при низких уровнях распространяется до озера. Однако плотина ГЭС в основном осуществляет суточное и недельное регулирование стока и на многолетний ход уровня воды озера она влияет незначительно.

Онежское озеро. Уровенный режим Онежского озера, второго по величине озера Европы, формировался в естественных условиях до 1951 г., когда была построена Верхнесвирская ГЭС. Средний годовой уровень Онежского озера за период естественного режима 1884–1951 гг. был равен 0,96 м (над «0» графика), а в 1953–2005 гг. составил 1,31 м.

Максимальный средний годовой уровень наблюдался в 1904 г. (1,53 м), а также в 1903 и 1924 гг. (1,47 м). Минимальный уровень Онежского озера (0,23 м) был зарегистрирован в 1940 г., когда наблюдалось также самое низкое стояние уровня Ладоги. После строительства ГЭС уровень воды Онеги не опускался ниже 0,84 м, а максимальный средний годовой уровень в 1962 г. на 10 см превысил значение 1904 г. Таким образом, в результате строительства ГЭС амплитуда колебаний среднего годового уровня воды Онежского озера сократилась с 1,30 м до 0,79 м.

Изменения уровня воды Онеги во внутривековом интервале кардинально отличаются от изменений уровня Ладожского озера. Поскольку однородность ряда уровня Онеги была нарушена в 1951 г., то отдельно анализировался период естественного гидрологического режима 1884–1951 гг. и период зарегулированного режима 1952–2005 гг. (рис. 4 а, б). Кроме того, на рисунке показана тенденция в ходе уровня воды для последних десятилетий (1981–2005 гг.). Линейные тренды на анализируемых отрезках времени имеют разный знак. Отрицательный тренд уровня воды озера, составлявший 3 см/10 лет за период 1884–1951 гг., сменился положительным трендом – 4 см/10 лет, на фоне которого за последние 25 лет уровень озера снижается со скоростью 10 см/10 лет. Линейные тренды значимы на 95%-ном доверительном уровне для всех трех интервалов времени.

Чудско-Псковское озеро. Чудско-Псковское озеро – третье по площади озеро Европы. Наблюдения за уровнем начаты в 1907 г., однако большие пропуски в данных до 1947 г. затрудняют анализ гидрологического режима для первой половины XX века.

Средний многолетний годовой уровень воды составляет 30,07 м БС, максимальный уровень (30,92 м БС) наблюдался в 1928 г., а минимальный (29,34 м) – в 1994 г.

Уровень Чудско-Псковского озера имеет два максимума в годовом ходе – весенний и осенний. Подъем уровня даже весной не пре-

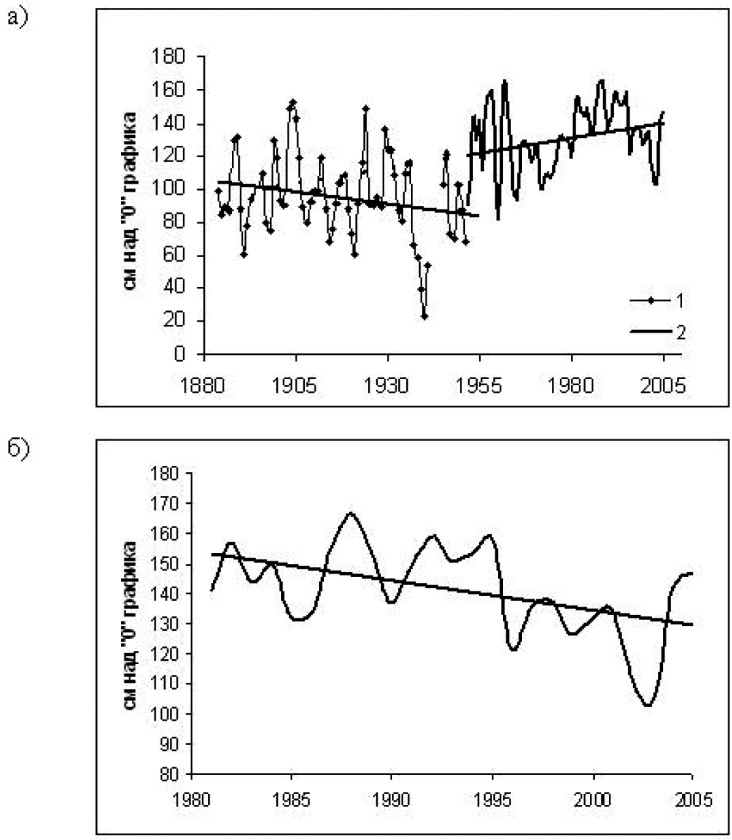


Рис. 4. Средний годовой уровень воды Онежского озера и линейные тренды: а) 1884–1951 гг., (1), 1952–2005 гг., (2), б) 1981–2005 гг.

вышает 63 см над уровнем зимней межени. Абсолютная амплитуда колебаний уровня озера составляет 3,03 м.

Уровень воды за период наблюдений имеет статистически значимый отрицательный тренд – 6 см/10 лет, который усилился после 1980 г. и составляет – 16 см/10 лет.

Озеро Байкал. Анализ уровня воды оз. Байкал выполнен для периода с естественным его режимом с начала наблюдений в 1901 по 1955 г. и для периода с регулируемым режимом с 1959–2005 г.

В 1958 г. в 70 км от истока р. Ангары было завершено строительство плотины Иркутской ГЭС и в 1959–1962 гг. заполнено Иркутское водохранилище, что привело к росту уровня воды озера. В

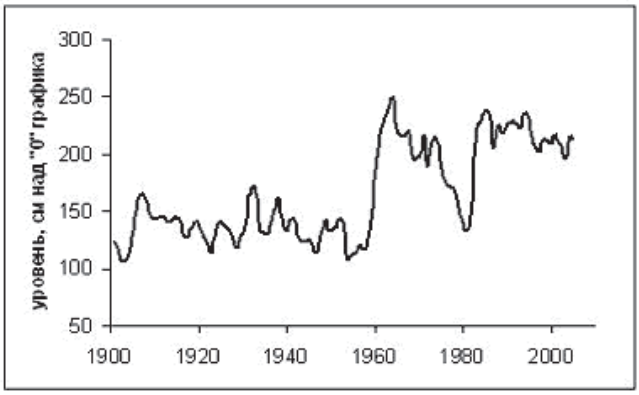


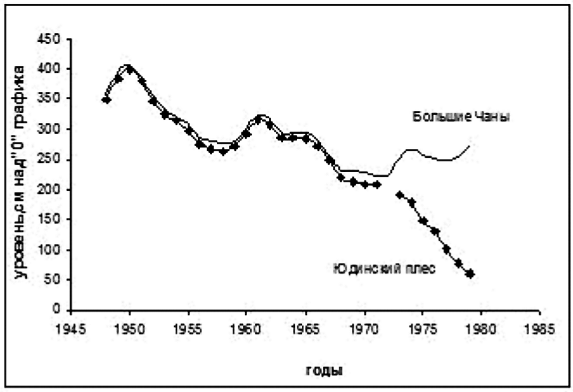
Рис. 5. Средний годовой уровень воды оз. Байкал за период наблюдений

1964 г. уровень воды Байкала достиг отметки 456,80 м БС, что на 1,30 м выше среднего многолетнего значения и является максимальным среднегодовым уровнем за весь период наблюдений (рис. 5). В дальнейшем средний уровень озера поддерживается на 1 м выше среднего уровня Байкала до строительства ГЭС.

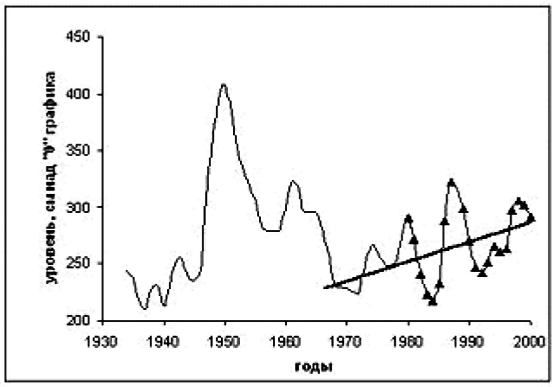
Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.03.2001 № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» были установлены минимальный уровень (456 м ТО) и максимальный уровень (457 м ТО).

Годовой ход уровня оз. Байкал в условиях подпора от плотины ГЭС в целом соответствует естественному режиму. Однако влияние регулирования привело к смещению на более поздние сроки минимального и максимального значений уровня озера и к увеличению амплитуды его колебаний с 80 см до 113 см, но с 2001 года амплитуда колебания уровня воды составляет 100 см, т.е. поддерживается в пределах установленных отметок.

Средний годовой уровень оз. Байкал не имеет значимой и устойчивой тенденции ни за период естественного режима (1901–1955 гг.), ни за последние 25 лет, что его отличает от озер ЕТР (Ладожского и Онежского). Период 1959–1980 гг. характеризуется снижением уровня от максимального значения в 1964 г. до минимального в 1980 г., однако статистическая оценка линейного тренда не значима. Если уровень 1964 г. был максимальным для всего ряда наблюдений, то минимальный уровень в 1980, 1981, 1997 и 2003 гг.



а)



б)

Рис. 6. Уровень воды в оз. Большие Чаны и Юдинском плесе (а); уровень воды в оз. Большие Чаны и линейный тренд за период 1981–2000 гг. (б)

был на 80 см выше значений низких уровней, наблюдавшихся в 20-е годы прошлого века.

Озеро Большие Чаны. Уровень бессточного оз. Большие Чаны, расположенного в зоне степей, подвержен значительным колебаниям (до 5 м). С начала XX века до 1914 года общий подъем уровня составил 2 м, а с 1914 по 1937 г. зафиксировано падение уровня на 3 метра. С 1937 по 1950 г. отмечался резкий подъем уровня озера, равный 1,98 м, который сменился его падением на 1,84 м к 1972 г. Дальней-

шее падение уровня воды озера было приостановлено путем отчленения Юдинского плеса в 1971 г. На рис. 6 (а) представлен совмещенный график хода уровня воды оз. Большие Чаны (Квашнино) и Юдинского плеса. После отчленения плеса произошло резкое падение уровня воды в нем, составившее к 1979 г. около 1,5 м. Наблюдения за уровнем воды в плесе были прекращены. Период 1972–1980 гг. характеризовался ростом уровня воды оз. Большие Чаны на 66 см. За 1981–2000 гг. отмечается статистически значимый положительный линейный тренд уровня воды, составляющий 34 см/10 лет (рис. 6 (б).

Заключение

Запасы воды в озерах мира составляют только малую часть от всех вод Земли, примерно 0,01%. Однако среди источников пресной воды роль озер огромна, так как в них содержится более чем 90% легкодоступной для потребления воды. В то же время гидроэкологическое состояние многих пресноводных водоемов ухудшается под воздействием антропогенных факторов разного масштаба, от локального до глобального. Антропогенные воздействия на природу, такие как создание искусственных гидротехнических сооружений, регулирование стока рек, нерациональное водопользование, загрязнение поверхностных вод и изменение климата в XX в., уже привели к значительным изменениям экологического режима озер. Реальностью стали такие негативные явления, как химическое и биологическое загрязнение, эвтрофирование озер, сокращение вылова промысловых рыб. Все эти процессы прямо или косвенно связаны с гидрологическим режимом озер, уровнем и объемом воды, проточностью водоемов, а также с температурой воды и ледовыми явлениями на водоемах. Эти процессы требуют тщательного изучения, поскольку кризис экологического состояния может стать необратимым.

Отмеченные тенденции падения уровня воды за последние 25 лет для Ладожского, Онежского и Чудско-Псковского озер (при их сохранении в будущем) могут привести к значительным последствиям. Изменение уровня воды в озерах может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для экономики и населения. Причем понижение уровня озер, как правило, приводит к негативным последствиям, что в первую очередь связано с ухудшением обеспечения населения водой. Высокий уровень благоприятен для водоснабжения населения, сельского хозяйства, гидроэнергетики и других отраслей, однако, может вызвать затопление населенных пун-

ктов и сельскохозяйственных угодий, что происходит почти ежегодно в бассейне оз. Ильмень.

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. *Гронская Т.П.* Водные ресурсы озер // Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ. 2008. С.166–169.
3. *Догановский А.М., Малинин В.Н.* Гидросфера Земли. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 630 с.
4. *Клиге Р.К.* Изменения глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 248 с.
5. *Лемешко Н.А.* Уровень воды крупных озер // Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ. 2008. С. 169–173.
6. *Молчанов И.В.* Ладожское озеро. Л.: Гидрометеоиздат, 1945. 559 с.
7. *Молчанов И.В.* Онежское озеро. Л.: Гидрометеоиздат, 1946. 207 с.
8. Современные проблемы гидрометеорологии. СПб.: Астерион, 2006. 282 с.
9. *Таратунин А.А.* Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: «Аэрокосмоэкология», 2000. 275 с.
10. *Шнитников А.В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Наука, 1969. 246 с.

N.A. Lemeshko

CONTEMPORARY CHANGES IN THE LEVEL OF WATER OF THE LARGEST LAKES OF RUSSIA

Natural and anthropogenic changes in the climate system and in the nature form new tendencies in the lakes regime, which integrat water resources change over vast area. The study of water level changes of the largest lakes of Russia are based on the time-series for the period of observation and much attention was given to the last decades tendencies with significant climate changes including air temperature and water resources. Changes in water level of seven largest Lakes of Russia (Baikal, Ladoga, Onega, Ilmen, Chudsko-Pskovskoe and Chany) are presented in this paper.

Г.С. Шилькрот, Т.М. Кудерина

ГЕОХИМИЯ РЕЧНЫХ И ОЗЕРНЫХ ВОД РАЗНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ

Представлены результаты выполненных авторами исследований в период 2004–2007 гг. нескольких групп озер и речных систем, не испытывающих прямого техногенного воздействия в разных регионах Европейской части России. Исследовались озера и реки Большого Соловецкого острова и Карелии, озеро Селигер, речные системы и озера горных ландшафтов Северного Кавказа, реки на территории Кавказских Минеральных Вод.

Были выявлены особенности формирования и различия геохимических свойств озерных, речных и грунтовых вод современных природно-антропогенных ландшафтов разных географических регионов. Показано, что главными факторами, формирующими свойства вод, являются атмосферные осадки, нередко загрязненные, растительный покров, почвы и горные породы водосборного бассейна, а также антропогенный фактор.

По А.И. Перельману (1975), качественный состав природных вод отражает результаты взаимодействия всех составляющих ландшафта, а через систему водного и биологического круговорота осуществляется поступательное развитие биосферы. Такой взгляд крупнейшего отечественного геохимика имеет особое значение для решения современных экологических проблем, включая познание условий формирования качества окружающей среды и устойчивое развитие общества.

В последнее десятилетие авторами проводилось экспедиционное обследование нескольких групп озер и речных систем в разных географических районах Европейской территории России. Исследовались объекты, не испытывающие в настоящее время значительного техногенного воздействия, не исключающего, однако, поступления загрязнений с атмосферными осадками. Такими объектами явились озера Большого Соловецкого острова в Белом море и озера Южной Карелии, озеро Селигер в бассейне верхней Волги, а также речные системы и небольшие озера горных ландшафтов Северного Кавказа. Собранный материал позволил охарактеризовать геохимические свойства озерных, речных и грунтовых вод, формирующиеся в условиях миграции веществ в современных природно-антропогенных ландшафтах (Шилькрот, 2007). При этом уделялось внимание роли разных природных и антропогенных факторов в формировании геохимии

вод. Материалы исследований докладывались на Международных конференциях (Шилькрот, Кудерина, 2005; Кудерина, Шилькрот, 2007; Кудерина и др., 2008).

Озера Карелии и Большого Соловецкого острова

Территория Карелии и близлежащих Соловецких островов Белого моря изобилует озерами, в распределении которых заметна их приуроченность к тектоническим разломам и ложбинам стока ледниковых вод. Вместе с тем, геологические условия двух указанных районов различны. Ландшафты Карелии сформировались в условиях Балтийского кристаллического щита, а его влияние на ландшафты Соловецкого архипелага минимально вследствие значительной толщи осадочных отложений на островах.

Наши исследования в данном регионе имели целью сравнить состояние хорошо изученных водных объектов Карелии с менее изученными объектами Б. Соловецкого острова и оценить характер возможного влияния на эти озера и водотоки западного воздушного переноса загрязнений.

Результаты исследования озер Б. Соловецкого острова, проведенного в июне 2004 г., выявили при их большом разнообразии в размерах (площади акватории и глубине котловины) различия в уровне трофии и соответственно в величине прозрачности озерных вод, в содержании соединений фосфора, в степени окрашенности вод гумусом (цветности воды). Гидрохимические данные для нескольких типичных для Б. Соловецкого острова озер приведены в табл. 1.

Озера и водотоки Б. Соловецкого острова и Южной Карелии оказались очень похожими по величине минерализации воды, в основном в пределах 30 мг/л, по слабокислой реакции воды – величина pH как правило менее 7,0 (от 5,0 до 7,3), незначительному содержанию соединений фосфора ($P_{мин} < 0{,}01$ мг/л, а $P_{общ}$ составляет 0,02–0,04 мг/л) и важнейших микроэлементов, включая токсичные тяжелые металлы (табл. 2). Вместе с тем, поверхностные воды Б. Соловецкого острова имеют в сравнении с водами Южной Карелии иной ионный состав. В первых из анионов преобладают хлориды и гидрокарбонаты, а из катионов – натрий и кальций. Что явно отражает влияние морских аэрозолей. Тогда как воды Южной Карелии имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав, что обусловлено уже влиянием континентальных аэрозолей.

Таблица 1. Гидрохимические показатели озер Б. Соловецкого острова

Показатели	Большое Красное	Средний Перт	Святое	Круглое Орлово
Площадь, км^2	2,74	0,63	0,21	0,12
Глубина макс., м	24,6	12,5	10,5	22,1
Глубина сред., м	10,4	5,3	5,5	17,8
Прозрачость, м	4–5	<3	1.5	≈3
Цветность, град.	2–4	42	127	38
$P_{общ}/P_{мин}$, мкг/л	23/4	32/6	48/10	30/4
$N_{общ}/N_{мин}$, мг/л	1,05/1,00	1,30/1,20	2,00/1,40	1,30/1,20
Сумма ионов, мг/л	36,3	31,9	34,8	33,8

Из табл. 2 видно, что полученные нами показатели для вод Карелии в основном совпадают с данными многолетнего мониторинга для этого региона. Озера Б. Соловецкого острова отличаются от поверхностных вод Карелии несколько повышенным содержанием железа, хрома и кобальта. В целом же из результатов исследования следует, что водные объекты рассматриваемого региона в настоящее время представляют собой значительные источники чистейших вод. Концентрации большей части ТМ в водах региона намного ниже рыбохозяйственных нормативов. Исключение составляют растворенные в воде цинк, медь и железо.

Можно считать, что гидрохимические и геохимические свойства поверхностных вод исследуемого региона определяются, главным образом, атмосферной составляющей водного стока и его высокими модулями (10 л/с, км^2 и более (Напрасников, 2003)), а также влиянием лесных водосборов. Первый фактор обусловливает низкое содержание растворенных минеральных веществ в озерных и речных водах, а второй – в ряде случаев высокую степень обогащения их растворенным органическим веществом аллохтонного происхождения. Поэтому водные объекты, слабо освоенные в хозяйственном отношении, имеют в основном низкое содержание в воде минерального фосфора (<10 мкг/л), что обусловливает олиготрофное и олиготрофно-мезотрофное состояние большинства водных объектов. Однако обращает на себя внимание значительное обогащение озерных и речных вод органическими соединениями фосфора и азота. Нередко это совпадает с повышенным поступлением в те же водные объекты растворенного органического вещества.

Таблица 2. Содержание некоторых тяжелых металлов (ТМ) в озерных и речных водах Б. Соловецкого острова и Южной Карелии, мкг/л*

ТМ	Б.Соловецкий о-в	Карелия	Карелия**	ПДК рыбохоз
Zn	11 (0-70)	41 (0–130)	5,1; 118	10
Cu	3 (2–7)	6 (1–29)	2,0; 11,0	1
Pb	0–0,2	0–0,3	0,6; 9,0	6
Cd	0,02 (0,01–0,04)	0,12 (0,02–0,4)	0,12; 1,3	5
Ni	0,6 (0–1)	0,4 (0,07–1)	0,9; 11,4	10
Cr	10 (0–51)	6 (2–11)	0,9; 8,3	20
Co	0,1 (0,02–0,4)	0,03 (0,02–0,04)	–	10
Fe	272 (10–770)	191 (20–550)	–	100

* Определено методом атомно-эмиссионной спектрометрии.
** Средняя и максимальная концентрации (Лозовик, 2003).

Будущее состояние озер и водотоков рассматриваемых уникальных в природном отношении ландшафтов будет определяться как изменениями природных факторов (количества осадков и температуры воздуха), так и организацией хозяйственной деятельности на конкретной территории.

Бассейн озера Селигер

Озеро Селигер и вытекающая из него р. Селижаровка представляют собой второй исток Волги. Свойства вод верхней Волги формируются в условиях природно-антропогенных ландшафтов Валдайской возвышенности в зоне южной тайги с повышенным модулем водного стока и в условиях его обогащения растворенным органическим веществом. Поверхностные воды здесь маломинерализованные в период весеннего снеготаяния, но в периоды минимального речного стока зимой и летом минерализация их заметно возрастает из-за питания рек грунтовыми водами. Минерализация вод озера Селигер более стабильна по сезонам года и по годам и составляет в основном ≈100 мг/л, в ионном составе воды преобладают гидрокарбонаты и кальций.

В бассейне озера Селигер, начиная с 2000 г., нами проводились исследования почти ежегодно. Сначала в составе комплексной экспедиции нескольких институтов РАН (географии, океанологии и озероведения) и Тверского технического университета, результаты которой публикова-

лись в нескольких статьях и в коллективной монографии (Структура.., 2004). Позже авторы осуществляли многолетний мониторинг, главным образом, за состоянием Селижаровского плеса озера и его водосбора.

Селигер – одна из известных озерных систем Валдайской возвышенности (площадь акватории – 212 км^2, площадь водосбора – 2312 км^2, средняя глубина – 5,8 м, наибольшая глубина 24 м) – занимает водораздельное положение. Это озеро, как и многие другие в средней полосе Европейской России, стало эвтрофироваться с 60–70-х годов прошлого столетия из-за воздействия сбросов промышленных и коммунальных сточных вод и стока с территории г. Осташкова, химизации сельского хозяйства и рекреационного использования побережий. Признаки эвтрофирования проявлялись неравномерно в разных плесах озера. Исследованиями 2000 г. было выявлено в ряде районов акватории существенное загрязнение вод и донных отложений некоторыми токсичными тяжелыми металлами. Также была обнаружена значительная роль малоосвоенных лесных и заболоченных частей озерного водосбора в повышенном выносе в водоем биогенных и загрязняющих элементов (Структура..,2004).

Развитие туризма и неорганизованного отдыха в бассейне Селигера в последние годы позволяло предполагать заметные изменения в водной миграции биогенных и загрязняющих веществ (в основном тяжелых металлов) с селитебных и лесных территорий озерного водосбора. В настоящем сообщении приводятся результаты исследований, выполненных в 2004–2007 гг. по трансекту озеро Селигер (Осташковский плес) – р. Селижаровка и на водосборе Селижаровского плеса, о состоянии притоков и грунтовых вод в новых условиях природопользования. Полученные результаты свидетельствуют о более-менее стабильном и благополучном состоянии основной акватории озера Селигер как по показателям трофического статуса, так и по уровню содержания в воде токсичных тяжелых металлов.

По содержанию биогенных элементов в озерной воде Селигер относится к слабоевтрофному типу. Концентрация фосфора в воде Селигера составляет в основном ≈40 мкг/л $P_{общ}$. Вместе с тем наблюдения за временной изменчивостью содержания фосфора в притоках и грунтовых водах водосбора Селижаровского плеса выявляют его неуклонное увеличение, происходящее главным образом в грунтовых водах (в колодцах) в прибрежной освоенной селитьбой и рекреацией территории. При концентрации фосфора в грунтовых водах рассматриваемого района в основном в пределах 0,1–0,4 мг/л в некото-

рых случаях в колодцах на освоенной территории содержание фосфора приближается к 1 мг/л и достигает порой 3 и 9 мг/л $P_{мин}$.

Отсюда можно заключить, что воды колодцев являются индикаторами происходящих процессов интенсивной миграции веществ на освоенной прибрежной территории.

Обогащение грунтовых вод фосфором, очевидно, обязано усилению процессов выщелачивания этого элемента из почв. Эксперимент на лесном водосборе в Финляндии продемонстрировал эффект удобрения его небольшой части, обусловивший длительное вымывание соединений азота и фосфора из лесных почв после применения удобрений (Saura et al, 2000). Подобное обогащение фосфором грунтовых вод отмечается данными исследования грунтовых вод в приречных ландшафтах р. Волги ниже г. Тверь (Ахметьева и др., 2007). По этим данным, содержание фосфора в грунтовых водах (в источниках) изменяется от 0,1 до 1 мг/л и более в зависимости от уровня антропогенной нагрузки на территорию. Очень высокие показатели содержания фосфора были обнаружены международной экспедицией в 2005 г. в оз. Стерж и в р. Волге ниже Селижарова (Отчет.., 2005).

По сравнению с озерной водой Селигера питающие его речные и грунтовые воды более минерализованные. При этом только вода родников (самоизливающихся источников) во все сезоны и годы имеет более-менее стабильную величину минерализации (200 и более мг/л), тогда как для рек и колодцев отмечается большая сезонная изменчивость минерализации их вод.

Ионный состав всех поверхностных вод и родников – гидрокарбонатно-кальциевый. Грунтовые воды колодцев отличаются тем, что для них характерно наряду с преобладанием в ионном составе гидрокарбонатов и кальция заметное возрастание концентраций сульфатов, калия и натрия. Максимальное содержание последних (K – до 27,9 мг/л и Na – до 16,0 мг/л) отмечено в колодце с. Рогожа.

По сравнению с озерной водой вода притоков и грунтовых вод озера заметно обогащена железом и стронцием (табл. 3), но более всего этих элементов содержат родниковые воды. Также в них повышены концентрации хрома и никеля, но стабильно мало содержится цинка. Вода колодцев, наоборот, отличается максимальным содержанием цинка при относительно небольших концентрациях хрома, никеля и стронция. Оказалось, что эти же особенности содержания ряда элементов в воде колодцев характерны и для атмосферных осадков (табл. 4).

Таблица 3. Показатели среднего содержания ряда микроэлементов, включая тяжелые металлы, в водах бассейна Селигера, 2005–2007 гг., мкг/л

Элементы	Озеро	Р. Селижаровка	Притоки*	Родники*	Колодцы*
Fe	92	166	387	507	238
Mn	1,3	0,3	0,4	4,7	0,7
Sr	86	95	96	213	107
Ba	21	23	16	20	31
Zn	9,8	2,4	0,8	0,3	22
V	0,4	0,3	0,2	0,3	0,6
Cu	1,1	0,5	1,5	0,5	3,4
Cr	3,6	1,4	4,6	14,5	4,5
Ni	0,7	1,6	3,9	6,0	3,4
As	0,9	0,6	0,45	0,3	0,7

*Притоки, родники и колодцы принадлежат водосбору Селижаровского плеса.

Из табл. 3 видно, что для большей части элементов нет различий между речными и озерными водами и особенно по таким элементам, как Sr, Cr и As. Однако заметим, что как в Селигере, так и в р. Селижаровке (ее истоки) заметно снижено содержание Fe и Ni по сравнению с концентрацией их в притоках и в грунтовых водах. И, наоборот, в озерной воде повышено содержание Zn относительно вод притоков и родников. Однако это повышение характерно в основном для прибрежных частей акватории озера (в районе Свапуще Zn – до 94,9 мкг/л), тогда как в открытой части водоема содержание Zn составляет всего 0,3–1,9 мкг/л. Повышенные концентрации этого элемента в озерной воде, как и содержание As, более всего приближаются к таковым в воде колодцев на освоенной территории. Соответственно содержание цинка в прибрежных частях акватории озера заметно превышает рыбохозяйственный норматив (10 мкг/л). Концентрации остальных элементов ниже ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Заметим, что полученные по съемкам 2005–2007 гг. оценки содержания ТМ в притоках Селижаровского плеса мало отличаются от данных съемки 2000 г., выполненной для притоков всего озера Селигер (Структура.., 2004). Это позволяет сделать вывод о репрезентативности частного водосбора Селижаровского плеса для характеристики геохимических свойств притоков всего озера Селигер.

Вместе с тем, надо заметить, что данными последних лет отмечается увеличение размаха колебаний величин концентраций двух

Таблица 4. Содержание растворенных микроэлементов, мкг/л, в дождевой воде (Селижаровский плес) и поток химических элементов (ПХЭ) из атмосферы в фоновых районах, ЕтР, г/м^2,год

Элементы	Fe	Mn	Sr	Ba	Zn	V	Cu	Cr	Ni	As
Дожди	33,8	2,8	1,0	0,7	13,7	0,2	0,2	3,1	0,2	0,2
ПХЭ, ЕтР*	–	12,7	–	–	28,9	–	5,0	–	4,3	–

* Общий (в растворе и взвесях) (Карпова, 2006).

элементов (Cr и Sr) в притоках озера. Похожая ситуация, и даже с еще большим разбросом величин концентраций этих элементов, но с меньшим разбросом для Fe и Mn, выявлена для водных объектов верхней Волги (от ее истоков до г. Тверь) российско-германской экспедицией в августе 2005 г. (Отчет.., 2005). Сравнение геохимических данных 2005 г. для водных объектов верхней Волги с таковыми для 1970-х гг. (Петрухин, 1982) показывает повсеместное повышение (в 1,5–2 раза) к настоящему времени в водах Волги содержания Fe, As, Cr и Sr.

Поверхностные воды горных ландшафтов Северного Кавказа

Исследования в этом регионе, проводимые с 2004 г., имеют целью оценить пространственно-временную изменчивость геохимических характеристик воды в каскадных системах горных рек и состояние малых озер. Исследования проводятся на 3-х каскадных водных системах в разных районах Северного Кавказа: 1-я – верховья р. Теберды; 2-я – верховья рек Белой и Лабы (Малая Лаба и Большая Лаба) – левых притоков р. Кубани; 3-я система включает снежный покров на ледниках Эльбруса, далее р. Баксан (от Азау до выхода на равнину). А ее продолжением можно считать район Кавказских Минеральных Вод (КМВ) – р. Подкумок (с притоками) и Кума. Районы исследования включали высокогорные и среднегорные заповедные территории (Тебердинского и Кавказского государственных биосферных заповедников), национального парка «Приэльбрусье», а также территории рекреационного и хозяйственного освоения. Особенно это касается КМВ. Исследуются показатели качественного состава снега, стока талых вод, речных и озерных вод, как гидрохимические, так и геохимические.

Исходя из пространственной неоднородности ландшафтов горной страны, обусловленной прежде всего природными факторами (орогра-

фией, климатическими условиями и характером подстилающих пород), и уровнем антропогенного воздействия, можно предположить высотную неоднородность интенсивности геохимических процессов в ландшафтах и соответственно большие различия в характере водной миграции химических элементов и геохимических показателей вод в каскадах от высокогорий к подгорной равнине.

При слабой активности биогеохимических процессов и незначительной трансформации веществ в ландшафтах верховий горных рек их химические показатели мало отличаются от таковых для атмосферных осадков. Это проявляется в низкой минерализации тех и других и в незначительном содержании соединений фосфора и азота. Однако содержание в водном стоке микроэлементов, включая тяжелые металлы, нередко отличается от состава атмосферных осадков. О факторах, определяющих это, будет сказано ниже.

Поверхностные воды верхней части р. Теберды. Исследовались снежный покров и ручей на горах Муса-Ачитара (2530 м), Белалакая и Аманауз, снег и сток на леднике Алибек, р. Алибек, Аманауз, Гоначхир, Муруджу и Хаджибей, озера Турье, Туманлыкель и Каракель. Выявилась большая пространственная и временная (сезонная и межгодовая) изменчивость качественного состава как снежного покрова (верхний слой 10 см), так и стока талых вод.

В начале зимы (декабрь) для снега характерна кислая реакция (pH≈5,0), в другие сезоны pH>6. Величины pH>6 отмечаются и для стока со снежников и ледников в мае–августе. Минерализация снега и талых вод в высокогорье низкая – 3–13 мг/л, а в ионном составе преобладают HCO_3, Ca и Na. В реках, питающихся уже не только талыми, но и подземными водами, pH возрастает до 7,4–8,0, минерализация воды до 50 мг/л, что особенно заметно происходит в марте и декабре. В ионном составе речных вод преобладают всегда HCO_3 и Ca. Более всего повышается минерализация воды в низкогорных озерах Туманлыкель (77 мг/л) и Каракель – г. Теберда (180 мг/л).

Микроэлементный состав снега и поверхностных вод в наиболее значимых концентрациях представлен (в порядке убывания) следующим образом: Fe>Al>Sr>Zn>As>Mn>Cr>Ni и т.д. Значения всех элементов значительно ниже ПДК для питьевых вод и для большей части элементов ниже рыбохозяйственных нормативов (табл. 5). Вместе с тем, следует заметить, что в отдельных объектах отмечается повышенное в сравнении с другими содержание некоторых элементов. Например, много Fe наблюдается в воде р. Аманауз и оз. Каракель. А воды р. Муруджу выделяются максимальным содержанием As (до 15 мкг/л). Много это-

Таблица 5. Среднее содержание микроэлементов в горных породах и почвах (n.10^{-3} %), снежном покрове и речных водах (мкг/л) Северного Кавказа

Элементы	Zn	Ni	Mn	Cr	Sr	As
Горные породы*	69	31	73	88	30	-
Почвы*	106	47	930	109	216	-
Р. Теберда	6,0	0,8	2,3	1,5	26	3,0
Р. Белая и Лаба	21	1,7	5,2	3,7	111	-
Снег на Эльбрусе	15	0,7	8,5	1,5	3,6	0,8
Р. Баксан	1,9	0,6	6,1	3,1	36	6,3
КМВ	2,0	1,7	0,3	11,3	1620	2,5
Реки мира**	20	0,3	7,0	1,0	70	2,0
ПДК рыбохоз	10	10	10	20	400	50

* По (Дьяченко, 2004).

** По (Иванов, 1994).

го элемента и в озерах Туманлыкель и Каракель (~3 мкг/л). В последнем озере обнаружено также повышенное содержание Zn, Sr, Cr, U и Ni (Zn>Fe>Sr>Cr>U>Ni>As). Содержание урана достигает 8 мкг/л. Все это можно было бы объяснить кумулятивным эффектом для слабопроточного водоема. Однако, как показали наблюдения, вода питающего озеро горного ручья содержит также повышенные концентрации указанных элементов, источником которых могут являться горные породы.

Поверхностные воды верховьев рек Белой и Лабы (Большой и Малой). Как и в предыдущем районе, здесь также исследовали качественный состав речных вод и снежного покрова (г. Фишт и плато Лагонаки), так как талые воды имеют первостепенное значение в питании указанных высокогорных рек. Результаты исследований показали следующее. Значения pH снежного покрова здесь также меняются по сезонам – от 4,4–4,5 (кислые осадки) зимой, до 6,3–6,4 весной. Минерализация снега в основном низкая – 6,9–19,0 мг/л, минимум ее отмечается зимой. В начале зимы из ионов преобладают HCO_3, K и Na, а весной и летом доминируют ионы HCO_3 и Ca. Активная реакция воды в верховьях рек в основном щелочная (pH 7,2–7,4), а иногда близка к нейтральной – pH 6,5–6,9. Минерализация воды рек мало меняется по их длине (в пределах гор). Весной и летом она колеблется в пределах от 52–65 мг/л до 100 мг/л, зимой (апрель? декабрь) повышается до 170–200 мг/л. Но всегда повышена минерализация воды р. Курджипс (230–312 мг/л), что обусловлено влиянием

дренируемых ею карбонатных пород. Очень характерным для данного района является увеличение содержания сульфатов в речных водах с повышением их минерализации. Но в ионном составе речных вод всегда преобладают HCO_3 и Ca.

Содержание соединений азота и фосфора очень незначительное как в снежном покрове, так и в верховьях рек при отсутствии антропогенных воздействий. Концентрации аммонийного и нитратного азота изменяются в пределах 0,10–0,60 мг/л N, а минерального фосфора – от <0,01 до 0,02 мг/л P. Но при антропогенном влиянии содержание биогенных элементов в речных водах возрастает очень существенно, почти на порядок.

Определения микроэлементного состава показали, что снежный покров и речные воды высокогорий рассматриваемого района обогащены одними и теми же химическими элементами: Al, Fe, Zn, Ni и Cr. Но наиболее повышено содержание Al и Fe в речных водах. Обращает на себя внимание высокое содержание Sr в речных водах в среднегорье, что совпадает с повышением здесь минерализации воды и, видимо, обусловлено влиянием терригенно-карбонатных отложений, обогащенных стронцием (Дьяченко, 2004). Согласно автору, содержание Sr в почвах на терригенно-карбонатных отложениях выше среднего его содержания в почвах Северного Кавказа и к тому же его содержание в почвах повышается от высокогорий к низкогорью.

По нашим данным, есть некоторая тенденция роста концентраций Sr и Cr в речных водах от высокогорий к низкогорью. Средние концентрации нескольких важнейших элементов в рассматриваемой каскадной системе составляют следующий ряд: Sr>Zn>Mn>Cr>Ni (см. табл. 5). При этом для цинка отмечается превышение рыбохозяйственного норматива.

Каскадная система Эльбрус – р. Баксан и речные воды территории Кавказских минеральных вод. Исследовался качественный состав снежного покрова на южном склоне Эльбруса (вверх от Азау), с высоты 2,5 тыс. м до 5 тыс. м, р. Баксан (от Азау до выхода ее на равнину) и р. Подкумок с притоками и Кума. Как и в уже рассмотренных ранее районах снежный покров и речные воды в высокогорье маломинерализованы. Минерализация воды р. Баксан заметно возрастает к равнине, еще более она повышена у притоков р. Подкумок (до 400 мг/л) и в самой р. Подкумок в районе КМВ (до 700 мг/л), а максимальная в р. Кума (до 1 г/л). Все это является следствием влияния дренируемых реками карбонатных пород. Но в низкогорье еще и испарение воды с территории превышает количество выпадающих осадков.

Снежный покров и речной сток рассматриваемого каскада различаются по составу доминирующих в этих объектах микроэлемен-

тов. В снежном покрове Эльбруса преобладают Zn и Mn, тогда как в р. Баксан с понижением высоты места возрастают концентрации As, Cr и Sr. Особенно повышено содержание последних двух из указанных элементов в реках КМВ (см. табл. 5). Речные воды КМВ, выделяющиеся повышенными минерализацией воды и содержанием стронция, обязаны этим главным образом влиянию карбонатных пород. Содержание Sr в воде р. Кума достигает иногда 2,9 мг/л. Много в этой реке и U – до 10–12 мкг/л.

Влияние Тырныаузского комбината на микроэлементный состав речных вод Баксана в настоящее время очень заметно. Так, в речной воде ниже Тырныауза в сравнении с верховьем реки содержание Mo повышается с 0,08 до 6,3 мкг/л, а W – с 0,01 до 0,13 мкг/л.

Литература

1. *Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Кудряшова В.В.* Родники на водосборе Иваньковского водохранилища // Природа. 2007. №2. С. 66
2. *Дьяченко В.В.* Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 2004. 267 с.
3. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. Под ред. Э.К. Буренкова. М.: Недра, 1994.
4. *Карпова Е.А.* Эколого-агрохимические аспекты длительного применения удобрений: Состояние тяжелых металлов в агроэкосистемах. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.б.н. М., 2006. 47 с.
5. *Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С.* Мониторинг состояния озера Селигер в новых условиях природопользования // Теория и практика восстановления внутренних водоемов // Сб. трудов Междунар. н.-практ. конф., СПб., 15–18 окт. 2007 г. СПб.: Изд. «Лема», 2007. С. 224–230.
6. *Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С., Кудиков А.В.* Качество поверхностных вод горных ландшафтов Северного Кавказа // Геоэкологические проблемы современности. Докл. 2-й Междунар. конф. Владимир, 18–20 сент. 2008 г. Владимир – М., 2008. С. 124–126.
7. *Лозовик П.А.* Химический состав притоков // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Карел. НЦ РАН. Петрозаводск, 1998. С. 71–76.
8. *Напрасников А.Т.* Гидролого-климатические системы: Геоэкологический анализ. Иркутск: ИГ СО РАН, 2003. 143 с.
9. Отчет об экспедиции по верхней Волге. Том 1. Труды Пресноводного Исследования. Ред.: В.В. Кузовлев, М. Шлеттерер. 2005. 140 с.
10. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.
11. *Петрухин В.А.* Фоновое загрязнение тяжелыми металлами природных

сред в бассейне верхней Волги // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып.1. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. С. 147–165.
12. Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях. СПб.: Недра, 2004. 106 с.
13. *Шилькрот Г.С.* Миграция веществ в водных геосистемах – формирующий и управляющий их свойствами фактор // Теория и практика восстановления внутренних водоемов: Сб. трудов Междунар. н.-практ. конф., СПб, 15–18 окт. 2007 г. СПб.: Изд. «Лема», 2007. С. 355–366.
14. *Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М.* Сходство и различие гео- и гидрохимических свойств слабонарушенных озерных геосистем Б.Соловецкого острова и Карелии // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий // Междунар. конф. «Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий», 3-я. Архангельск, 21–25 июня 2005 г. СПб.: Наука, ВВМ, 2005. С. 71–78.
15. *Saura M., Frisk T., Sallantaus T., Bilalerdin A.* The effects of forest fertilization on a small polyhumic lake //Verh. Internat. Verein. Limnolog. Stuttgart. 2000. V. 27. Pp. 3029–3033.

G.S.Shilkrot, T.M. Kuderina

GEOCHEMISTRY OF THE RIVER AND LAKE WATER IN DIFFERENT GEOGRAPHICAL LANDSCAPES

The results of investigations, which were held in 2004-2007, are revealed. Lakes and river systems free from strait technogenic influence in different regions of the Europian part of Russia were investigated: lakes and rivers of Great Solovietsky island, Karelia, the lake Seliger, river systems and lakes of mountainous landscapes of the North Caucasus, rivers of the Caucasus Mineral Waters territory.

The investigations revealed peculiarities in formation and definite differences of geochemical characteristics of lake, river and underground waters of the modern nature-anthropogenic landscapes in the different geographical regions. It is shown that the main factors of the water quality are atmospheric precipitation, often polluted, vegetation and soil cover, as well as rocks of drainage-basin and, more-over, an anthropogenic factor.

И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДОЕМОВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

Комплексные натурные исследования ряда водоемов Тверской области (Верхневолжское, Иваньковское, Вышневолоцкое, Шлинское и Угличское водохранилища и озеро Селигер) показали, что природные особенности региона Верхней Волги являются основными факторами, которые определяют невысокую минерализацию воды, повышенную цветность воды, высокие концентрации железа общего, марганца и иона аммония. Антропогенные факторы влияют на увеличение концентраций сульфатов, хлоридов, нитратов, фосфатов и нефтепродуктов.

В ходе исследований было выявлено, что наибольшие превышения $ПДК_{рыб.}$ наблюдаются во все годы для таких показателей, как железо общее и марганец. Отмечается увеличение концентраций ряда загрязняющих веществ вниз по течению р. Волги от бейшлота до плотины Иваньковской ГЭС. Для Угличского водохранилища характерна более высокая минерализация воды, чем для Иваньковского водохранилища, и повышенные концентрации минерального фосфора. В воде водохранилищ наблюдается межсезонная и межгодовая изменчивость концентраций различных гидрохимических показателей.

Формирование химического состава природных вод происходит под воздействием совокупности факторов, которые можно разделить на ряд групп: физико-географические, геологические, физико-химические, биологические и антропогенные (Гидрохимические показатели.., 2000) или на две большие: природные и антропогенные.

Приоритетными природными характеристиками, определяющими химический состав поверхностных вод, являются прежде всего: геолого-геоморфологические особенности территории; механический состав почв водосбора и их физические характеристики (плотность, влажность, пористость, коэффициент фильтрации и т.д.) и адсорбционные свойства; характер растительной ассоциации и степень задернованности поверхности; количество и характер выпадения атмосферных осадков, их химический состав и т. д. Антропогенные характеристики – это совокупность факторов, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

Особым классом водных объектов являются водохранилища, которые подчиняются закономерностям формирования и развития, присущим естественным водоемам, но одновременно с этим на все процессы, протекающие в них, большое влияние оказывает деятельность человека и прежде всего задаваемый им режим эксплуатации (Водохранилища и их воздействие.., 1986). В целом факторы, влияющие на формирование качества воды водохранилищ, можно подразделить на три большие группы: абиотические, биологические и антропогенные. К первым следует отнести природные и климатические условия региона, в котором расположено водохранилище, гидрологические и морфометрические характеристики водоема. Большую роль в формировании качества воды играют также водность года, положение водохранилища в каскаде, сезонная и суточная динамика внутриводоемных процессов.

Химический состав воды водохранилищ определяется в значительной степени химическим составом воды исходного водоема или водотока. Изменение гидрологического режима реки, на которой создается водохранилище, приводит к замедлению течений, сокращению водообмена, изменению типа круговорота веществ, что в конечном итоге вызывает существенное изменение гидрохимического режима водоема по сравнению с исходным водотоком. После создания водохранилища, химический состав воды в нем может видоизменяться также под воздействием так называемых внутриводоемных процессов и антропогенных факторов.

Биологические процессы – это важный фактор формирования качества вод в водохранилищах в связи с перестройкой гидробиологического режима реофильного типа на стагнофильный и возникшей при этом неустойчивостью формирующихся водных экосистем (Водохранилища и их воздействие.., 1986). Как правило, все биологические факторы подразделяют на две группы: 1) биокомпоненты окружающих водоем ландшафтов, 2) водные экосистемы. Лесокустарниковая и луговая растительность удерживает до 20% биогенных элементов, поступающих в водоем с водосбора (Водохранилища и их воздействие.., 1986), что явилось основой для создания водоохранных зон по берегам водохранилищ. Влияние биологического фактора в самом водоеме осуществляется несколькими путями: физико-химическим (присутствием организмов в водоеме) и химическим (метаболическое, прижизненное и постлетальное влияние).

Наиболее существенно на формирование качества воды водохранилищ влияют антропогенные факторы, поскольку водохранилища

очень интенсивно используются в хозяйственной деятельности и для развития отдыха и туризма. По характеру нагрузки на водосборный бассейн можно оценить степень трофности водоема, поскольку интенсивность хозяйственного освоения водосборного бассейна в значительной степени влияет на качество воды в нем. Из опыта многолетних наблюдений установлено (Григорьева и др., 2000), что водный объект испытывает те же антропогенные воздействия всех точечных и рассредоточенных источников, находящихся на водосборе, что и его водоохранная зона. Исходя из этого положения оценка нагрузки с водосборной площади на водный объект определяется по воздействию на его водоохранную зону. Любое изменение ситуации на водосборе немедленно отражается на состоянии аквальных комплексов (включая и качество вод) и может сказаться на состоянии береговой зоны водных объектов. Некоторые качественные изменения в состоянии системы «водоем – водосбор» (например, смена растительной ассоциации, уплотнение почвенного покрова и его химический состав, смена видового состава и количества гидробионтов и т.д.) могут повлечь за собой изменения состава и интенсивности антропогенных нагрузок в рамках данной системы (Григорьева и др., 2000).

Водоохранные зоны (ВЗ) водохранилищ, которые должны служить буфером между водоемом и водосбором и препятствовать поступлению загрязняющих веществ в водоем, в последние годы интенсивно осваиваются. Застройка водоохранных зон сопровождается прокладкой автодорог и коммуникаций, уничтожением лесов прибрежной зоны, образованием свалок мусора и сбросом мусора и бытовых стоков непосредственно в воду. Интенсивное освоение ВЗ приводит к ряду негативных геоэкологических процессов. Это прежде всего сокращение боковой приточности, деградация и уничтожение лесных биоценозов и почвенного покрова, загрязнение поверхностных и грунтовых вод, что в свою очередь приводит к ухудшению качества воды водохранилищ прежде всего по таким показателям, как фосфаты, нитраты, нитриты, ион аммония, нефтепродукты.

Таким образом, формирование качества воды водохранилищ – весьма сложный и многофакторный процесс, зависящий как от природных условий водосборного бассейна, так и от антропогенной нагрузки на него, что и было подтверждено при исследовании химического состава воды водоемов Тверской области. Тверская область богата водными ресурсами – площадь водных объектов составляет 5645 км^2, а объем превышает 29 429 млн. м^3. На территории области расположе-

Таблица. Краткая морфометрическая характеристика исследуемых водохранилищ верхней Волги

Водохранилище (год создания)	Параметр при НПУ			
	Площадь водного зеркала, км^2	Объем полный, км^3	Средняя глубина, м	Длина, км
Шлинское (1812)	35,0	0,068	2,0	8,8
Угличское (1939)	249,0	1,24	5,0	146,0
Верхневолжское (1845)	183,0	0,79	4,4	92,0
Вышневолоцкое (1719)	109,0	0,322	4,0	17,0
Иваньковское (1937)	327,0	1,12	3,4	120,0

но более 600 крупных озер и протекает свыше 800 рек и речек общей протяженностью – 17 тысяч км. На Тверской земле берет свое начало Волга, а также Днепр и Западная Двина (Даугава). Большая часть территории принадлежит бассейну Каспийского моря и лишь западные и северо-западные районы — бассейну Балтийского моря (http://region.library.tver.ru). На многих реках имеются водохранилища: Иваньковское, Угличское, Рыбинское на Волге, Вазузское на Вазузе, Вышневолоцкое на Цне и др. Из них 9 крупных. Объектами наших исследований были Верхневолжское, Иваньковское, Вышневолоцкое, Шлинское и Угличское водохранилища и озеро Селигер. Основные морфометрические характеристики исследуемых водохранилищ представлены в таблице. Озеро Селигер имеет следующие параметры: площадь зеркала – 212 км^2, длину – 66 км, максимальную ширину – 35 км, максимальную глубину – 24 м, среднюю глубину – 5,8 м.

Наши исследования показали, что в формировании химического состава воды водоемов Тверской области, для которых характерна малая (Верхневолжское и Вышневолоцкое водохранилища, озеро Селигер) или средняя минерализация воды (Иваньковское и Угличское водохранилища) и высокое содержание окрашенного органического вещества (ОВ) гумусовой природы, определяющую роль играют физико-географические условия водосборных бассейнов. По схеме физико-географического районирования территория региона относится к ландшафтной стране Русской равнины, на развитие ландшафтов которой большое влияние оказали четвертичные оледенения. После отступления ледника широкое распространение здесь получили лесные ландшафты. Ландшафтно-структурные особенности тер-

ритории определяются многообразием и мозаичностью распространения основных природных комплексов, образующих данный ландшафт. Природные комплексы различного таксономического ранга формируются в результате сложных взаимосвязей и взаимодействий между основными компонентами природы: геологическим строением, рельефом, климатом, водами, почвами, растительностью и животным миром. Компоненты ландшафта, образуя единую систему, связаны между собой физическими, механическими, химическими и биологическими процессами.

Коренные породы в основном представлены отложениями каменноугольной, пермской и юрской системами. Наиболее близко к поверхности залегают отложения верхнего карбона, имеющие значительный уклон и перекрытые отложениями юрского периода и мощными толщами четвертичных пород. Верхнекаменноугольные породы представлены известняками и глинами. Четвертичные породы представлены ледниковыми образованиями различных ледниковых эпох. Наибольшее распространение имеют отложения днепровского ледника и флювиогляциальные отложения валдайского, которые слагают верхние горизонты.

На формирование рельефа исследуемой территории большое влияние оказала деятельность ледника и талых ледниковых вод. Рельеф региона довольно однообразный. Развиты типы рельефа ледникового, водно-ледникового, озерного и аллювиального происхождения, которые представлены в основном слабовсхолмленной, всхолмленной и холмистой равнинами.

Климат района определяется географическим положением территории в центре Русской равнины. Климат умеренно-континентальный, со сменой циклональной и антициклональной ситуации в течение года, т.е. со сложными и разнообразными циркуляционными процессами различной направленности и интенсивности. Среднегодовая величина радиационного баланса для исследуемой территории равна 33,1 ккал/см^2, среднегодовая температура воздуха составляет 3,8^0 С. В апреле температура воздуха переходит через 0^0 С, разрушается и сходит снежный покров (Григорьева и др., 2000).

Летняя погода формируется в условиях развития двух основных процессов: трансформации воздушных масс, поступающих в результате антициклональной и циклональной деятельности. Летние месяцы умеренно теплые (дневные температуры воздуха +15…25^0 С). Самый теплый месяц – июль. Осень начинается с середины или с кон-

ца августа и длится до конца ноября. В начале осени усиливается ветровая деятельность, осадки приобретают затяжной характер. Значительная облачность ослабляет солнечную радиацию и способствует понижению температуры и уменьшению испарения. При сравнительно небольшом количестве осадков происходит прогрессивное накопление влаги в почве. В начале или в конце ноября появляется постоянный снежный покров. Самые холодные месяцы – январь и февраль (среднемесячные температуры воздуха 9–17^{0}С) (Иваньковское водохранилище.., 1978). Продолжительность вегетационного периода – от 100 до 170 дней.

Основными почвообразующими породами на значительной территории водосборной площади являются моренные суглинки, реже – супеси, флювиогляциальные пески, аллювиальные отложения и торфяники. По механическому составу моренные отложения весьма разнообразны и представлены легкими, средними и тяжелыми суглинками.

Особенности рельефа, гидрологических и климатических условий, а также разнообразие почвообразующих пород и растительных ассоциаций привели к формированию на водосборе довольно пестрого почвенного покрова. В основном преобладают дерново-подзолистые (разной степени оподзоливания), подзолистые и по понижениям – дерново-глеевые и болотные типы почв. На поверхности речных террас и пойм развиты луговые и торфянистые почвы. Механический состав почв изменяется от глинистого и суглинистого до песчаного и супесчаного (Григорьева и др., 2000).

На водосборной площади верхней Волги основными лесообразующими породами являются сосна, ель, береза, осина и ольха. В составе древостоя присутствуют дуб, липа, вяз, ясень, клен. Средняя лесистость водосбора составляет 34%. Хвойные породы преобладают на 40% покрытой лесом площади, а 60% площади заняты вторичными мелколиственными березово-осиновыми лесами на месте еловых и широколиственно-еловых лесов. Встречаются также вторичные березовые и сосновые леса на месте сосновых и широколиственно-сосновых лесов (Григорьева и др., 2000). В распределении лесов прослеживается определенная закономерность. На вершинах и склонах возвышенностей распространены дубово-ясеневые и елово-дубовые леса с орешником в подлеске. В состав древостоя входят также клен, вяз, липа, ольха, береза и осина.

Бассейн верхней Волги в сильной степени заболочен, чему способствует слабая водопроницаемость подстилающих, преимуще-

ственно глинистых грунтов и избыточная увлажненность территории. Суммы годовых осадков колеблются в среднем от 550 до 700 мм.

В последние десятилетия все возрастающий вклад в изменение химического состава воды водохранилищ вносят антропогенные факторы (сброс сточных вод, плоскостной смыв с территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий и селитебных территорий, рекреация). Из всех исследуемых водохранилищ наибольший антропогенный пресс испытывают Иваньковское и Угличское водохранилища.

В береговой зоне Иваньковского водохранилища расположен 21 выпуск сточных вод, в том числе и от г. Тверь – самого крупного города региона, численность жителей которого составляет порядка 450 тыс. человек. В 2007 г. от предприятий Твери в Волгу было сброшено 152 млн. м^3 сточных вод, а в Иваньковское водохранилище в пределах Конаковского района – 94 млн. м^3 сточных вод.

В водоохраной зоне Угличского водохранилища на конец 2006 г. было расположено 12 предприятий, имеющих локальные очистные сооружения, 5 водозаборов и 6 городских очистных сооружений, 39 промышленных предприятий и 21 сельхозпредприятие, 38 баз отдыха и 12 мест зеленых стоянок, имеются и садоводческие товарищества. Крупными предприятиями, осуществляющими забор воды из Угличского водохранилища, являются 4 предприятия коммунального хозяйства. По данным, представленным этими водопользователями, для нужд экономики в 2005 г. забор воды из Угличского водохранилища составил 18,3 млн. м^3. Большое число хозяйств забирает воду из скважин. Организованные выпуски сточных вод осуществляют 23 водопользователя. Общий объем сточных вод в 2005 г. составил 20,2 млн. м^3/год.

В Вышневолоцкое водохранилище, по данным госотчетности 2-ТП (водхоз), сброс сточных и ливневых вод не осуществляется, в Верхневолжское водохранилище поступают сточные воды ЖКХ п. Пено. Наибольший процент в составе сточных вод приходится на сульфаты, хлориды, аммонийный азот, нитрат и нитрит-ион, железо общее.

Исследование химического состава водоемов Тверской области проводилось в различные фазы водного режима (весеннее половодье, летняя и зимняя межень, осенний паводок). В отобранных пробах определялись 27 показателей. Одним из важнейших показателей химического состав вод является водородный показатель (pH), который имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. В 2008 г. pH воды исследу-

емых водоемов был в пределах нормы (6,5–8,5) и изменялся в интервале от 6,83 в апреле до 8,14 в августе.

По содержанию хлоридов и сульфатов в воде можно судить о техногенном загрязнении. Наиболее высокая концентрация сульфатов наблюдалась в Вышневолоцком водохранилище (16,3–50,4 мг/дм^3), а максимальная концентрация хлоридов отмечена для Шлинского водохранилища (40,8 мг/дм^3).

Для оценки содержания органического вещества в воде определялись цветность, химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК$_5$). На цветность природных вод влияют вещества, поступающие в результате процессов химического выветривания горных пород, с подземным стоком, при вымывании из почв и торфяников (Зенин, Белоусова, 1988). Для каждого из водохранилищ характерна внутригодовая динамика значений цветности. Максимальные значения наблюдаются в весенний период, когда происходит поступление высокоцветных вод притоков. Летом снижение цветности происходит в результате распада растворенного органического вещества под воздействием ультрафиолета, микробиальных процессов и седиментации (Зенин, Белоусова, 1988). Цветность воды исследуемых водохранилищ в 2008 г. изменялась в диапазоне от 22 до 167 градусов Cr-Co шкалы цветности. Максимальное значение цветности было отмечено в Вышневолоцком водохранилище. Среднегодовые значения ХПК в 2008 г. изменялись в диапазоне от 33,6 мгO_2/дм^3 для Иваньковского водохранилища до 47,8 мгO_2/ дм^3 для Шлинского.

Определение БПК$_5$ в поверхностных водах используется с целью оценки содержания биохимически окисляемых органических веществ, условий обитания гидробионтов и в качестве интегрального показателя загрязненности воды. В поверхностных водах величины БПК$_5$ изменяются обычно в пределах 0,5–4 мг O_2/дм^3 и подвержены сезонным и суточным колебаниям (Зенин, Белоусова, 1988). Наибольшее среднегодовое значение БПК$_5$ (3,2 мг O_2/дм^3) было зафиксировано в Шлинском водохранилище, наименьшее (1,5 мг O_2/дм^3) в Верхневолжском. Максимальное значение БПК$_5$ (4,9 мг O_2/дм^3) отмечено в Шлинском водохранилище в период летней межени. Наименьшее количество легкоокисляемой органики наблюдалось в Вышневолоцком водохранилище. В большинстве исследуемых створов значения БПК$_5$ изменялись в течение года. Максимальные значения наблюдались в летнюю межень, а наименьшие – в период зимней межени и в начале половодья.

Неорганические соединения азота (аммоний, нитриты и нитраты) образуются в воде в результате биохимического разложения и окисления органических остатков как природного происхождения, так и попадающих в реки и водоемы со сточными водами. Среднегодовые значения аммонийного иона в воде исследуемых водохранилищ изменялись в диапазоне от 0,4 до 0,8 мг/дм^3. Наиболее высокие концентрации характерны для Вышневолоцкого (до 1,4 мг/дм^3) и Иваньковского водохранилищ (до 1,6 мг/дм^3). Для Вышневолоцкого водохранилища высокие концентрации аммонийного азота объясняются природными факторами, а для Иваньковского – поступлением со сточными водами. Наиболее высокие концентрации нитратов (0,3–5,8 мг/дм^3) и фосфатов (0,02–0,028 мг/дм^3) характерны для Иваньковского водохранилища, что является следствием более высокой антропогенной нагрузки по сравнению с другими водоемами.

Повышенное содержание железа наблюдается в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот – гуматами. Для региона Верхней Волги характерна высокая степень заболоченности водосборов, вследствие чего болотные воды играют значительную роль в питании водоемов и водотоков и определяют повышенные концентрации железа в водных объектах. Наиболее высокая концентрация железа общего наблюдалась в Вышневолоцком водохранилище, где ее среднегодовые значения достигали 4 ПДК.

Во всех отобранных пробах концентрация марганца превышала ПДК рыб. (0,01 мг/дм^3). Среднегодовые значения марганца в исследуемых водоемах изменялись в интервале от 10 ПДК (Верхневолжское) до 21 ПДК (Вышневолоцкое).

Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих природные воды. Большое количество нефтепродуктов поступает в воду при перевозке водным путем, со сточными водами любых промышленных предприятий, с хозяйственно-бытовыми сточными водами. В водоемах источником поступления нефтепродуктов могут служить также маломерный флот и автомобильный транспорт при неорганизованном отдыхе. Наиболее высокая концентрация нефтепродуктов в воде водохранилищ в 2008 г. была зафиксирована в летний период. Наиболее высокие среднегодовые значения определены в Шлинском и Верхневолжском водохранилищах (3-4 ПДК).

Содержание фенолов ограничивается в природных водах, используемых для водоснабжения и рыболовства. Хлорирование фенолсодержащих природных вод при водоочистке приводит к обра-

зованию хлорфенолов, которые даже при концентрациях на уровне ПДК (0,001 мг/дм^3) придают воде неприятные запах и вкус (Зенин, Белоусова, 1988). Наиболее благоприятная ситуация по содержанию летучих фенолов в воде наблюдается в Верхневолжском водохранилище, а наименее благоприятная – в Шлинском.

Во всех отобранных пробах определялось содержание цинка, никеля, свинца и меди. Концентрации, превышающие ПДК, были зафиксированы в воде Верхневолжского водохранилища в летнюю межень для меди (2 ПДК) и в осенний паводок для цинка (4 ПДК).

Исследование гидрохимического режима озера Селигер в 2008 г. проводилось в Селижаровском плесе, у деревни Верхние Котицы, в районе, откуда вытекает р. Селижаровка. Это позволило оценить влияние озера на гидрохимический режим реки. Химический анализ отобранных проб воды показал, что вода озера Селигер маломинерализована, с низким содержанием сульфатов (до 10 мг/дм^3), хлоридов (до 9 мг/дм^3) и ионов натрия (2,5 мг/дм^3) и калия (0,5 мг/дм^3). Превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов наблюдалось только по марганцу (2-4 ПДК).

Летние постворные гидрохимические съемки Иваньковского и Угличского водохранилищ в 2006–2007 гг. позволили проследить изменение гидрохимических показателей от входного створа к замыкающему в каждом из водохранилищ. Створами наблюдений в Иваньковском водохранилище были: с. Юрьевское, с. Городня, о. Низовка, д. Плоски, Заборье, Корчева, верхний бьеф Иваньковской ГЭС. Пробы отбирались в поверхностном слое воды (глубина около 0,5 м): фарватер, левый и правый берег. Определялись следующие показатели: pH, электропроводимость, азот минеральный, фосфор, цветность, перманганатная окисляемость, кислород, $БПК_5$, щелочность, жесткость, гидрокарбонаты, кальций, магний, натрий, калий, хлориды, сульфаты, железо общее, марганец.

Исследования показали, что вода является гидрокарбонатно-кальциевой, содержание остальных ионов – сульфатов, хлоридов, натрия, калия и магния – невелико. Так, сумма ионов кальция гидрокарбонатов составляет (по средним значениям) 189 мг/дм^3, в то время как сумма хлоридов, сульфатов, натрия, калия и магния – 41 мг/дм^3. В целом содержание гидрокарбонатов изменяется от 125 до 174 мг/дм^3. Диапазон изменения содержания в мг/дм^3 кальция – 34–82, сульфатов – 6-10, хлоридов – 3,5–10, натрия – 1,8-6, калия – 0,9–2,4, магния – 7,3–10 .

При этом в каждом створе концентрация всех компонентов солевого состава не изменяется от берегов к середине водохранилища. Происходит лишь снижение концентрации от входного створа к замыкающему, т. е. от с. Юрьевского до плотины Иваньковской ГЭС, что связано с увеличением объема воды в водохранилище. Подобная же тенденция наблюдается и для значений щелочности и жесткости. Значения щелочности изменялись от 2,05 до 2,85 мг-экв/ $дм^3$, а жесткости – от 2,3 до 2,9 мг-экв/ $дм^3$. Содержание минерального азота в воде Иваньковского водохранилища летом 2006 г. составило в среднем 0,449 мг/$дм^3$, а в 2007 г. – 0,512 мг/$дм^3$. При этом содержание аммонийного азота изменялось от 0,02 до 0,63 мг/$дм^3$, нитратного азота – от 0,09 до 0,35 мг/$дм^3$, нитритного азота – от 0,009 до 0,025 мг/$дм^3$. Отмечалась повышенная концентрация аммонийного азота в створах Плоски, Заборье и Корчева. Распределение нитратного и нитритного азота по водохранилищу неравномерное.

Значения $БПК_5$ варьировали в очень широких пределах – от 0,8 до 7,8 мгO_2/$дм^3$. Причем в 2006 г. наблюдалось снижение значений $БПК_5$ вниз по течению, а в 2007 г. – наоборот, некоторое увеличение значений $БПК_5$ от входного створа к замыкающему. Отмечались повышенные значения $БПК_5$ в створах Низовка, Плоски и Заборье. Были зафиксированы высокие значения перманганатной окисляемости (ПО) – от 8,8 до 16,3 мгО/$дм^3$. При этом и в 2006, и в 2007 г. наблюдалось увеличение значений ПО от входного створа к замыкающему.

Содержание растворенного кислорода в воде Иваньковского водохранилища в 2006–2007 гг. изменялось от 5,8 до 16,0 мгO_2/$дм^3$. Следует заметить, что в целом распределение кислорода по водохранилищу довольно равномерное. Повышение концентрации отмечается в створах Низовка, Плоски и Заборье, причем наблюдались самые высокие концентрации кислорода из всех, которые фиксировались вдоль правого берега. Стоит заметить, что правый берег вдоль этих створов наиболее урбанизирован и застроен, с развитой инфраструктурой домов отдыха и частных владений.

Цветность воды водохранилища в летний период 2006–2007 гг. изменялась от 45 до 80 градусов по Pt-Co шкале. При этом более равномерное распределение цветности отмечалось в 2007 г., тогда как в 2006 г. наблюдалось увеличение цветности от входного створа к замыкающему.

Значения pH изменялись от 6,6 до 9,1 ед. pH. По створам водохранилища распределение pH было весьма неравномерным, даже в

одном и том же створе наблюдался разброс значений. В 2007 г. разброс значений pH составлял всего 0,9 ед., тогда как в 2006 г. этот разброс составлял 2,5 ед. pH.

В 2006–2007 гг. отмечались повышенные концентрации железа общего и марганца. Концентрация железа общего изменялась от 0,40 до 0,90 мг/дм^3, марганца – от 0,02 до 0,24 мг/дм^3. Даже самая низкая концентрация железа общего составила 4 ПДК, а марганца – 2 ПДК. Однако, эти концентрации являются характерными для воды Иваньковского водохранилища, так как значительная часть бассейна водохранилища заболочена и, кроме того, в водохранилище происходит сток с болот по его малым притокам (р. Донховка, Сучок и Созь, в воде которых наблюдается высокая концентрация этих компонентов).

Наблюденная концентрация фосфора была весьма незначительна и изменялась от 0,01 до 0,09 мгР/ дм^3. При этом какой-либо закономерности в ее распределении не обнаруживалось.

Гидрохимическая съемка Угличского водохранилища летом 2007 г. была проведена по восьми створам: с. Прислон, г. Кимры, п. Белый Городок, д. Селище, с. Приволжское, г. Калязин, залив Струковский, д. Прилуки. Химический анализ воды проводился по тем же показателям, что и в Иваньковском водохранилище. Пробы воды отбирались по фарватеру водохранилища в поверхностном слое. В Угличском водохранилище значения pH воды изменялись от 6,7 до 8,0 ед. pH. Содержание аммонийного и нитратного азота было выше, чем в Иваньковском водохранилище. Содержание аммонийного азота изменялось от 0,15 до 0,97 мг/дм^3, нитратного – от 0,49 до 0,68 мг/дм^3. Какой-либо закономерности в распределении азота по створам не отмечалось.

Вода была более минерализована, чем в Иваньковском водохранилище. Значения щелочности изменялись от 2,5 до 3,2 мг-экв/дм^3, а жесткости – от 2,7 до 3,55 мг-экв/ дм^3. Отмечалась повышенная концентрация сульфатов – до 30,6 мг/дм^3, натрия – до 16,7 мг/дм^3, калия – до 28,8 мг/дм^3. Следует отметить, что в воде Угличского водохранилища наблюдались более высокие значения марганца – от 0,14 до 0,45 мг/мг/дм^3 и более низкие значения железа общего – от 0,4 до 0,66 мг/дм^3. Сумма гидрокарбонатов и кальция составляла 209 мг/дм^3, а остальных компонентов – 49 мг/дм^3. Цветность воды была практически такой же, как в Иваньковском, и изменялась от 60 до 90 градусов по Pt-Co шкале. Значения перманганатной окисляемости мало отличались от значений в Иваньковском водохранилище (11,6–17,2 мгО/дм^3). Для водной массы Угличского водохранилища характерны более вы-

сокие концентрации фосфора минерального (0,02-0,16 мгР/дм^3), чем для Иваньковского водохранилища.

В 2006 г., в период с апреля по июнь, была обследована река Волга от оз. Волго (Верхневолжский бейшлот) до г. Тверь и Иваньковское водохранилище по створам Городня, Карачарово, Конаково, верхний и нижний бьефы Иваньковской ГЭС, для того чтобы выяснить, как изменяется качество воды в Волге от ее истока (оз. Волго) до плотины Иваньковской ГЭС. Исследования показали, что происходит увеличение значений щелочности и жесткости воды от бейшлота к верхнему бьефу Иваньковской ГЭС более чем в 2 раза, соответственно от 1,1 до 2,8 и от 1,6 до 3,5 мг-экв/дм^3. Такая же закономерность наблюдается и для некоторых других компонентов солевого состава. Концентрации кальция увеличивались от 26 до 48 мг/дм^3, магния – от 3,6 до 9 мг/дм^3 и хлоридов от 4 до 9 мг/дм^3. Отмечалось некоторое увеличение содержания аммонийного и нитратного азота, особенно в створах ниже городов. Концентрация марганца увеличивалась вниз по течению более чем в пять раз – с 0,05 до 0,29 мг/ дм^3. Для водной массы Иваньковского водохранилища характерна более низкая концентрация железа общего по сравнению с незарегулированным участком Волги. Наблюдалось незначительное увеличение концентрации минерального фосфора – с 0,027 до 0,038 мгР/дм^3. Сверху вниз по течению отчетливо прослеживается снижение концентрации растворенного кислорода – от 12 до 7,7 мгО/дм^3; химического потребления кислорода – от 33 до 15 мгO_2/дм^3. Концентрация нефтепродуктов в воде Волги изменялась от 0,04 мг/дм^3 (ниже г. Ржев) до 0,14 мг/дм^3 (ниже г. Тверь), в Иваньковском водохранилище происходило снижение концентраций.

Таким образом, природные особенности региона верхней Волги являются основными факторами, которые определяют невысокую минерализацию, повышенную цветность воды, высокие концентрации железа общего, марганца и иона аммония в воде исследуемых водоемов.

Антропогенные факторы влияют на увеличение концентраций сульфатов, хлоридов, нитратов, фосфатов и нефтепродуктов. Основными антропогенными факторами, влияющими на качество воды водохранилищ Тверской области, являются поступление загрязняющих веществ со сбросом сточных вод и от диффузных источников загрязнения. В последние годы значительное влияние на качество воды водоемов оказывают застройка береговой зоны и неорганизованный отдых.

Наибольшие превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения наблюдаются во все годы для железа общего и марган-

ца. Наблюдается увеличение концентрации ряда загрязняющих веществ вниз по течению Волги, от бейшлота до плотины Иваньковской ГЭС. Для Угличского водохранилища характерны более высокая минерализация воды, чем для Иваньковского, и повышенная концентрация минерального фосфора. В воде водохранилищ наблюдается межсезонная и межгодовая изменчивость концентрации различных гидрохимических показателей.

Исследование гидрохимического режима ряда крупных водоемов верхней Волги показало, что в наиболее благоприятном экологическом состоянии находится озеро Селигер. Наиболее загрязненными являются отдельные участки Вышневолоцкого, Иваньковского и Угличского водохранилищ.

Для стабилизации экологического состояния исследуемых водоемов необходимо проведение ряда природоохранных мероприятий как на акватории, так и в береговой зоне, и снижение антропогенных нагрузок на аквально-береговые комплексы за счет ужесточения контроля за соблюдением режима водоохранных зон. Для каждого из исследуемых водоемов необходима разработка программ комплексного геоэкологического мониторинга и проведение мониторинговых исследований в одних и тех же створах по идентичному набору показателей, перечень которых должен быть значительно расширен.

Литература

1. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1986. 367 с.
2. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. М.: Эколайн, 2000. 108 с.
3. *Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В.* Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000. 248 с.
4. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 240 с.
5. Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с.
6. *Ланцова И.В., Яковлева В.Б.* Оценка ресурсного потенциала водоохранных зон // Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды. Томск, 1995. С. 63–64.
7. http://region.library.tver.ru

I.L. Grigorieva, A.B. Komissarov

SPECIAL FEATURES OF FORMATION AND CHARACTERISTICS OF THE CHEMICAL STRUCTURE OF WATER OBJECTS IN THE TVER REGION

A complex research of Verhnevolgskoye, Ivan'kovskoye, Uglicheskoye, Shlinskoye reservoirs and lake Seliger showed that natural peculiarities of the region are the main factors determining low mineralization, high chromaticity, high content of iron, manganese and ammonium and other characteristics of the water. Anthropogenic factors influence the increase of sulfate, chlorides, nitrates, phosphates and oil products concentration.

The greatest excess of admissible concentrations observes during all the years for iron and manganese. There is a tendency for increasing of the concentration of some pollutants down the river from Beyshlot to Ivan'kovskaya dam. The water of the Uglicheskoye reservoir is characterized by higher mineralization and high content of phosphates then it is observed in the water of the Ivan'kovskoye reservoir. There are interannual and interseasonal dynamics of various hydrochemical compounds in the water of all reservoirs.

А.Е. Шаповалов, Л.И. Эльпинер

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассматривается влияние качества потребляемой воды из подземных источников на здоровье детского населения Смоленской области. В работе использована методика медико-географических исследований, основанная на данных официальной статистики – географических, гидрологических, демографических, гидрогеологических, медико-демографических и экологических. Цель работы – выявление районов Смоленской области, в которых негативное влияние качества потребляемой воды является максимальным.

Работа рассматривается как начальный этап для дальнейшего проведения углубленных эпидемиологических исследований для выявления локальных популяций, в наибольшей степени страдающих от болезней, связанных с потреблением питьевой воды ненормативного качества.

Выявлены сложности, характерные для исследований, основанных на использовании официальной статистической информации.

Введение

Развернутые эколого-эпидемиологические исследования, составляющие в настоящее время основу оценки риска для здоровья населения, являются необходимым звеном в оценке влияния качества потребляемых питьевых вод на здоровье (Ревич, Авалиани, 2004). Однако объем, характер, продолжительность и специальная подготовка исследовательского персонала обусловливают сложность и высокую стоимость таких работ, что определяет ограниченный характер таких исследований.

Важность эколого-эпидемиологических обоснований управленческих водохозяйственных решений обусловливает необходимость разработки методов, позволяющих концентрировать работы по оценке степени риска в связи с условиями питьевого водопользования на территориях, наиболее напряженных по этому признаку. Особое значение такое ранжирование территорий приобретает также в связи с открывшейся возможностью применения в России регионального нормирования качества питьевой воды. Поэтому проведение медико-географических исследований, позволяющих выявить наиболее важные с точки зрения влияния качества вод на здоровье, очень важно для дальнейшего претворения в жизнь широкомас-

штабных эколого-эпидемиологических исследований по оценке риска для здоровья, которые следует проводить на небольших территориях после исследований, включающих медико-географическую оценку и анализ, при которых выявляются территории, население которых предположительно несет наибольший риск для здоровья, связанный с влиянием водного фактора.

Исследования, представленные в данной статье, проводились в Смоленской области. Основными методами исследований были статистические методы географического анализа с широким использованием географических информационных систем (Arthur et al., 1995; Westlake, 1995). 80% населения использует подземные воды для питьевых целей. Вода Днепра, который является самой большой водной артерией области, не обладает высоким качеством. Несмотря на то, что подземные воды в основном обладают лучшим качеством, чем поверхностные, во многих случаях они также бывают загрязнены как вследствие природных, так и антропогенных факторов воздействия (Schmoll et al., 2006).

Антропогенное загрязнение не свойственно подземным водам Смоленской области, используемым для питьевых целей из-за большой глубины их залегания (Геологический.., 1999). Единственный способ проникновения такого рода загрязнения в подземные воды – через скважины. Соответственно превышения показателей качества воды в основном обусловлены природными причинами. Также одной из особенностей Смоленской области является концентрация промышленности в нескольких районах, большинство же районов области – преимущественно сельскохозяйственные. К тому же многие предприятия не работают на полную мощь.

Таким образом, количество факторов, определяющих качество воды в области, ограничено, что делает Смоленскую область территорией очень благоприятной для проведения медико-географических исследований и увеличивает вероятность получения четких взаимосвязей между качеством воды и здоровьем детского населения области.

Проведенные исследования можно разделить на три основные этапа: анализ детской заболеваемости в административных районах Смоленской области, анализ качества потребляемой населением Смоленской области питьевой воды из подземных водоисточников и собственно этап анализа влияния качества питьевой воды на здоровье детского населения области.

Анализ детской заболеваемости

Исходные данные были взяты из форм медицинской отчетности №12 и 57. Данные были предоставлены Управлением медицинской статистики администрации Смоленской области. Было произведено ранжирование нозоформ и классов детской заболеваемости по административным районам Смоленской области. Проанализированы годовые данные за период с 1994 по 2000 г. включительно. Одну из самых больших проблем при проведении анализа заболеваемости составляли неточности данных медицинской статистики, что в некоторых случаях приводило к недостоверным результатам. Несколько неточных и сильно отличающихся от остального ряда цифр значительно изменяли статистические результаты. Например, разница показателей по нозоформе для одного из районов могла достигать десяти раз. Примером может служить уровень заболеваемости болезнями среднего уха в Глинковском районе. В 1999 г. данная патология составила 45% от общей заболеваемости детского населения.

В случае подобных явных или не очень явных несоответствий авторами исследования проводилась экспертная оценка данных. В некоторых, наиболее сложных ситуациях, привлекались специалисты-медики из управления Роспотребнадзора по Смоленской области. Каждый из спорных случаев имел свое объяснение. Но самым распространенным являлась разная трактовка болезни в различных медицинских пунктах (поликлиниках, больницах, фельдшерских пунктах).

Исходя из вышесказанного средний уровень заболеваемости за семь лет (1994–2000 гг.) не всегда являлся итоговым показателем для последующего анализа. На его выбор влияли несколько предложенных авторами критериев: средний уровень заболеваемости, ее динамика, отклонение уровня по годам, а также уже упоминавшаяся экспертная оценка, основанная на мнениях специалистов. В табл. 1 представлены полученные результаты.

Анализ качества питьевой воды подземного происхождения

Данный этап работы включал в себя анализ гидрогеологических данных качества подземных вод питьевого назначения по скважинам, расположенным на территории Смоленской области. Данные основывались на анализах, которые были выполнены учреждениями Роспотребнадзора, государственным предприятием «Экология», а также ведущими лабораториями области. Временной период получения данных ана-

Таблица 1. Повышенный уровень детской заболеваемости (0–14 лет) по районам Смоленской области за 1994–2000 гг.

Районы	Классы заболеваний	Нозоформы
Велижский	1. Болезни мочеполовой системы	–
Вяземский	–	–
Гагаринский	1. Болезни крови 2. Болезни органов дыхания	1. Анемии 2. Переломы верхних конечностей
Глинковский	1. Психические расстройства	1. Желчекаменная болезнь, холецистит
Демидовский	1. Врожденные аномалии 2. Болезни эндокринной системы 3. Инфекционные заболевания 4. Болезни нервной системы	–
Дорогобужский	1. Болезни кожи и подкожной клетчатки 2. Болезни системы кровообращения 3. Отд. состояния, возникающие в перинатальный период	1. Атопический дерматит 2. Функциональные расстройства желудка 3. Желчекаменная болезнь, холецистит 4. Болезни желчного пузыря и желчевыв. путей 5. Переломы нижних конечностей
Духовщинский	1. Заболевания пищеварительной системы	1. Болезни желчного пузыря и желчевыв. путей
Ельнинский	–	1. Инфекции почек 2. Болезни желчного пузыря и желчевыв. путей
Ершичский	1. Болезни кожи и подкожной клетчатки 2. Болезни костно-мышечной системы 3. Инфекционные заболевания 4. Болезни нервной системы 5. Травмы и отравления	1. Атопический дерматит 2. Нефрит, нефроз, нефротич. синдром 3. Желчекаменная болезнь, холецистит
Кардымовский	1. Инфекционные заболевания	1. Атопический дерматит 2. Функциональные расстройства желудка
Краснинский	1. Болезни крови 2. Врожденные аномалии 3. Болезни эндокринной системы. 4. Болезни системы кровообращения	1. Атопический дерматит 2. Анемии 3. Желчекаменная болезнь, холецистит 4. Болезни желчного пузыря и желчевыв. путей

Продолжение Таблицы 1

Районы	**Классы заболеваний**	**Нозоформы**
Монастырщинский	–	1. Нефрит, нефроз, нефротич. синдром 2. Функциональные расстройства желудка
Новодугинский	–	1. Нефрит, нефроз, нефротич. синдром
Починковский	1. Болезни кожи и подкожной клетчатки. 2. Болезни мочеполовой системы. 3. Новообразования 4. Психические расстройства	1. Атопический дерматит
Рославльский	-	1. Атопический дерматит
Руднянский	1. Болезни кожи и подкожной клетчатки 2. Болезни мочеполовой системы. 3. Заболевания пищеварительной системы 4. Болезни эндокринной системы. 5. Психические расстройства. 6. Болезни системы кровообращения	1. Нефрит, нефроз, нефротич. синдром 2. Инфекции почек 3. Гастрит и дуоденит 4. Болезни желчного пузыря и желчевыв. путей
Сафоновский	1. Новообразования 2. Болезни органов дыхания 3. Болезни эндокринной системы. 4. Болезни нервной системы. 5. Отд. состояния, возникающие в перинатальный период 6. Травмы и отравления	1. Гастрит и дуоденит 2. Переломы верхних конечностей 3. Переломы нижних конечностей
Смоленский	1. Заболевания пищеварительной системы 2. Болезни органов дыхания	–
Сычевский	1. Новообразования 2. Инфекционные заболевания. 3. Отд. состояния, возникающие в перинатальный период	1. Гастрит и дуоденит 2. Желчекаменная болезнь, холецистит
Темкинский	1. Травмы и отравления	–
Угранский	1. Врожденные аномалии 2. Новообразования 3. Отд. состояния, возникающие в перинатальный период	1. Нефрит, нефроз, нефротич. синдром

Продолжение Таблицы 1

Районы	**Классы заболеваний**	**Нозоформы**
Хиславичский	–	–
Холм-Жирковский	–	1. Функциональные расстройства желудка
Шумячский	1. Болезни крови 2. Болезни костно-мышечной системы 3. Болезни мочеполовой системы 4. Болезни эндокринной системы 5. Психические расстройства 6. Болезни нервной системы 7. Болезни системы кровообращения	1. Анемии 2. Функциональные расстройства желудка
Ярцевский	1. Врожденные аномалии 2. Болезни костно-мышечной системы 3. Отд. состояния, возникающие в перинатальный период	1. Переломы верхних конечностей

лизов составлял 11 лет: с 1990 по 2000 г. Всего были проанализированы данные 3500 анализов проб воды, которые были взяты из 867 скважин 482 водозаборов. Проведенная медико-географическая оценка позволила выделить загрязняющие вещества и элементы.

Ненормативные концентрации (в соответствии с Guidelines… (1993)) наблюдались по следующим элементам: *Fe, F, Mn, Zn, Sr* стабильный, *Mo, Mo, Be, Se, Pb* и соединениям: нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды. Также наблюдались превышения по жесткости. Стоит отметить, что превышения содержания железа и фтора были также отмечены в скважинах по всей территории области. Поэтому при проведении анализа качества воды по скважинам при анализе жесткости и железа рабочей задачей было не ранжирование административных районов области с отклонениями конкретного показателя, а ранжирование всех административных районов. В случае со фтором ситуация была несколько отличной. Были выделены и проранжированы районы, где концентрация данного элемента превышала ПДК (больше 1,5 мг/л).

Необходимость приведения гидрогеологической информации к стандарту, предусматривающему одну цифру для одного административного района области, была вызвана следующим этапом исследова-

ний, в котором гидрогеологические и медико-статистические данные связывались, а медицинская информация присутствовала только по административным районам области.

Анализ влияния водного фактора на здоровье детскогонаселения

Анализ влияния водного фактора на здоровье проводился на основании известных фактов о влиянии концентраций различных элементов и соединений в воде на здоровье человека. Выделялись те заболевания, которые, исходя из имеющихся знаний, могут быть связаны с влиянием потребления питьевой воды с ненормативным содержанием различных элементов и веществ (Foster, 1994; Шаповалов, 2000; Elpiner, 2000). Результаты анализа представлены в табл. 2.

Вызывают обеспокоенность, требуют дальнейшего анализа, проверки и, возможно, детальных эколого-эпидемиологических исследований следующие факты: превышение по величине жесткости и повышенный уровень заболеваний мочеполовой системы в Велижском, Починковском, Шумячском районах; повышенное содержание марганца и высокий уровень болезней крови в Гагаринском, Краснинском районах; повышенный уровень заболеваний нервной системы в Демидовском и Сафоновском районах; наличие превышений по содержанию стронция и повышенный уровень травматизма в Дорогобужском, Сафоновском, Ярцевском районах; большой процент скважин с повышенным содержанием железа и высоким уровнем атопического дерматита в Кардымовском, Краснинском, Рославльском районах.

В связи с неполным характером стоматологической статистики анализу связей концентраций фтора с уровнем поражения зубов (индекс КПУ) будут посвящены дальнейшие исследования авторов.

Таким образом, в начале анализа влияния качества воды на здоровье были предложены возможные варианты негативного влияния водного фактора на здоровье детского населения Смоленской области.

Дать оценку статистической достоверности возможных связей между заболеваниями, предположительно связанными с водным фактором, и превышениями нормативных показателей в питьевой подземной воде позволило использование рангового коэффициента Спирмэна (Manly, 2008).

Медицинским параметром для расчета статистической значимости связей был выбран средний ранг заболеваемости за 1994–2000 гг.

Таблица 2. Повышенная заболеваемость детского населения Смоленской области и превышения показателей питьевой воды, предположительно связанные между собой

Районы	Заболевания	Множественные отклонения
Велижский	Болезни мочеполовой системы	жесткость
Гагаринский	Анемии	Mn
Демидовский	Болезни нервной системы	Mn
Дорогобужский	Переломы нижних конечностей	Sr
Кардымовский	Атопический дерматит	Fe
Краснинский	Болезни крови Болезни системы кровообращения Атопический дерматит Анемии	Mn, Fe
Починковский	Болезни мочеполовой системы	жесткость
Рославльский	Атопический дерматит	Fe
Сафоновский	Болезни нервной системы Травмы и отравления Переломы	Sr, Mn
Шумячский	Болезни мочеполовой системы	жесткость
Ярцевский	Болезни костно-мышечной системы Переломы верхних конечностей	Sr

(при осреднении в расчет не брались данные, представлявшиеся авторами не соответствующими действительности). Наиболее объективными параметрами были выбраны: количество скважин с повышенной концентрацией элемента; количество проб с повышенной концентрацией элемента; средняя повышенная концентрация элемента; максимальная повышенная концентрация элемента.

Проведение анализа Спирмэна дало следующие значимые результаты:

– железо и болезни кожи. Коэффициент Спирмэна: 0,27. Связь слабая положительная, статистически незначимая;

– стронций и травмы (всего). Коэффициент Спирмэна: 0,48. Связь положительная, статистически незначимая;

– стронций и переломы верхних конечностей. Коэффициент Спирмэна: 0,54. Связь сильная положительная, статистически значимая;

– стронций и переломы нижних конечностей. Коэффициент Спирмэна: 0,59. Связь сильная положительная, статистически значимая;

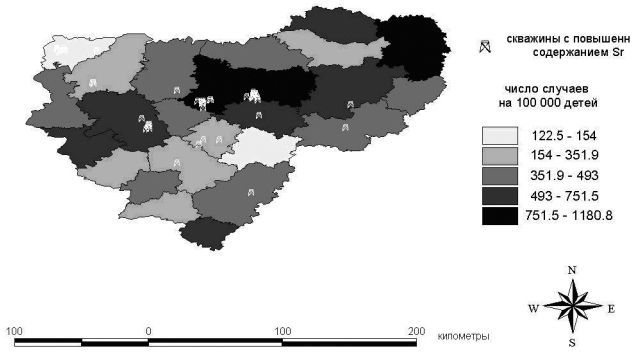


Рис. Переломы верхних конечностей у детей до 14 лет
и скважины с повышенным содержанием стронция стабильного

– жесткость и болезни мочеполовой системы. Коэффициент Спирмэна: 0,4. Связь сильная положительная, статистически значимая.

На рисунке представлена карта, иллюстрирующая один из результатов.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования были выявлены территории Смоленской области, население которых наиболее вероятным образом страдает от болезней, связанных с водным фактором.

Авторами была предложена гипотеза, подтверждающаяся статистическими расчетами, о влиянии повышенного содержания стронция стабильного в питьевой воде на подверженность населения травмам и влиянии питьевой воды с повышенной жесткостью на болезни мочеполовой системы.

Литература

1. Геологический мониторинг геологической среды: Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Смоленской области за 1998 г. // МПР РФ, Смоленск, 1999. 53 с.
2. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология. М.: «Академия», 2004. 379 с.
3. *Шаповалов А.Е.* Международный опыт изучения влияния качества подземных вод на здоровье населения // Материалы Московского центра Русского географического общества. ИВП РАН. 2000. №9. С. 44–52.

4. *Arthur U.C.J. van Beurden, and Marion J.C. de Lepper.* The Integration of Information in Geographical Information Systems // The Added Value of Geographic Information Systems in Public and Environmental Health. Kluwer Academic Publishers, 1995. Pp. 71–86.
5. *Elpiner L.I.* Groundwater use and public health // Groundwater and the environment. Applications for the global community. Lewis Publishers, 2000. Pp. 125–145.
6. *Foster H.D.* Groundwater and Human Health // Groundwater Resources of British Columbia. Ministry of Environment, Lands, and Parks and Environment. Canada, 1994. Pp. 6.1–6.3 (reprint).
7. Guidelines for drinking-water quality. Second ed. V.1; Geneva, WHO, 1993.
8. *Manly B. F. J.* Statistics for Environmental Science and Management // CRC Press, 2008. 296 p.
9. *Schmoll O., Howard J., Chilton J., Chorus I.* Protecting groundwater for health. Managing the quality of drinking water // WHO Drinking water quality series. IWA Publishing, UK. 2006. 387 p.
10. *Westlake A.* Strategies for the Use of Geography in Epidemiological Analysis // The Added Value of Geographic Information Systems in Public and Environmental Health. Kluwer Academic Publishers, 1995. Pp. 135–144.

A.E. Shapovalov, L.I. Elpiner

GROUNDWATER QUALITY INFLUENCE ON CHILDREN'S HEALTH IN SMOLENSK OBLAST

This article presents investigations on groundwater quality influence on children's health in Smolensk oblast. The methods of medical geographical investigations are in the basis of this work. Geographical, hydrological, demographic, hydrogeological, ecological official statistics data were used. The goal of the study is to reveal regions in Smolensk oblast where negative water quality influence on human health is the highest.

The work is considered as an initial stage for further deep epidemiological investigations aimed at local population with high water-related diseases sickness rate.

The work shows major restrictions which are typical for the investigations with official stats data use.

Н.Л. Фролова

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ[1]

Рассмотрены подходы к определению гидрологических ограничений природопользования. Выделены различные гидроэкологические функции водных объектов, характеризующие условия использования природных ресурсов рек и их водосборов, риски природопользования. Рассмотрена шкала изменений гидрологических функций в ряду состояний «норма» – «риск» – «кризис» – «бедствие» – «катастрофа». Выявлено существование критериев перехода от одних к другим формам ограничения природопользования в зависимости от изменения гидрологического состояния и режима водных объектов. Показаны особенности влияния природных и антропогенных факторов на изменение гидрологических ограничений.

Введение

Задачи охраны окружающей среды и рационального природопользования являются одними из наиболее острых и социально значимых проблем современности. Особую роль в социальной и производственной жизни современного общества играют водные объекты и гидрологические процессы вследствие исключительной зависимости населения, хозяйства, разнообразных биоценозов от наличия или отсутствия необходимых водных ресурсов надлежащего качества, опасных гидрологических явлений. С одной стороны, масштабы природо- и водопользования, его отрицательного воздействия на природную среду в последние десятилетия достигли таких пределов, когда возможности использования водных ресурсов и требования сохранения водной среды стали для большинства регионов лимитирующим фактором дальнейшего социально-экономического развития, одним из основных условий развития и размещения производительных сил. Водные ресурсы приобрели характер одного из стратегических ресурсов социально-экономического развития России. С другой стороны, в последние десятилетия происходит нарастание экстремальности изменений характерных расходов и уровней воды, русловых процессов, ледовых явлений, нередки локаль-

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 09-05-00041; 09-05-00339; 09-05-92001-ННС), программы поддержки ведущих научных школ (НШ-4964.2008.5), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

ные и бассейновые проблемы изменения качества воды. В силу целого ряда природных и антропогенных факторов происходит рост ущерба от опасных гидрологических явлений. Ситуация осложняется проблемами, накопившимися в области мониторинга и прогнозирования состояния водных объектов, несовершенством водного законодательства и экономических механизмов природо- и водопользования. В этой связи комплексный анализ водохозяйственных проблем, возникающих при изменении состояния водных объектов под влиянием природных и антропогенных факторов, является частью политики экономически эффективного и экологически безопасного использования водных ресурсов.

Гидроэкологические функции водных объектов

Многообразие аспектов влияния водных объектов и гидрологических процессов на условия жизни населения, возможность и эффективность разнообразных видов производства, на условия существования водных и наземных экосистем при естественном или измененном гидрологическом режиме рек, озер и водохранилищ, подземных вод проявляется через разнообразные ***гидроэкологические функции*** водных объектов – экологическую, геосферную, ландшафтную, водохозяйственную, рекреационно-эстетическую, социально-экономическую (табл.).

Гидроэкологические функции водных объектов характеризуют многообразие аспектов использования и влияния водных объектов, гидрологических процессов, водохозяйственной деятельности на условия жизни населения, возможность и эффективность разнообразного использования ресурсов рек и речных долин, на условия существования водных и прибрежных экосистем. Эти функции способствуют или препятствуют экономически эффективному и экологически безопасному использованию земельных, лесных, сырьевых, водных, энергетических, транспортных, биологических, рекреационных и иных ресурсов речных долин и водосборов.

Изменение гидроэкологических функций происходит под влиянием как природных, так и антропогенных факторов (рис. 1). Природное изменение составляющих речного стока приводит к опасным гидрологическим явлениям, к которым относятся затопление освоенных территорий, маловодья, деформации русел рек, негативное изменение ледовых явлений и даже качества воды, поскольку формирование ее потребительских качеств сильно зависит от способности

Таблица. Гидроэкологические функции водных объектов

Функции	Характеристика функций
Экологическая	Обеспечение условий жизни населения, воспроизводства живых организмов, утилизация отходов хозяйственной деятельности
Геосферная	Участие в круговороте воды, наносов, химических веществ, обеспечение потоков веществ различной природы и энергии в системе «гидросфера–атмосфера–педосфера–литосфера–биосфера»
Ландшафтная	Участие в процессах выветривания, в изменении направленности и интенсивности эрозионных и русловых процессов, в формировании зональных ландшафтов и трансформации веществ разной природы и энергии в гидрографической сети территорий
Водохозяйственная	Предоставление водных, энергетических, биологических, сырьевых и других ресурсов водных объектов и их бассейнов для социально-экономического развития
Рекреационно-эстетическая	Создание условий для отдыха, эстетического развития отдельной личности и общества в целом
Социально-экономическая	Возникновение риска социального, экономического и экологического ущерба при развитии опасных гидрологических процессов

природных вод к самоочищению и разбавлению различных видов загрязняющих веществ. В зависимости от конкретных природных условий изменяются повторяемость, интенсивность и площадь негативного влияния опасных гидрологических явлений на население и хозяйство. Эти явления могут оказаться следствием хозяйственной деятельности на водосборах рек и в их руслах, поскольку природопользование способно существенно влиять на водоносность рек, внутригодовое распределение стока, мутность воды, ее химический состав, температуру и энергию водных потоков. В этих условиях изменение гидроэкологических функций зависит не только от природных факторов, но и от уровня освоенности территории, экономического развития страны и экономического положения ее отдельных регионов, используемых технологий природопользования, его масштабов и интенсивности, степени вовлеченности водных объектов в производственные операции, токсичности и объема сточных вод и т.п.

Нередко имеет место одновременное воздействие природных и антропогенных факторов на безопасность природопользования. Со-

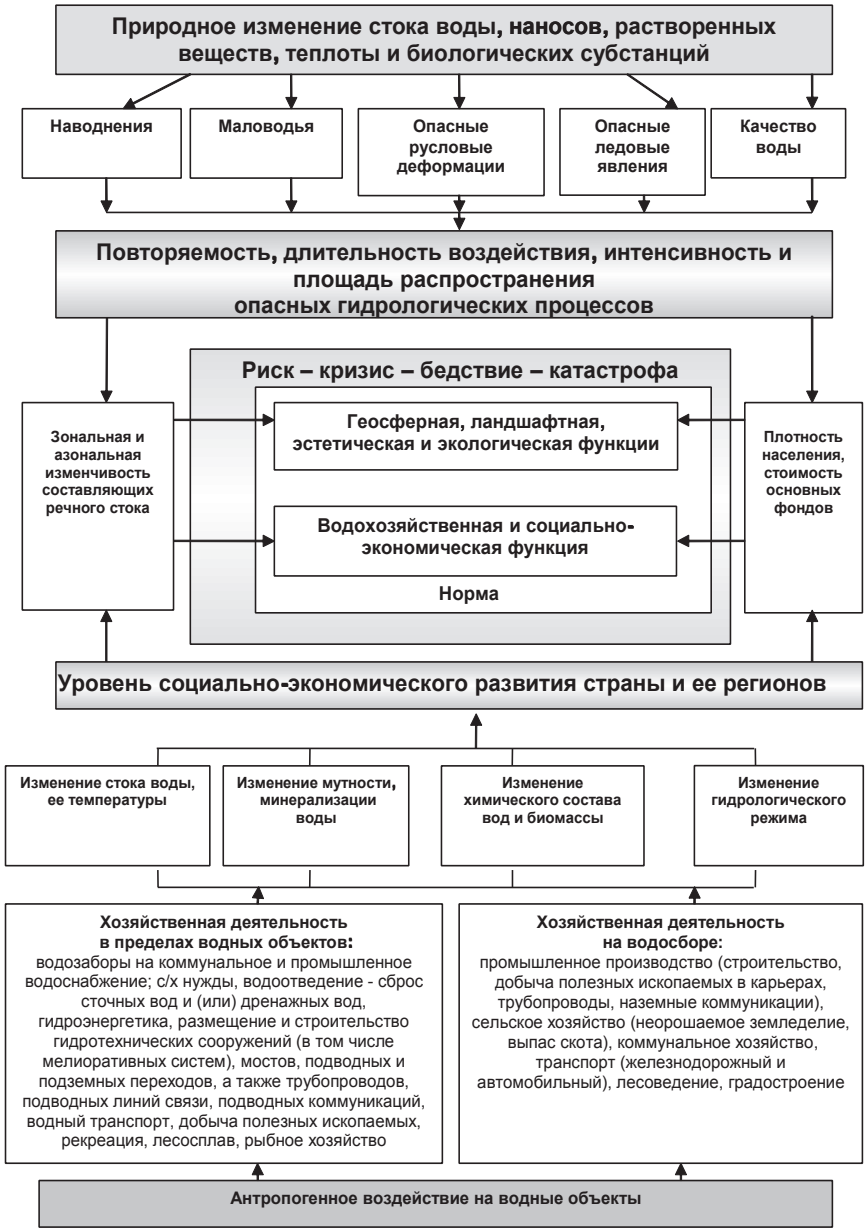


Рис. 1. Соотношение природных и антропогенных факторов
(с учетом их перечня (Антропогенные .., 2003))
в изменении гидроэкологических функций водных объектов

четание длительного маловодья и аварийного сброса сточных вод, например, приводит к экстремально высоким концентрациям загрязняющих веществ.

Для оценки особенностей гидроэкологических функций и их изменений целесообразно рассматривать совокупность параметров, характеризующих состояние водных объектов, определяемых как природными процессами (например, характеристики стока воды, наносов, растворенных веществ и биологических субстанций, их внутригодовое распределение в годы различной обеспеченности, сроки весеннего половодья и паводков; площадь и продолжительность затопления поймы и дельты, тепловой и ледовый режим, русловых процессов и др.), так и хозяйственной деятельностью человека (объемы водозаборов; поступление возвратных и сточных вод и параметры их очистки; физические, химические и биологические характеристики этих вод; параметры регулирования речного стока и т.д.). Все они связаны между собой, и их изменение может быть описано рядом уравнений и зависимостей, в основе которых лежат законы сохранения вещества и энергии, движения поверхностных и подземных вод и др. Воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных объектов может быть оценено как минимальное, когда оно не вызывает социальных, производственных и экологических ущербов A_{min}, и максимальное (критическое) $A_{кр}$, последствиями которого могут быть катастрофические события, связанные с гибелью людей, исключительно большими материальными, экономическими потерями, деградацией и даже исчезновением водных объектов и водных экосистем.

В первом случае оно определяется как «нормальное», соответствующее фоновому состоянию водных объектов и фоновому характеру гидрологических процессов, укладывающемуся в некоторые диапазоны изменчивости (заранее неизвестные) или «норму» гидроэкологических функций по отношению к запросам населения, воздействию водных объектов на социальные и производственные объекты. При этом состояние отношений между населением, хозяйством, экосистемами и водными объектами обеспечивает экономически эффективное и экологически безопасное природо- и водопользование. Оно соответствует критериям обеспечения гидроэкологической безопасности водного объекта (реки или ее участка, озера, водохранилища, горизонта подземных вод или артезианского бассейна), его водосбора или другой территории (район, область, республика, регион, страна) (Алексеевский и др., 2000; Данилов-Данильян и др., 2007).

Поддержание гидроэкологической безопасности на уровне нормы обеспечивает достаточные водные ресурсы, надежное водоснабжение, приемлемое качество воды, низкий природный уровень развития опасных гидрологических явлений, стабильность числа водных объектов; природные условия существования водных и наземных экосистем. Изменение фоновых условий под влиянием природных факторов и техногенных нагрузок последовательно увеличивает риск экологического и экономического ущерба. При этом позитивные и активно используемые населением, хозяйством функции водных объектов при определенных условиях и в некотором диапазоне значений гидрологических характеристик могут быть причиной нарушения гидроэкологической безопасности (Алексеевский, Фролова, 2000).

Данные нарушения или степень деградации (риск – кризис – бедствие – катастрофа) могут иметь различные последствия для здоровья и жизнедеятельности населения, хозяйства, условий существования биоценозов (Глазовский и др., 1991; Коронкевич и др., 1995; 2005). Подобная (с несколько иной степенью детальности) оценочная структура эколого-геологической безопасности рассмотрена в работе В.Т. Трофимова и др. (2000). Причиной рассматриваемых нарушений могут быть как природные факторы, например, изменение стока воды, наносов, растворенных веществ в многолетнем и сезонном разрезе, наводнения или длительные маловодья, так и антропогенные нагрузки, приводящие к возникновению опасных явлений или нарушению условий функционирования природных экосистем, состояния водных объектов, условий нормальной жизнедеятельности населения.

Мера нарушения фонового (естественного) уровня гидроэкологической безопасности зависит от региона страны, природных условий, истории его освоения. Основная сложность состоит в определении пороговых или граничных значений, соответствующих возможному переходу от нормального состояния к условиям кризиса, бедствия или катастрофы. В настоящее время сделаны попытки «нащупать» эти критические значения параметров эмпирическим путем, используя данные об устойчивости, уязвимости водных экосистем (Михайлов, Эдельштейн, 1996; Примак, Дмитриев, 2008 и др.).

Для оценки гидроэкологических условий (отдельных функций) водных объектов и степени их нарушений используют прямые и индикаторные критерии. Прямые критерии оценки регламентируются нормативно-директивными документами и выражаются по отношению к ПДК, ПДВ и т.д. Наиболее разработаны данные крите-

рии в отношении показателей качества воды, нормированных в отношении физического (мутность, температура), химического (содержание химических веществ и элементов) и бактериального загрязнения (Абакумов, 1991; Жукинский, 2003; Критерии.., 1992; Методические.., 1981; Методические.., 1988; Никаноров, 1989 и др.). Экологическому бедствию, например, соответствует показатель химического загрязнения ПХЗ-10 >10 (Критерии.., 1992). Для фоновых условий – ПХЗ-10 <1. Экологический кризис, по-видимому, можно характеризовать условием 1< ПХЗ-10 <10. По мнению Коронкевича и др. (2005), по большинству ингредиентов границей так называемой экстремальности служит 50-кратное превышение ПДК. В то же время по $БПК_5$ соответствующая цифра – 20, по ряду особо токсичных веществ – до 5 (в нашем понимании и по аналогии с работой В.Т. Трофимова и др. (2000) данная ситуация соответствует бедствию и катастрофе).

В меньшей степени разработаны гидроэкологические оценки природного и техногенного изменения объема водных ресурсов, хотя и здесь имеются некоторые рекомендации (Глазовский и др., 1991; Коренева, Христофоров, 1993; Нежиховский, 1990; Фащевский, 1989, 1996 и др.). В рамках теории экологического русловедения разработаны критерии оценок направленности и интенсивности русловых процессов (Беркович и др., 2000).

В качестве индикаторных выступают, например, коэффициенты использования водных ресурсов $k_{ивр}$ или удельной водообеспеченности (Водные ресурсы.., 2008), биотические критерии (Коронкевич и др., 1995; Булгаков и др., 2009). Критерий $k_{ивр}$ представляет собой отношение величин полного водопотребления и реальных водных ресурсов. При этом возобновляемые водные ресурсы – сумма местных водных ресурсов, формирующихся в пределах рассматриваемого региона, и притока речных вод с соседних территорий. Если $k_{ивр} < 10\%$, то нехватка воды (водный стресс) отсутствует или ситуация соответствует норме. При изменении этого коэффициента в пределах от $10 \le k_{ивр} < 20\%$ существует слабая нехватка воды, уровень водообеспечения становится фактором, ограничивающим развитие региона. Если $k_{ивр} = 20–40\%$, то дефицит воды носит умеренный характер, а для устойчивого развития территории необходимо регулировать в ее пределах предложение и спрос на воду. В противоположном случае ($k_{ивр} \ge 40\%$) для территории характерен высокий уровень водного стресса. Градации очень высокого и критического уровня стресса соответствуют условию $k_{ивр} = 40–60\%$. В этом случае имеет

место серьезный дефицит воды и острая необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечения дополнительных источников водообеспечения. Дефицит водных ресурсов становится фактором, сдерживающим экономический рост и повышение уровня благосостояния населения. При $k_{ивр} > 60\%$ (критически высокая нагрузка) дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и безопасности жизнедеятельности.

Для критериев выделения классов гидроэкологического состояния (функций) водных объектов используют показатели, которые разделяют на тематические, пространственные и динамические (например, продолжительность, скорость и площади затопления и загрязнения территории, число пострадавших, величина ущерба на единицу площади и т.д.). Они могут быть использованы при картографировании гидроэкологических условий и свойств водных объектов. Единого интегрального показателя состояния водных объектов не существует, однако число наиболее представительных показателей можно свести к разумному минимуму.

Для обеспечения рассмотренных выше функций водных объектов общество принимает на себя обязательства по ограничению природо- и водопользования для сохранения количества и определенного качества природных вод и обеспечения безопасности своей жизнедеятельности. Запасы воды на Земле колоссальны, но возможность их использования ограничена в первую очередь природными (в т.ч. экологическими) факторами. Рост водопотребления и потери воды в результате загрязнения создают дополнительные ограничения на использование водных ресурсов в будущем. В этой связи целесообразно рассмотреть состав и содержание современных и ожидаемых гидрологических ограничений природопользования, которые смогут обеспечить соответствующий уровень гидроэкологической безопасности водных объектов или какой-либо территории.

Требования обеспечения гидроэкологической безопасности могут быть выражены в виде целого ряда условий, выражающих ограничения на допустимые изменения параметров состояния водного объекта или территории в течение расчетного периода. Тип и величина ограничений зависят от вида хозяйственной деятельности. К ним могут относиться: ограничения снизу на расходы воды в реках (минимальный допустимый сток) и уровни воды в озерах и водохранилищах, гарантирующие сохранение водных экосистем и удовлетворение интересов водопользователей; ограничения сверху на расходы и уровни воды, обеспечива-

ющие безопасность населения и гидротехнических сооружений; ограничения на концентрацию загрязняющих веществ (ПДК); ограничения на температуру, мутность, минерализацию, pH, цвет и запах сточных и природных вод; ограничения на колебания уровня грунтовых вод и изменения пьезометрического напора артезианских вод; ограничения на степень развития различных опасных гидрологических явлений. Все эти ограничения имеют не только количественный смысл, но и вероятностную основу. Например, сбрасываемый в нижний бьеф водохранилища расход воды в течение каждого года периода его эксплуатации должен: с вероятностью $P_1 = 90\%$ быть не меньше расхода минимального допустимого стока; с вероятностью $P_2 = 99{,}9\%$ быть не больше максимально допустимого расхода воды с точки зрения безопасности населения и хозяйственных объектов в нижнем бьефе (Крицкий и Менкель, 1981, 1982). Для каждого вида природо- и водопользования существует свой диапазон величин и повторяемостей (обеспеченностей) гидрологических характеристик, при которых наблюдаются благоприятные условия хозяйствования. Определение этого диапазона основано на учете возможных затрат на поддержание безопасности и экономической выгоды от использования ресурсов водного объекта.

Таким образом, под ***гидрологическими ограничениями*** понимаются предельные величина и вероятность гидрологических характеристик водных объектов, переход через которые сопровождается значительным увеличением риска социального, экономического и экологического ущерба. Такие переходы означают возникновение дефицита водных ресурсов, критическое понижение уровней воды, уменьшение глубины водных потоков, опасное увеличение расходов и повышение уровней воды, снижение качества речных вод по сравнению с лимитирующим пределом, изменение направленности и интенсивности русловых процессов, смещение дат ледовых явлений на более поздние или ранние сроки и т.п. Часть гидрологических ограничений определяется природными условиями, изменение которых можно с той или иной степенью достоверности предвидеть, чтобы избежать возможных негативных последствий. Другая часть ограничений возникает в процессе хозяйственной деятельности и задается самими водопользователями.

Возникающие гидрологические ограничения природопользования соответствуют разным пороговым значениям гидрологических характеристик, связаны с возможными нарушениями работы водохозяйственных систем, изменениями состояния экосистем, условий жизни и здоровья населения. Проблемы их задания обусловлены сложностью экс-

плуатации этих систем, множественностью подходов к планированию и реализации природоохранных мероприятий в бассейнах водных объектов, противоречиями интересов различных природопользователей. Для назначения этих характеристик необходимо создание соответствующей нормативной базы, регламентирующей использование и охрану природных (в т.ч. водных) ресурсов. Необходимый минимум обоснованных нормативов и стандартов, позволяющих решать задачи использования и охраны водных ресурсов на четкой количественной основе, существует лишь применительно к пресным природным водам.

Виды и особенности гидрологических ограничений

Гидрологические ограничения природо- и водопользования включают ограничения, связанные с возможностью предоставления населению, различным отраслям хозяйства водных, энергетических, биологических, сырьевых и других ресурсов водных объектов и их бассейнов. Они связаны с невозможностью беспредельного изъятия тех или иных ресурсов водных объектов. Объем (расход) потребления водных ресурсов не должен превышать гарантированной (статистически обоснованной) величины их естественного или искусственного восполнения.

Нормативы допустимого изъятия ресурсов водных объектов и их бассейнов устанавливаются в соответствии с ограничениями объема их изъятия в целях сохранения собственно водных объектов, задачами обеспечения устойчивого функционирования водных объектов, экосистем и водохозяйственных систем, предотвращения их деградации. Величина ограничений и возможность использования природных ресурсов определяется действующими правовыми нормами (СНиПы, ГОСТы и др.), разработанными с учетом особенностей гидрологического режима водных объектов, состава и вероятности опасных гидрологических явлений.

Одним из основных лимитирующих факторов природопользования является наличие на определенной территории требуемого объема водных ресурсов надлежащего качества. Средняя природная обеспеченность местным стоком в России составляет 28,4 тыс.м^3/год на человека и колеблется по субъектам РФ от 1,53 в Ставропольском крае до 600–1000 тыс. м^3/год и более на человека в автономных округах Сибирского и Дальневосточного ФО. Большая часть этих ресурсов находится в сравнительно слабо обжитых районах Севера ЕТР,

Сибири и Дальнего Востока. На этом фоне весьма невелики водные ресурсы южных степных и полупустынных районов России. В их же пределах достигает максимума межгодовая изменчивость стока. Сток многоводных лет даже относительно крупных рек этой зоны может превышать сток маловодных лет в десятки раз. Месячный, декадный и суточный сток воды многих рек засушливой зоны оказывается недостаточным для удовлетворения потребностей отдельных или всех водопользователей при соблюдении экологических ограничений. Более 75% речного стока формируется в период половодья и паводков, что требует регулирования водного режима для удовлетворения потребностей различных отраслей водного хозяйства.

В ближайшие десятилетия гидрологические аспекты природопользования в значительной мере будут во многом определяться климатическими изменениями, влияющими на величину местных водных ресурсов, направленность и интенсивность опасных гидрологических процессов, характер и особенности гидроэкологических функций водных объектов. Климатические изменения существенно повлияют на потребности в воде в зонах орошаемого земледелия. Анализ, основанный на сценариях потепления климата к 2020 и 2070 гг., показывает, что на 2/3 орошаемых территорий будет существовать дефицит водных ресурсов. На половине орошаемых земель потери сельскохозяйственной продукции вследствие потепления и аридизации территории окажутся более значительными по сравнению с потерями в неурожайные годы (Данилов-Данильян, Лосев, 2006).

Ограничения при использовании поверхностных вод могут быть связаны с высокими фоновыми концентрациями химических веществ в природных водах; антропогенным воздействием, результатом которого является неудовлетворительное качество воды и невозможность ее дальнейшего использования в тех или иных водохозяйственных целях; недостаточной способностью водных объектов к самоочищению. Компоненты химического состава речных вод являются факторами, от которых зависят потребительские свойства водных ресурсов. Они оцениваются на основе универсальных показателей (Кимстач, 1993; Никаноров, 2005; Шитиков и др., 2005), в состав которых входит индекс загрязнения вод (ИЗВ), рассчитываемый в соответствии с (Методические указания.., 1988), единый критерий качества вод (ЕККВ), определяемый согласно (Единые критерии.., 1982), критерий кислородного баланса воды и другие. Первые два вида рассмотренных классификаций качества воды (ИЗВ и ЕККВ) анализируют общую

экологическую нагрузку на водный объект на основе содержания в воде специфических загрязняющих веществ. Другие критерии позволяют оценить уровень органической нагрузки на водный объект, дать качественную характеристику самоочищающей способности водного объекта (Геоэкологическое состояние.., 2007).

Нормативы состава и свойства воды водных объектов устанавливаются применительно к отдельным категориям водопользования. Например, к первой категории относится использование водного объекта в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ Р51232-98 и СанПиН 2.1.4.1074-01, 2.1.4.1110-02), а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности; ко второй — использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Другой тип ограничений связан с лимитированием хозяйственной деятельности, которая может привести к негативному изменению состояния водных объектов, качества воды, направленности и интенсивности гидрологических процессов, увеличению стоимости водоохранных мероприятий. Подобные ограничения предполагают обеспечение безопасности существования водных экосистем, экологического стока, ограничение в сбросах сточных вод, сохранения качества воды и т.д. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты устанавливаются по каждому виду хозяйственной деятельности, а также по совместному их воздействию. Нормирование включает разработку, утверждение и контроль над выполнением норм водопотребления и норм предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты (ПДВВ). Нормируемые виды воздействия определены величиной привноса химических и взвешенных веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов, тепла, изъятия водных ресурсов и т.п. Однако даже по наиболее разработанной проблеме определения объема возможного изъятия речного стока ситуация далека от завершения (Вода России.., 2001; Данилов-Данильян и др., 2006; Дубинина и др., 1996; Коренева, Христофоров, 1993; Кумсиашвили, 1980, 2005; Фащевский, 1989, 1996 и др.).

Наиболее сложным вопросом при оценке воздействия на водные объекты является разработка нормируемых показателей качества воды, соответствующих различной степени ущерба водным объектам. Для этой цели могут использоваться экологические нормативы. Экологические нормативы (как и результаты экологической оценки качества поверхностных вод) выражают в абсолютных значениях от-

дельных характеристик и в относительных величинах (классы, категории, индексы) (Жукинский, 2003). В качестве дополнения или замены ныне существующих и порою неэффективных для оценки состояния водных экосистем нормативов ПДК и качества воды предлагаются экологически допустимые нормативы (ЭДН) потенциально вредных для биоты факторов среды, устанавливаемых непосредственно по данным биологического и физико-химического мониторинга (Булгаков и др., 2009). Установление нормативов происходит в несколько этапов: 1) выбор индикатора состояния биоты, 2) выявление границы между благополучными и неблагополучными состояниями и 3) расчет уровней значений исследуемого фактора, приводящих к неблагополучным значениям индикаторной характеристики.

Еще один вид ограничений связан с минимизацией водохозяйственного, социального риска, обеспечением безопасности хозяйственных объектов в условиях опасных гидрологических явлений: затопления освоенной местности, маловодий, размыва или заиления русел рек, заторов, промерзания рек и т.д.).

Рассмотренные виды гидрологических ограничений не гарантируют абсолютной безопасности природопользования. Они основываются на идее приемлемого риска опасных гидрологических явлений. Под *приемлемым* (допустимым) уровнем риска понимают уровень допустимых потерь для конкретного вида природопользования, соответствующих заданной вероятности наступления опасного гидрологического явления. Выбор уровня приемлемого риска – политическая, экономическая и управленческая задача (рис. 2). Величина принятого уровня приемлемого риска отражает отношение государства к обеспечению безопасности его населения. Если уровень приемлемого риска установлен значительно ниже допустимого, то государство предусматривает дополнительные затраты на обеспечение безопасности населения страны. Они связаны с развитием новых технологий и методов инженерной защиты населения, социальных и производственных объектов.

В некоторых странах уровни приемлемого риска приняты законодательно. Первой такой страной стали Нидерланды, где в качестве граничного значения индивидуального риска, индуцированное отдельным промышленным предприятием, принято равным 10^{-6} смертей в год, что в 100 раз ниже естественной смерти детей в возрасте от 10 до 14 лет. По статистическим данным реальный индивидуальный риск гибели людей в мире от природных опасных явлений составляет около $4 \cdot 10^{-5}$ чел./год. Для России эта величина равняется $1 \cdot 10^{-6} – 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ чел./год.

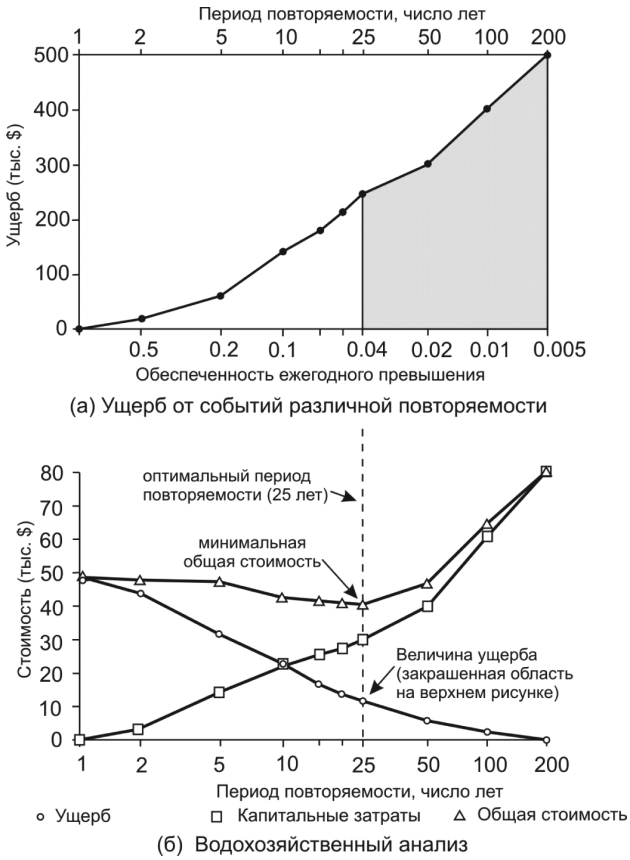


Рис. 2. Определение расчетной обеспеченности гидрологических характеристик при водохозяйственном анализе (Chow и др., 1988)

При расчете риска в материальной сфере используется понятие «общественно-допустимая опасность». Оно характеризует максимальную по интенсивности природную опасность при допустимой вероятности ее возникновения, зависящую от категории сложности и значимости объекта, запланированной продолжительности его эффективного использования. В Нидерландах, где почти половина территории страны защищена береговыми дамбами, предупреждающими затопление освоенной местности речными и морскими водами, расчет высоты дамб производится с учетом опасных гидрологических явлений повторяемостью 1 раз в 10 000 лет (Безопасность России.., 2008; Алексеевский и др., 2009).

В России законодательно уровень приемлемого индивидуального риска пока не установлен. Есть мнение, что он находится в пределах $n \cdot 10^{-4}$—10^{-5} смертей в год (Безопасность России.., 2008). Принятие более низких уровней приемлемого индивидуального риска затруднено проблемами финансового обеспечения задач понижения существующего уровня риска до значений $n \cdot 10^{3}$–10^{-4} смертей в год.

Степень опасности гидрологических явлений (ОГЯ) в отношении социальных и производственных объектов зависит от их типа, природной и антропогенной изменчивости соответствующих характеристик, освоенности и площади территории, подвергшейся воздействию ОГЯ, а также от продолжительности этих явлений. Чем реже возникает опасное гидрологическое явление, тем сильнее его воздействие на социальные и производственные объекты.

Существующее многообразие критериев оценки опасности, соответствующее возможным ограничениям природо- и водопользования, сводится к показателям, оценивающим масштаб, интенсивность развития гидрологических процессов и их повторяемость (например, величина и скорость подъема уровней воды при максимальном стоке); показателям, характеризующим возможные неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафтов или свойств водных объектов; биологическим показателям, характеризующим изменение условий существования водных биоценозов; социально-экономическим показателям, отражающим величину ущерба, число пострадавших и т.д. Их учет можно использовать для интегральной оценки степени безопасности природопользования в условиях конкретного сочетания ОГЯ (Геоэкологическое.., 2007).

Оптимизация природопользования с учетом имеющихся гидрологических ограничений

Регламентация гидрологических ограничений обеспечивает достижение условий гидроэкологической безопасности населения, хозяйства, водных и прибрежных экосистем. В этом случае учитывается социальная необходимость, природная допустимость, экологическая безопасность, техническая обеспеченность и юридическая обусловленность природопользования и, в частности, водопользования на освоенных участках речных долин. Регламентация определяет порядок деятельности водопользователей в отношении водных объектов, предполагает установление такого способа их использования, при котором опре-

делены и ограничены параметры, основные свойства опасного гидрологического явления, приемлемые для организации водохозяйственной деятельности в пределах определенного водного объекта или его водосбора. Такие параметры определяются для каждого вида хозяйственной деятельности в отношении: продолжительности (временные ограничения или допущения); последовательности (определение порядка чередования); объемности (ограничение или допущение количественных величин); территориальности (площадные ограничения или допущения).

Определение *временных ограничений* предполагает установление продолжительности периода изменения использования территории речного бассейна или долины (освоения, застройки, адаптации к изменению техногенных нагрузок и др.); установление продолжительности периода расчетной эксплуатации гидротехнического объекта, зависящего от объема имеющихся ресурсов, потребности общества.

Определение *порядка чередования* действий водопользователей предполагает последовательное применение экологических (при рассмотрении различных вариантов водопользования) и экономических ограничений (при выборе наиболее экономически эффективного (оптимального) варианта организации водопользования). Он предполагает выбор приоритетного вида водопользования, учет интересов других участников водохозяйственного комплекса, обеспечение нормальных условий хозяйственной деятельности на данной и сопряженных территориях. Реализация этого принципа учитывает принцип приоритета водопользователей, относящихся к социальной сфере (приоритета использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения), перед иными водопользователями. Это означает первоочередное обеспечение потребностей в водных ресурсах населения, предприятий и организаций жилищно-коммунального хозяйства поселений и других отраслей социальной сферы.

Пространственные ограничения определяются при нормировании хозяйственной деятельности в долинах и руслах рек. Они устанавливают минимальные размеры водоохранных зон и прибрежных полос.

Решение о конкретных значениях характеристик гидрологических ограничений природопользования (нормы допустимого изъятия, попуска, стока и т.п.) принимаются с учетом особенностей водных объектов, принятой приоритетности водопотребления, сложившейся структуры водохозяйственного комплекса территории. Установленные ограничения в практической сфере жизнедеятельности населения не всегда воспринимаются жесткими. Это связано с неоднозначностью и про-

блемами точности их определения. Многие годы, например, остается дискуссионным вопрос об экологически безопасных объемах изъятия воды из водных объектов, в частности, из малых рек. Реальные нарушения ограничений (чрезмерный сброс сточных вод, превышение допустимого изъятия воды, непредусмотренные масштабы воздействия на экосистемы водосбора и т.п.) обусловлены отсутствием соответствующих мгновенных средств прекращения незапланированного природопользования, подобных электрическому предохранителю, который «перегорает» при превышении силой тока заданного предела. Еще одна причина нарушения, например, экологических ограничений, связана с проявлением негативных изменений состояния водных биоценозов не мгновенно, а через значительный период времени.

Ужесточение режима гидрологических ограничений хозяйственной деятельности требует разработки и использования технологий оптимизации водопользования. В основе этой оптимизации находится обеспечение гидроэкологической безопасности населения, хозяйства, водных и прибрежных экосистем, предупреждение крупных ущербов, связанных с опасными гидрологическими явлениями. Эти технологии должны базироваться на хорошо зарекомендовавших себя методах водохозяйственных расчетов, учитывающих наличие комплекса водопользователей и задачи охраны водных объектов от загрязнения, истощения и засорения (Кумсиашвили, 1980, 2005; Раткович, 1993 и др.).

В этом случае задача оптимизации сводится к сохранению нормального состояния водных экосистем, устойчивого функционирования водохозяйственных систем при наличии ряда ограничений на величину и вариацию запросов различных водопотребителей (рис. 3). Она основывается на «правилах» регулирования речного стока за интервал времени $[0; T]$ с учетом требований n потребителей и m водопользователей (Алексеевский и др., 2000). Эффективное и экологически безопасное использование речного стока в этом случае предполагает соблюдение ряда ограничений на изменение расходов воды $Q(t)$. Они включают ограничения на максимум расхода воды $A(t)$, гарантирующий безопасность гидротехнических сооружений, мостов, продуктопроводов, береговых, сельскохозяйственных объектов в поймах рек. Не менее важным ограничением является обеспечение гарантированного снабжения водой $q(t)$ конкретных для территории водопотребителей. Удовлетворение потребностей гидроэнергетики, водного транспорта, рекреации объясняет зависимость безопасного уровня от экстремально низкого стока. Требование сохранения его означает, что

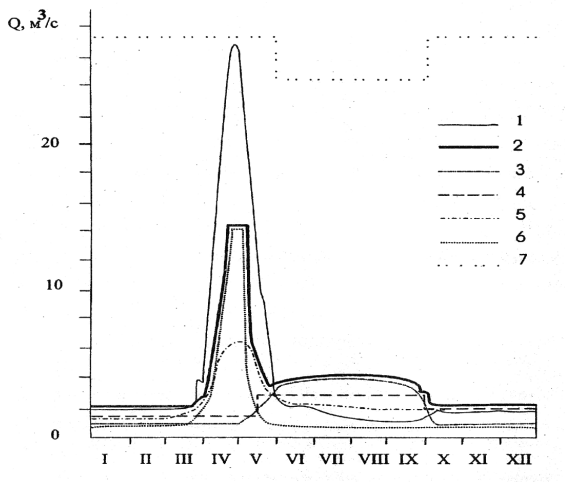


Рис. 3. Соотношение фактических (1) и оптимальных (2) с учетом различных ограничений расходов воды при определении безопасных условий водопользования (Алексеевский и др., 2000).

Ограничения: 3 – по признаку необходимости разбавления сточных вод; 4 – обводнения рек; 5 – поддержания оптимальных условий существования водных экосистем; 6 – сохранения условий динамического равновесия в системе «поток – русло»; 7 – предупреждения катастрофических наводнений

в руслах рек расходы воды не должны быть меньше некоторого предела $\alpha_v(t)$. Одновременно их величина должна обеспечивать разбавление сточных вод до уровня ПДК для *i*-й характеристики качества воды. При учете *k* таких характеристик в качестве $\alpha_{p,l}(t)$ принимается значение $\alpha_{p,i}(t)=max[\alpha_{p,1}(t),...,\alpha_{p,k}(t)]$.Ограничения на минимальные расходы воды также увязываются с обеспечением транзита речных наносов $\alpha_t(t)$, при котором отсутствует направленное заиление мелких элементов русловой сети, оптимальных условий существования водных экосистем $\alpha_e(t)$. Условие сохранения гидроэкологической безопасности соответствует такой минимальной величине $\alpha(t)$, которая равна максимуму Q по совокупности ограничений $\alpha_v(t),\alpha_{p,i}(t),\alpha_t(t),\alpha_e(t)$. При наличии безвозвратных потерь стока $q_b(t)$ этот уровень зависит от выполнения неравенства $\alpha(t) \le Q(t)–q_b(t) \le A(t)$.

За время T $P_T(a, A) = P[a(t) \le (Q(t) - q_b(t) \le A(t)]$. Вероятность $P_T(\alpha,A)$ характеризует надежность сохранения нормального состояния водных объектов в данный период времени при указанных ограничениях. Надежность безопасности снижается с увеличением

$\alpha(t), q_b(t)$ и уменьшением $A(t)$. При возрастании T значение $P_T(\alpha, A)$ уменьшается, поскольку растет вероятность нарушения вышеприведенного неравенства при каком-либо $t \in [0;T]$. Величина $1 - P_T(\alpha, A)$ характеризует степень риска нарушения гидроэкологической безопасности. Минимизация вероятности риска $1 - P_T(\alpha, A)$ или функции ущерба представляет собой практический механизм обеспечения гидроэкологической безопасности различных регионов России.

Очевидно, что подобная оптимизация также должна обеспечивать экономическую эффективность в использовании водных и иных ресурсов рек (Данилов-Данильян и Лосев, 2006 и др.). Задача оптимизации в целях получения максимального экономического эффекта предполагает учет не только необходимости получения прибыли всеми водопользователями, но и затрат на охрану водных ресурсов, покрытие ущербов от возможного нарушения гидрологических ограничений. Решение подобных задач сопряжено со значительными трудностями формализации их алгоритма, адекватного описания вероятностной природы гидрологических процессов. Примеры успешного использования методов оптимизации в управлении сложными водноресурсными системами не очень многочисленны (Крицкий и Менкель, 1981, 1982; Кумсиашвили, 2005; Пряжинская и др., 2002; Раткович и Болгов, 1997; Христофоров, 2004 и др.). Их применение необходимо при оптимизации регулирования речного стока, комплексного использования водных ресурсов трансграничных рек и т.д.

Заключение

Таким образом, использование ресурсов водных объектов и их водосборов должно организовываться с учетом гидрологических ограничений, учитывающих природное и техногенное изменение составляющих речного стока, опасных гидрологических процессов, а также техногенных нагрузок, при которых возможен социальный, экономический и экологический ущерб. На основе полученных научно обоснованных величин таких ограничений должны разрабатываться схемы оптимизации экономически эффективного и экологически безопасного природопользования.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 18–40.
2. *Алексеевский Н.И., Евстигнеев В.М., Храменков С.В., Христофоров А.В.* Общие подходы к оценке и достижению гидроэкологической безопасности речных бассейнов // Вестник МГУ. Сер.5. География. 2000. №1. С. 22–28.
3. *Алексеевский Н.И., Михайлов В.Н., Алабян А.М., Бабич Д.Б.* Опасные гидрологические процессы в Голландской дельте. II. Меры по уменьшению их негативного влияния на население, хозяйство и экосистемы // Водные ресурсы. Том 36. №2. 2009. С. 131–138.
4. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л.* Гидроэкологическая безопасность территории: Причины изменения и способы повышения надежности // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. Материалы Междун. научной конференции. Томск, 2000. С. 4–7.
5. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. Н.И. Коронкевича и И.С. Зайцевой. М.: Наука, 2003. 367 с.
6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. М.: МГОФ «Знание», 2008. 672 с.
7. *Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 232 с.
8. *Булгаков Н.Г., Левич А.П., Абакумов В.А., Максимов В.Н., Мамихин С.В.* Метод установления экологически допустимых нормативов вредных воздействий на основе данных экологического мониторинга // Материалы научно-практической конференции «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Ч. 2. г. Азов, 8–10 июля 2009 г. – Ростов-на-Дону, 2009. С. 121–125.
9. Вода России. Малые реки / Под ред. А. М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 804 с.
10. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
11. Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 694 с.
12. *Глазовский Н. Ф., Коронкевич Н.И., Кренке А.Н., Кочуров Б.И., Сдасюк Г.В.* Критические экологические районы: географические подходы и принципы изменения // Изв. ВГО. 1991. Т. 123, вып. 1. С. 9–17.

13. *Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды: Экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
14. *Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Лосев К.С.* Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект. М.: Изд-во МППА БИМПА, 2007. 288 с.
15. *Дубинина В.Г., Гаргопа Ю.М., Чебанов М.С.* Методические подходы к экологическому нормированию антропогенного сокращения речного стока // Водные ресурсы. 1996. Т. 24. №1. С.78–85.
16. Единые критерии качества вод. М.: Изд. СЭВ, 1982. С. 69.
17. *Кимстач В.А.* Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского Экономического Сообщества. СПб.: Техническая книга, 1993.
18. *Жукинский Н. И.* Экологический риск и экологический ущерб качеству поверхностных вод: Актуальность, терминология, количественная оценка // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. №2. С. 213–221.
19. *Коренева И.Б., Христофоров А.В.* Об оценке минимального экологически достаточного стока воды в реках // Вестник МГУ. Сер.5. География.1993. №1. С. 77-83.
20. *Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Китаев Л.М.* Негативные гидроэкологические ситуации // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. №1. С.43–53.
21. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бумакова А.Ф., Зайцева И.С., Малик Л.К.* Экстремальные гидрологические явления // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. №2. С.45–57.
22. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992. 58 с.
23. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
24. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М.: Наука, 1982. 270 с.
25. *Кумсиашвили Г.П.* Регулирование стока и охрана природных вод. М: МГУ, 1980. 136 с.
26. *Кумсиашвили Г.П.* Гидроэкологический потенциал водных ресурсов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 270 с.
27. Методические основы оценки антропогенного воздействия на качество поверхностных вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 170 с.
28. Методические указания по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: ГХИ, 1988. 28 с.

29. *Михайлов В.Н., Эдельштейн К.К.* Оценка устойчивости и уязвимости водных экосистем с позиции геоэкологии // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1996. №3. С. 45–51.
30. *Нежиховский Р.А.* Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 229 с.
31. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 351 с.
32. *Никаноров А.М.* Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 576 с.
33. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Разработка интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. В сб.: Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества / Под ред. Н.В. Каледина, В. В. Дмитриева. СПб, 2008. С. 234-241.
34. *Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К.* Компьютерное моделирование и управление водными ресурсами. М.: Физматиздат, 2002. 494 с.
35. *Раткович Д.Я.* Гидрологические основы водообеспечения. М.: ИВП РАН, 1993. 430 с.
36. *Раткович Д.Я., Болгов М.В.* Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. М., 1997. 262 с.
37. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.* Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд. МГУ, 2000. 432 с.
38. *Фащевский Б.В.* Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Мн.: БелНИИНТИ, 1989. 52 с.
39. *Фащевский Б.В.* Основы экологической гидрологии. Мн.: Экоивест, 1996. 240 с.
40. *Христофоров А.В.* Оптимизация деления и совместного использования водных ресурсов трансграничных рек // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 2. М.: Геогр. фак. МГУ, 2004. С. 140–158.
41. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: Методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. 281 с.
42. *Chow Nen Te, Maidment David R., Mays Larry W.* Applied hydrology / New York. 1988.

N.L. Frolova

HYDROLOGICAL LIMITS FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Approaches to estimation of hydrological limits for environmental management are considered. The various hydroecological functions of water objects describing conditions of use of natural resources of the rivers and their basins, risks of environmental management are emphasized. The scale of changes of hydrological functions in a status sequence «norm» - «risk» - «crisis» - «disaster» - «accident» is considered. Existence of criteria of transition from one status to another is revealed depending on change of a hydrological condition and a regime of water objects. Features of influence of natural and anthropogenous factors on change of hydrological limits are shown.

А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева, С.Н. Шашков

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ

Сформулированы недостатки системы оценки качества воды на основе предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ. Предложена методология количественного определения величины нормативно допустимого воздействия антропогенного загрязнения на водные объекты, основанная на изучении связи параметров, характеризующих качество воды и состояние водных экосистем. Показана возможность оценки роли диффузного загрязнения в формировании химического стока в водных объектах.

В условиях растущего антропогенного воздействия на окружающую среду, проявляющегося прежде всего в интенсификации процессов ее загрязнения химическими веществами, происходит деградация природных экосистем. Несмотря на то, что в Федеральном законе РФ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7 – ФЗ записано, что хозяйственная деятельность, оказывающая воздействие на окружающую среду, должна осуществляться на основе принципов приоритета сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов, природных комплексов и сохранения биологического разнообразия, острота экологических проблем в стране не уменьшается. Одной из причин такого положения является слабость существующей в России нормативной базы. В основе принятой современной концепции регламентации техногенных нагрузок лежит представление о предельно допустимых концентрациях, гарантирующих безопасное использование водных объектов. И единственным нормативно-правовым критерием оценки качества воды являются ПДК загрязняющих веществ. Нормативы допустимых воздействий (НДВ) и нормативно-допустимых сбросов сточных вод (НДС) ориентированы на достижение эколого-рыбохозяйственных и санитарно-гигиенических ПДК.

В последние годы идеология установления нормативов на основе ПДК подверглась серьезной критике. Недостатки системы оценки качества воды на основе ПДК можно сформулировать так:

- идеология ПДК основывается на оценках воздействия веществ только на организменном уровне, перенос оценки на популяционный и экосистемный уровни некорректен;

- система ПДК едина для всей территории России, не учитывается разнообразие геологических, географических, климатических, гидрологических условий и глубокие региональные различия в степени и характере хозяйственного освоения территории; вопрос о переходе на региональные нормативы практически не решен. При этом региональные нормативы должны учитывать не только наличие биогеохимических провинций, но и особенности географических зон;

- система ПДК не учитывает всей совокупности факторов, действующих на экосистему, – синергизма и антагонизма различных веществ, теплового режима водного объекта, форм существования загрязняющих веществ, имеющих разную токсичность, режима течений и т.п.;

- на смесовые вещества устанавливается ПДК, при котором не превышаются нормативы ни на один из его компонентов, при этом не учитываются формы их миграции в природных водах;

- система ПДК не позволяет оценить эффект длительности воздействия повышенных и высоких концентраций веществ на экосистему водного объекта;

- для многих веществ, включенных в списки ПДК, отсутствуют методы контроля.

Самые современные системы очистки не могут обеспечить нормативное качество вод в водных объектах. Очистные сооружения глубокой доочистки, которые могут обеспечить соблюдение нормативов, стоят очень дорого и большинству водопользователей не по карману. Создание и повсеместное внедрение новых ресурсосберегающих технологий основного производства – перспектива не близкая, процесс осуществления может затянуться на два десятилетия. А в настоящее время необеспеченность технологических решений и экономическая нецелесообразность привели к тому, что значительная часть сточных вод сбрасывается вообще без очистки, а остальные поступают в водные объекты недостаточно очищенными. Таким образом, существующая нормативная база не обеспечивает сохранения биологического разнообразия экосистем, хорошего качества воды в водных объектах, подверженных антропогенному воздействию.

Поэтому в настоящее время необходимо вести поиски альтернативных вариантов. В гигиеническом нормировании используются принципы, критерии и методы обоснования региональных нормативов, учи-

тывающих комплексное воздействие на организм веществ, поступающих разными путями и способами. Региональные нормативы химических веществ измеряются допустимой суточной дозой – максимальной безвредной суточной дозой потребления химического вещества, которая при комплексном поступлении в организм в течение всей жизни не оказывает прямого или опосредованного влияния на здоровье человека.

Для природных водных объектов первоочередной задачей является обоснование методов расчета величины допустимой антропогенной нагрузки или нормативно допустимого воздействия.

Нормативы допустимого воздействия (НДВ) должны устанавливаться для водного объекта или его водохозяйственного участка прежде всего для сохранения биологического разнообразия его экосистемы и обеспечения ее устойчивого функционирования. Они позволяют установить безопасный уровень содержания загрязняющих веществ, гарантирующий сохранение и устойчивость параметров экосистемы в условиях антропогенного воздействия на водный объект.

Казалось бы, в основе определения НДВ должна лежать количественная оценка отклика экосистемы на конкретный уровень загрязнения вод водного объекта, но согласно статьям 20, 22 и 27 Федерального закона № 7 – ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» нормативы допустимого воздействия на водные объекты устанавливаются на основе нормативов качества воды. Уйти от системы ПДК пока не удается.

Рассмотрим возможные пути решения этой проблемы без использования современной системы ПДК и в условиях отсутствия законченной теории экологического нормирования.

Для водных организмов воздействие токсических веществ зависит не только от форм их существования, но и от физико-химических параметров воды – температуры, минерализации, соотношения главных ионов, наличия органических соединений, щелочно-кислотного равновесия. Поэтому необходимо установление эколого-рыбохозяйственных ПДК приоритетных веществ для каждой географической зоны или крупной биогеохимической провинции. Однако даже улучшенная система территориальных ПДК остается только системой критериев состояния организмов. В настоящее время все более очевидным становится необходимость изучения реакций надорганизменного уровня, т.е. откликов на антропогенное загрязнение популяций и экосистемы в целом. Хорошо известно, что биоценозы, особенно водные, реагируют на изменения окружающей среды целым комплексом приспособленческих реакций,

причем на разных иерархических уровнях организации живого эти реакции различны. Отсюда понимание того, что научное обоснование системы ограничений антропогенных нагрузок на водные экосистемы должно базироваться на экологических критериях, позволяющих определять допустимые пределы изменчивости параметров экосистем и соответственно ограничивать антропогенные нагрузки до их допустимых пределов.

Какие же параметры экосистемы должны оцениваться для определения НДВ? Данные существующего в стране гидробиологического мониторинга позволяют рассчитывать следующие интегральные характеристики: количество систематических групп, общее число видов организмов, общую численность зооценоза, информационный индекс Шеннона для оценки разнообразия в экосистеме, биотический индекс Вудивисса, олигохетный индекс, количество индикаторов уровней загрязнения, вариабельность динамики биомассы.

При загрязнении водного объекта или эвтрофикации происходят структурные изменения в экосистеме: снижается индекс разнообразия Шеннона, снижается численность хищников и фильтраторов, растет вариабельность динамики биомассы, уменьшаются баллы биологического индекса Вудивисса, растет олигохетный индекс, растет продуктивность. Имеют место корреляционные связи между гидрохимическими и гидробиологическими показателями, что позволяет составлять уравнения регрессии, оценивающие эти связи. Опыт применения такого подхода на р. Проня показал наличие линейных связей между биологическими и гидрохимическими показателями (Седякин, 2004). Было выявлено, что биота реагирует на те вещества, концентрации которых в водах превышает их фоновые содержания. Такой подход позволяет ранжировать загрязняющие вещества по их воздействию на гидробиологические показатели. Методами продукционной гидробиологии установлены связи между индексом разнообразия и $БПК_5$, бихроматной окисляемостью, pH, величиной первичной продукции в водных объектах разной продуктивности (Алимов, 2001).

Наличие уравнений регрессии, описывающих связи между гидрохимическими и гидробиологическими параметрами, позволяет количественно оценить целевые показатели качества воды, достижение которых обеспечит выбранный уровень благополучия экосистемы в конкретных водохозяйственных участках водного объекта. Для выбора уровня благополучия экосистемы можно воспользоваться классификацией качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям (табл.).

Таблица. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим и микробиологическим показателям

Класс качества воды	Степень загрязненности воды	Гидробиологические показатели			Микробиологические показатели		
		По фитопланктону, зоопланктону, перифитону	По зообентосу		Общее количество бактерий, 10^6кл/см^3 (кл/мл)	Количество сапрофитных бактерий, 10^3кл/см^3 (кл/мл)	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий
		Индекс сапробности по Пантле и Букку (в модификации Сладечека)	Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы			
I	Очень чистые	Менее 1,00	1 – 20	10	Менее 0,5	Менее 0,5	Менее 10^3
II	Чистые	1,00 – 1,50	21 –35	7 – 9	0,5 – 1,0	0,5 – 5,0	Более 10^3
III	Умеренно загрязненные	1,51 – 2,50	36 – 50	5 – 6	1,1 – 3,0	5,1 – 10,0	10^3 – 10^2
IY	Загрязненные	2,51 – 3,50	51 – 65	4	4,1 – 5,0	10,1 – 50,0	Менее 10^2
Y	Грязные	3,51 – 4,00	66 – 85	2 – 3	5,1 – 10,0	50,1 – 100,0	Менее 10^2
YI	Очень грязные	Более 4,00	86 – 100 или макробентос отсутствует	0 – 1	Более 10,0	Более 100,0	Менее 10^2

Примечание. Допускается оценивать класс качества воды и как промежуточный между вторым и третьим (II–III), третьим и четвертым (III–IY), четвертым и пятым(IY–Y).

Наилучшим решением будет определение целевых показателей качества воды по результатам измерений на границах участков рассматриваемого водного объекта, где экосистема находится в удовлетворительном состоянии. Очевидно, что при превышении таких целевых показателей качества воды водная экосистема изменится на недопустимую величину.

В случае эвтрофирования могут быть использованы методы математического моделирования для определения нормативной допустимой нагрузки биогенных элементов на экосистемы водных объектов.

Норматив допустимой нагрузки по химическим загрязняющим веществам равен суммарной массе этих веществ, поступающих от сосредоточенных и диффузных источников в водный объект, обеспечивающей найденные целевые показатели качества воды и экологическое благополучие этого объекта. В соответствии с этим необходимо определить норматив допустимой нагрузки с помощью методов обратной задачи – по гидрохимическим показателям определяется антропогенная нагрузка и оценивается вклад сосредоточенных (контролируемых) и диффузных (неконтролируемых) источников в общую антропогенную нагрузку. Количество загрязняющих веществ, поступающих от сосредоточенных источников, определяется по материалам 2ТП-водхоз.

Значительный вклад в загрязнение водных объектов вносят диффузные источники загрязнения. Это поступление загрязняющих веществ с поверхностным и подземным стоком с городских территорий, поступление с атмосферными осадками, загрязнения от производства сельхозпродукции и транспорта. Загрязняющие вещества попадают в водные объекты разнообразными путями и контролировать эти процессы невозможно.

Огромный диапазон изменения концентраций загрязняющих веществ, изменчивость и непостоянство химического состава вод, поступающих с поверхностным и подземным стоком с водосбора, делают прямые методы оценки выноса загрязняющих веществ нецелесообразными. Кроме того, совершенно не изучены процессы перехвата веществ экотонными ландшафтами и водоохранными зонами, и количественно оценить их барьерные функции практически невозможно. Поэтому оценивать вклад диффузных источников в загрязнение водных объектов можно с помощью балансовых методов, основанных на данных мониторинга (Сафронова и др., 1997).

Для решения поставленной задачи использовалась одномерная модель распространения неконсервативных компонентов (Сафронова и др., 1997). Для стационарных условий изменение концентрации неконсервативного ЗВ по длине реки записывается в виде:

$$C(x)=C_0\{[Q_0/Q(x)]^a\}+(r+C_s q_s)/(q+q_a+kf)\{1-[(Q_0/Q(x)]^a\}, \quad (1)$$

где: С(х) – концентрация неконсервативного вещества в расчетном створе; $C_0 = C(0)$; $Q(x)=Q_0+q_x$ – расход воды в расчетном створе в сечении x; $Q_0= Q(0)$ – расход воды в начале расчетного участка; q – удельное приращение расхода $(q = q_d - q_a + q_s – q_e)$; q_d – удельный путевой приток воды из рассредоточенных источников (подземных, поверхностных вод, за счет водообмена с мелководьями); q_a – удельные путевые потери воды на водопотребление, фильтрацию, водообмен с мелководьем; q_s – удельный путевой приток из сосредоточенных источников (контролируемые сбросы); q_e – удельные путевые потери на испарение и льдообразование; r – удельный путевой приток вещества из диффузных источников; C_s – концентрация вещества в сосредоточенных источниках; k – коэффициент неконсервативности вещества; f – средняя (по длине) площадь живого сечения; а также $a=(q_0 – q_e + q_s + k_f)/q$. Формула (1) выведена и применялась для прогнозирования качества воды с 1980 г. Т.Г. Войничем-Сяноженцким (ВНИИ Водгео, г. Москва).

В уравнении (1) все параметры, кроме k и r, измеряются или рассчитываются на основе доступных данных мониторинга. Соотношение (1) используется для параметрической идентификации модели путем расчета k и r.

Для оценки мощности диффузных источников и интенсивности процессов самоочищения решается задача, обратная расчету распределения концентрации по длине водотока в (1): с использованием известного фактического распределения концентрации ЗВ вдоль русла с помощью метода наименьших квадратов определяются значения k и r. В соответствии с данной методикой исследуемый водоток разбивается на участки, границы которых совпадают со створами гидрохимических наблюдений, местами впадения крупных притоков и крупными выпусками сточных вод. Поскольку створы наблюдений разнесены на десятки километров, а перемешивание в свободно текущей реке достаточно сильное, то при такой схематизации выражение, определяющее концентрацию ЗВ на нижней границе i-го участка, можно представить в виде:

$$C_i = p_i C_{Ti} + (1 – p_i)C_{Ii}, \quad (2)$$

где C_{Ti} – транзитная концентрация ЗВ, подходящая к замыкающему створу i-го участка, $\mathbf{C}n_i$ – концентрация ЗВ в притоке или в сбросе сточных вод, p_i, = $(Q_i - Q_{\text{пі}})/ Q_i$ – коэффициент полного перемеши-

вания, Q_i, – расход основного русла в расчетном створе, Q_{ni} – расход притока (сброса) в расчетном створе.

С учетом неконсервативности потока на i-м участке и диффузного поступления ЗВ выражение для Ci в замыкающем створе можно записать в виде

$$C_i = r/D_i + (C_{i-1} - r/D_i) * B_i, \quad (3)$$

где $D_i = q_i + q_{ai} + kf_i$; $B_i = (Q_{i-1} / (Q_i - Q_{\text{пi}})^{Di/q}$.

Зная удельный путевой приток воды q из рассредоточенных источников, удельные рассредоточенные путевые потери воды $q_a + q_e$, удельный путевой приток из сосредоточенных источников (контролируемые сбросы) q_s, можно рассчитать концентрацию в выходном створе. Приведенная расчетная схема позволяет решать как прямую, так и обратную задачи гидрохимических расчетов:

– расчет концентрации ЗВ в расчетных створах при известных значениях k и r;

– определение k и r на основе данных о фактических концентрациях в расчетных створах.

При решении обратной задачи используется метод наименьших квадратов, т.е. требуется наличие определенной статистики данных, входящих в расчетную формулу (3).

Значение k определяется при минимизации значения функционала

$$\Phi(к) = \sum a_i (C_{fi} - RH_i - C_0 F_i - U_i - M_i)^2, \quad (4)$$

где C_{fi} – измеренное значение (математическое ожидание) концентрации ЗВ в i-том створе, полученное при обработке данных наблюдений, α_i – весовой коэффициент, зависящий от степени надежности используемых данных, нами принимаемый равным 1, C_0 – значение концентрации ЗВ в головном створе,

$$H_i = p_i(1 - B_i)/D_i + \sum_{j=2}^{j=i-1}[(1 - B_j)p_j / D_j \prod_{m=j+1}^{m=i} p_m B_m],$$

$$F_i = p_i \prod_{m=2}^{m=i} P_m B_m,$$

$$U_i = \sum_{j=1}^{j=i}[C_{nj}(1 - p_j) * \prod_{m=j+1}^{m=i} p_m B_m],$$

$$M_i = C_{Ш i}/(1 - p_i).$$

Средняя мощность диффузных источников r при вычисленном значении k определяются по следующему соотношению:

$$r = Y / Z,$$

где $Y = \Sigma(\alpha_i F_i^2)\Sigma[H_i(C_{fi} - U_i - M)\alpha_i] - \Sigma(\alpha_i F_i H_i)\Sigma[F_i C_{fi} - U_i - M_i)\alpha_i],$

$$Z = \Sigma(\alpha_i F_i^2)\Sigma(\alpha_i H_i^2) - [\Sigma(\alpha_i F_i H_i)]^2.$$

$$C_0 = \Sigma[F_i(C_{fi} - U_i - M_i)\alpha_i] / \Sigma(\alpha_i F_i^2) - R\Sigma(\alpha_i F_i H_i) / \Sigma(\alpha_i F_i^2).$$

Параметры k и r при надежной исходной информации могут использоваться для прогнозных расчетов.

Если позволяют информационные ресурсы, то одновременное определение путевого притока загрязняющих веществ и параметра неконсервативности целесообразно заменить на определение одного параметра неконсервативности. Это связано с большими вычислительными погрешностями, возникающими при использовании вышеизложенного алгоритма. В настоящее время пионерные работы по определению НДВ ведутся в нескольких организациях России. Появившийся опыт позволяет выявить три повсеместно распространенные ошибки.

Во-первых, делаются попытки определить целевые показатели качества воды по функции распределения вероятности наблюдаемых концентраций. В качестве критерия приемлемости используется достаточно низкое значение вероятности: 0,05 или 0,25. Цель – сохранение нормативного состояния экосистем – при этом потеряна, и получаемый результат можно трактовать лишь как «минимальная концентрация в загрязненном водном объекте, например, 5%-ной вероятности»; будет ли при этом экосистема в нормативном состоянии – неизвестно.

Во-вторых, используется концепция неуправляемых антропогенных источников загрязнения. Обычно в число неуправляемых попадают все диффузные источники загрязняющих веществ. В результате НДВ, вычисленный только по данным о сосредоточенных сбросах сточных вод, как правило, не позволяет достичь нормативного качества воды и дезориентирует систему охраны вод. Любая антропогенная деятельность может быть нормирована. Проблема заключается в систематизации сведений о технологиях предотвращения диффузного поступления загрязняющих веществ.

В-третьих, при расчетах НДВ игнорируются внутриводные процессы: как самоочищения, так и вторичного загрязнения. В результате, расчетные зависимости не могут быть верифицированы и по общепринятым критериям не должны применяться в практике. В то же время методики учета внутриводных процессов интенсивно развивались в нашей стране и за рубежом, начиная с 70-х годов двадцатого века.

Из последнего замечания не следует, что полная теория внутриводных процессов создана и любые параметры можно оценить расчетным путем. Обсуждаемые процессы бесконечно разнообразны и при их оценке для конкретного водного объекта неизбежен этап натурных исследований (специальных изысканий). Теоретические построения дают лишь общую структуру модели, но не значения ее параметров.

Таким образом, практическое определение НДВ для бассейнов Российской Федерации ведется параллельно с разработкой теории бассейнового нормирования.

Литература

1. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2001. 139 с.
2. *Сафронова К.И., Веницианов Е.В., Кочарян А.Г., Майроновский Ф.Г., Максимов А.В., Шашков С.Н.* Структура и информационное обеспечение системы контроля качества поверхностных вод // Водные ресурсы. 1997. №6. С. 711–717.
3. *Седякин В.П.* Информационное обеспечение оценки экологического состояния средних рек в условиях современной антропогенной нагрузки (на примере реки Проня): Автореф. дисс. ... на соиск. уч. ст. к.г.н. М., 2004. 24 с.

A.G. Kochyaryan, I.P. Lebedeva, S.N. Shashkov

STANDARDIZATION OF THE LEVEL OF ACCEPTABLE ANTHROPOGENIC WATER BODY POLLUTION TO ENSURE ITS ECOLOGICAL WELL-BEING

The drawbacks of water quality system assessment were stated on the basis of most acceptable concentrations of polluting substances. The methodology of quantitative assessment of the level of acceptable anthropogenic pollution on water bodies was offered. This methodology is based on the studies on the links among the parameters characterizing water quality and the state of water ecosystems. The possibility of the assessment of the diffusive pollution role in the chemical run-off formation in water bodies was shown.

ОБ АВТОРАХ

Алексеевский Николай Иванович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail: n_alex@hydro.geogr.msu.su*

Антипов Александр Николаевич, доктор географических наук, директор ИГ СО РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук»).

Барабанова Елена Алексеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»), ученый секретарь Гидрологической комиссии Московского отделения Русского географического общества. *E-mail: barea@inbox.ru*

Бибикова Татьяна Сергеевна, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: bibikova-t@yandex.ru*

Бумакова Алла Федоровна, ведущий инженер ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Георгиади Александр Георгиевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: galex50@gmail.com*

Григорьева Ирина Леонидовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: Irina_Grigorieva@list.ru*

Долгов Сергей Владимирович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: svdolgov1978@rambler.ru*

Ершова Марина Григорьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail: emek05@mail.ru*

Зайцева Ирина Сергеевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»), член ревизионной комиссии Русского географического общества. *E-mail: zirinas@mail.ru*

Заславская Майя Борисовна, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail: emek05@mail.ru*

Зеленов Андрей Сергеевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий сектором загрязнения природной среды ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». *E-mail: az@igce.ru*

Зеленова Мария Сергеевна, кандидат географических наук, научный сотрудник сектора загрязнения природной среды ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». *E-mail: mz@igce.ru*

Кашутина Екатерина Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: kategeo@mail.ru*

Комиссаров Алексей Борисович, младший научный сотрудник ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учрежде-

ние науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: aleco1@inbox.ru*

Коронкевич Николай Иванович, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»), член Ученого совета Русского географического общества, член Ученого совета Московского отделения Русского географического общества, председатель Гидрологической комиссии Московского отделения Русского географического общества. *E-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Корытный Леонид Маркусович, доктор географических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ИГ СО РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук»), заместитель председателя Восточно-Сибирского отделения Русского географического общества, член ученого совета Русского географического общества, председатель Иркутского областного отделения Русского географического общества. *E-mail: kor@iriqs.irk.ru*

Кочарян Андрей Гургенович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий группой гидрогеохимических и медико-экологических исследований ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: kochar@aqua.laser.ru*

Кудерина Татьяна Маратовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: tmkud@yandex.ru*

Кузенкова Екатерина Сергеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник группы гидрогеохимических и медико-экологических исследований ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: kochar@aqua.laser.ru*

Лебедева Ирина Петровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник группы гидрогеохимических и медико-экологических исследований ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: kochar@aqua.laser.ru*

Лемешко Наталья Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды факультета географии и геоэкологии СПбГУ (Санкт-Петербургский Государственный университет). *E-mail: natlem@mail.ru*

Лукьянович Михаил, аспирант ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Малик Лилия Константиновна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»), почетный член Русского географического общества.

Милюкова Ирина Павловна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: mil-ira@list.ru*

Поповнин Никита, аспирант ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Сенцова Надежда Ивановна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования поверхностных вод ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail: sentsova@yandex.ru*

Терентьев Илья, аспирант ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Фащук Дмитрий Яковлевич, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: fashchuk@mail.ru*

Федоров Владимир Николаевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»).

Фролова Наталия Леонидовна, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail: frolova_nl@mail.ru*

Чалов Роман Сергеевич, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева. *E-mail: rschalov@mail.ru*

Чепалыга Андрей Леонидович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: tchepalyga@mail.ru*

Черногаева Галина Михайловна, доктор географических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН». *E-mail: gmch@igce.ru*

Шаповалов Андрей Евгеньевич, кандидат географических наук, младший научный сотрудник группы гидрогеохимических и медико-экологических исследований ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»).

Шапоренко Сергей Иванович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Инсти-

тут географии Российской академии наук»). *E-mail: ser-shaporenko@yandex.ru*

Шашков Сергей Николаевич, кандидат технических наук, директор ООО «ВЕД».

Шилькрот Галина Сергеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: gal-shilkrot@yandex.ru*

Эдельштейн Константин Константинович, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. *E-mail: emek05@mail.ru*

Эльпинер Леонид Ицкович, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник группы гидрогеохимических и медико-экологических исследований ИВП РАН (Государственное федеральное бюджетное учреждение науки «Институт водных проблем Российской академии наук»). *E-mail:elpiner@rambler.ru*

Ясинский Сергей Владимирович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук»). *E-mail: yasisergej@yandex.ru*

Научное издание

ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Сборник 133

Географо-гидрологические исследования

Рекомендовано к печати
Ученым советом
Института географии РАН

Подписано к печати 22.11.12
Формат 60 x 90 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Times New Roman
Печать офсетная
Усл.печ.л 31.0
Тираж 500 экз. Заказ № 3162

Московское отделение
Русского географического общества
119011, Москва, Старомонетный пер., 29
e-mail: info@rgo.msk.ru
www.rgo.msk.ru

ООО «Издательский дом «Кодекс»
г. Москва, Графский переулок, д. 9, стр. 2.

Отпечатано в ООО «ТИПОГРАФИЯ КЕМ»
г. Москва, Графский переулок, д. 9, стр. 2.
Тел.: (495) 933-59-00

9 785904 280246