

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)

ПРОБЛЕМЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Обзорная информация

Выпуск № 6

Издается с 1972 г.

Москва 2016

Выходит 12 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – академик РАН Ю. М. Арский

Члены редколлегии:

*И. Н. Борисенко, Е. В. Карцева, к. х. н. Л. М. Королёва,
д. ф.-м. н. В. Ф. Крапивин, к. т. н. Г. Ю. Остаева,
к. т. н. И. И. Потапов (зам.главного редактора),
И. А. Щетинина (ученый секретарь), к. т. н. А. Г. Юдин*

Наш адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20
Всероссийский институт научной и технической информации
Отдел научной информации по глобальным проблемам
Телефон 8(499) 152-55-00; Факс 8(499) 943-00-60
E-mail: ipotapov37@mail.ru

© ВИНТИ, 2016

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
THE ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE FOR SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INFORMATION
(VINITI)

PROBLEMS OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES

Review information

№ 6

Founded in 1972

Moscow 2016

A Monthly Journal

CHIEF EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Arskij Yu. M., Academician of the Russian Academy of Sciences

Editorial Board Members:

*Borisenko I. N., Kartseva E. V., Koroleva L. M., Krapivin V. F.,
Ostaeva G. Y., Potapov I. I., Schetinina I. A., Yudin A. G.*

Editorial office: 125190, Russia, Moscow, Usiyevich st., 20
The All-Russian Research Institute for Scientific and Technical Information
Department of Scientific Information on Global Problems
Telephone: 499-152-55-00
ipotapov37@mail.ru

© VINITI, 2016

ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД СУШИ, МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

УДК 502.51

РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРИРОДНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ И НЕОБХОДИМОСТЬ ЕЕ УЧЕТА ПРИ ОЦЕНКАХ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Е.П. Янин¹, В.Н. Кузьмич², О.М. Иваницкий¹

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва
(yanin@geokhi.ru)

² АНО «НИИ Промышленной экологии», Москва

В настоящее время в России оценка состояния и качества поверхностных пресных вод осуществляется с помощью:

1) гигиенических нормативов:

- ПДК (предельно допустимые концентрации) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_{хл}) [21, 22];

- ОДУ (ориентировочные допустимые уровни) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [23, 24];

2) гигиенических требований:

- общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования (некоторые показатели этих требований в обиходе нередко также называют ПДК) [91];

- нормативы качества воды родников [92];

3) рыбохозяйственных нормативов:

- ПДК вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) [65];

- показатели состояния рыбохозяйственных водных объектов [26];

- общие требования к составу и свойствам воды водных объектов рыбохозяйственного значения [60].

Как показывает практика, сложившаяся в нашей стране система оценки состояния поверхностных вод, основанная на указанных выше нормативах и требованиях, не всегда позволяет получить информацию, объективно оценивающую качество природных поверхностных вод, экологическое состояние водных объектов и реальную степень техногенного воздействия на водные экосистемы. Использование для указанных целей гигиенических нормативов не всегда оправданно из-за их, если можно так сказать, антропоцентристской направленности, поскольку они оценивают состояния природных вод с точки зрения возможности их утилитарного использования человеком (для питьевых, хозяйственно-бытовых, рекреационных и т. п. целей). Рыбохозяйственные нормативы в большей степени направлены на обеспечение сохранения водных биоресурсов [69, 74]. Именно поэтому их

нередко рассматривают в качестве одной из важных составляющих системы природоохранного нормирования. Однако практически все действующие ныне нормативы ПДК_{рх} химических веществ не соотнесены с категориями водных объектов рыбохозяйственного значения – высшая, первая и вторая, которые различаются как по гидрометрическим и гидрологическим характеристикам, так и по химическому составу воды и биологическим показателям состояния водных экосистем. Величины (значения) ПДК_{рх} определяются в лабораторных условиях в краткосрочных (дни) и хронических (недели) опытах на изолированных популяциях организмов, которые принадлежат к небольшому числу тестовых видов; по ограниченному набору ответных реакций на воздействующие факторы. Экстраполяция разработанных в лабораторных условиях ПДК_{рх} на реальные условия водных объектов не всегда обоснована. При разработке нормативов ПДК_{рх} отсутствуют критерии перехода от модельных лабораторных тест-систем к природным водным объектам, в связи с этим практически невозможно учесть сочетанное воздействие разных веществ воде водного объекта. Показательную историю рассказал С.А. Патин (в свое время возглавлявший Комиссию по водной токсикологии), произошедшую в 1980-х гг. Указанная Комиссия рассматривала проекты ПДК_{рх} и представляла их к утверждению в качестве официальных нормативов. «Однажды случилось так, что два уважаемых учреждения случайно и независимо друг от друга представили отчеты с обоснованием ПДК для одного и того же вещества. Оказалось, что предложенные величины ПДК отличались в 1000 раз (!)» [70, с. 151]. Существенным (а возможно и самым главным) недостатком сложившейся системы оценки качества вод и экологического состояния водных объектов является тот факт, что используемые для этих целей нормативы, включая рыбохозяйственные, устанавливаются, за редким исключением, как единые для всей территории страны и совершенно не учитывают региональные и тем более локальные природные особенности водных объектов и их водосборных бассейнов [119]. Именно поэтому в последние годы ставится вопрос о необходимости разработки так называемых региональных показателей ПДК, учитывающих реально существующую региональную природную неоднородность химического состава поверхностных вод, обусловленную природными факторами и явлениями [4, 52, 61, 78, 101].

Больше того, требование установления нормативов качества окружающей среды, в том числе качества поверхностных вод, с учетом природных особенностей поставлено Федеральным законом «Об охране окружающей среды», 2002 г. (п. 2. ст. 21) [97]. В соответствии с Водной стратегией РФ на период до 2020 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р (разделы 4, 5, 6), предусматривается разработка экологически ориентированных (природоохранных) нормативов качества окружающей среды с учетом целевого состояния водных объектов и механизмов учета факторов формирования регионального фоновое состояние водных объектов [11]. Согласно поручению Президента РФ от 06.12.2010 г. № Пр-3534 по реализации Послания Президента РФ Федеральному Собранию от 30.11.2010 г. (п. 15), в основу нормирования воздействий на окружающую среду должны быть положены экологически ориентированные нормативы качества окружающей среды, учитывающие природное состояние и естественные особенности конкретных территорий, в том числе, водных объектов. В рамках Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах», утв.

постановлением Правительства РФ 19.04.2012 г. № 350 (разделы III, IV), должна быть реализована система мер для обеспечения практического применения принципов экологического нормирования с учетом природных особенностей, индивидуальных характеристик и целей использования водных объектов.

**Природные особенности водных объектов и их водосборных бассейнов
как основа разработки нормативов для оценки экологического состояния
и интенсивности загрязнения поверхностных вод**

В соответствии с ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 21), нормативы качества окружающей среды устанавливаются для оценки ее состояния в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов [97]. При установлении нормативов качества окружающей (в том числе водной) среды учитываются природные особенности территорий и акваторий, назначение природных объектов и природно-антропогенных объектов, особо охраняемых территорий, в том числе особо охраняемых природных территорий, а также природных ландшафтов, имеющих особое природоохранное значение.

Приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695 утверждены «Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [60]. В этом документе (раздел 7) установлено, что разработка нормативов ПДК вредных веществ в водах должна осуществляться с учетом природных особенностей водного объекта. Это положение распространяется на:

- химические элементы, встречающиеся в природных водах отдельных геохимических провинций в относительно повышенных или пониженных концентрациях;

- техногенные аналоги природных веществ, сброс которых требует учета типа принимающего водного объекта и особенностей водосборной территории (это вещества, способные повышать сапробность и евтрофность вод, т. е. легко утилизируемые органические соединения и соединения биогенных элементов, изменять солевой режим (минерализацию) и pH природных вод, изменять концентрацию взвешенных минеральных веществ природного происхождения, а также соединения и комплексы гуминовых кислот).

Как уже было отмечено, установленные ныне в России ПДК_{рх}, претендующие на роль природоохранных (экологических) нормативов (нормативов качества поверхностных вод), принимаются как единые нормативы для всей обширной и чрезвычайно разнообразной в природном отношении территории нашей страны, т. е. разработаны без учета природных особенностей водного объекта и его водосборной территории и, соответственно, не отвечают требованиям ФЗ «Об охране окружающей среды», как и Указаний Росрыболовства.

Основные научно-методические пробелы и практические недостатки существующей системы рыбохозяйственного нормирования качества поверхностных вод, их неудобства и даже негативные последствия для систем мониторинга, оценок состояния водных объектов, разработки проектных документов, обоснования норм вредного воздействия на водные объекты, планирования хозяйственной и иной деятельности, принятия управленческих решений и т. п. в той или иной степени рассмотрены в научной и методической литературе [14, 18, 29–31, 35, 36, 50,

53, 81–83, 96, 105, 106, 109]. В указанных публикациях приведены многочисленные примеры, когда оценки состояния поверхностных вод (их химического загрязнения), основанные на использовании ПДК_{рх} (как и ПДК_{хп}), особенно при расчетах различных комплексных показателей качества вод, просто не соответствовали реалиям – чаще всего они были чрезвычайно завышенными (в худшую сторону); приводятся также другие факты, раскрывающие условность и недостатки существующей системы нормирования качества поверхностных вод с использованием ПДК, анализируются методические ошибки и погрешности в операциях экспериментального определения ПДК. Использование ПДК, единых для огромных территорий, без учета региональных (и, возможно, даже локальных) особенностей формирования химического состава природных вод повсеместно искажает реальную ситуацию и приводит к ненужным материальным затратам (в частности, соответствующие системы мониторинга и контроля в такой ситуации априори и вынужденно выдают заведомо неточную информацию).

Например, для оценки загрязненности воды водных объектов (результаты которой приводятся в официальных документах различных ведомств и служб) в быв. СССР и сейчас в России широко используется так называемый удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [80]. При расчетах УКИЗВ (как и других комплексных показателей) в качестве нормативов («эталонов») используют ПДК вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов и водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (наиболее жесткие, т. е. минимальные, значения ПДК из совмещенных списков указанных нормативов, каковыми для большинства ингредиентов являются ПДК_{рх}). Анализ соответствующих документов показывает, что приводимые в них оценки загрязненности поверхностных вод далеко не всегда объективны и очень часто не отражают реально существующей ситуации. Например, согласно [32], основными загрязняющими веществами поверхностных вод практически на всей территории Советского Союза в 1981–1985 годах являлись медь, цинк, железо, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅), фенолы, соединения азота. Именно эти показатели и составляли основу ингредиентов, которые использовались при расчете УКИЗВ и других комплексных показателей состояния вод, что, в конечном счете, и предопределяло якобы высокий и даже очень высокий уровень загрязнения поверхностных вод на значительной территории страны. Аналогичная ситуация наблюдается и для других периодов времени, в том числе и для современной России. В то же время хорошо известно, что во многих регионах России (а тем более быв. СССР) фоновые (т. е. природные, естественные) содержания в поверхностных водах меди, железа, цинка, фенолов, нередко соединений азота и некоторых других химических веществ заметно (часто на порядок) превышают ПДК_{хп} и ПДК_{рх}. При этом, что важно, каких-либо заметных функциональных отклонений (например, по гидробиологическим данным) в состоянии экосистем таких водных объектов не наблюдалось. Тем не менее, по значениям УКИЗВ воды этих водных объектов (нередко на значительных и даже огромных по площади территориях) относились к категории вод с высоким и очень высоким уровнем загрязненности, что (с учетом неоднозначности значений нормативов ПДК, особенно рыбохозяйственных) явно не соответствует реально существующей ситуации. В свою очередь, фоновые уровни содержания целого ряда химических элементов и природные значения некоторых гидрохимических показателей многократно ниже существующих нормативов, что также совершенно не

учитывается при оценках качества и интенсивности загрязнения поверхностных вод. Особое внимание следует обратить на тот факт, что на значительной территории России поверхностные природные воды обладают минерализацией на один-два порядка ниже, чем установленные нормативные уровни.

С этой точки зрения показательны следующие факты. Так, установленные к настоящему времени (на большом фактическом материале) средние (глобальные и региональные) содержания многих химических элементов и их соединений в различных видах природных вод свидетельствуют о том, что они, с одной стороны, незначительно отличаются и даже превышают действующие ныне ПДК_{рх} (табл. 1). В частности, значения глобальных параметров распределения в природных водах Al, Mn, Zn, Cu, Mo, V, Hg превышают (нередко существенно) установленные ПДК_{рх}, что явно свидетельствует об условности последних. С другой стороны, глобальные и региональные параметры распределения целого ряда химических элементов и соединений существенно ниже (на один – два порядка) их ПДК_{рх}, что также вызывает большие сомнения относительно адекватности последних. Это, в частности, относится к некоторым главным ионам, а также к Sr, B, Li, J, Cr, Rb, Zr, Sn, Cs. Так, например, ПДК цезия установлена в 1000 мкг/л, тогда как его среднее содержание в речных водах оценивается примерно в 0,02–0,03 мкг/л, в морской воде ~ 0,5 мкг/л, и только в редких типах термальных вод и рассолов его концентрации могут достигать 200–500 мкг/л и совсем редко – порядка 2000 мкг/л. Содержание цезия в попутных нефтяных водах достигает 360 мкг/л [13]. Считается, что при таких содержаниях цезия и при наличии соответствующей технологии добыча его из нефтяных вод может быть рентабельной. Таким образом, ПДК_{рх} цезия практически в три раза выше уровня его промышленной кондиции. Формально можно сбрасывать в любой водоем (где концентрации цезия составляю около 0,03 мкг/л) любые воды с «промышленным» содержанием цезия в 999 мкг/л, с чем вряд ли можно согласиться.

Не менее показательны сравнение требований ОСТ 155.372-87 [68] с существующими ПДК_{рх}. Указанный отраслевой стандарт определяет общие требования и наиболее характерные показатели качества воды, поступающей на рыболовные хозяйства, устанавливает технологические нормы и доступные границы их изменения с целью поддержания оптимальных условий среды при интенсивном выращивании рыбы, распространяется на качество вод рыбоводных хозяйств, занимающихся выращиванием карпа и монокультур, карпа и растительноядных рыб, форели. Можно, очевидно, считать, что данный стандарт определяет требования к экологическому состоянию водного объекта, обеспечивающего нормальное функционирование его экосистемы. Согласно стандарту, вода водосточника рыбоводного хозяйства должна удовлетворять следующим требованиям: отвечать нормам, в основе которых лежат сохранность вида, плодовитость и качество потомства рыбы; отвечать биологическим особенностям выращиваемых видов рыб; обеспечивать необходимый уровень развития естественной кормовой базы рыб; не должна быть источником заболеваний разводимых рыб; обеспечивать выращиваемой рыбе товарные качества, предотвращая накопления опасных токсикантов или возбудителей заболеваний, либо веществ, портящих вкус или придающих рыбе неприятный запах (таблица 2, 3). Как видим, значения ряда нормативных показателей качества воды прудовых хозяйств заметно превышают существующие ПДК_{рх}, чего, очевидно, просто не должно быть.

Таблица 1

Средний химический состав природных вод

Показатель	Подземные воды зоны выщелачивания [107]				Воды зоны гипергенеза, среднее [107]	Речные воды [121]	Речные воды [25]	Реки Московской области [90, 114]	ПДК _{рх} (в пересчете на элемент) [65]
	многолетней мерзлоты	умеренного климата	горных областей	среднее					
pH	6,53	6,82	7,23	6,75	6,90	-		7,86	6,5-8,5
мг/л									
SO ₄ ²⁻	4,05	18,2	20,3	12,4	70,7	11,2		15	100
Cl ⁻	4,67	15,9	12,7	10,1	59,7	7,8		10	300
NO ₃ ⁻	0,31	2,13	2,26	1,56	2,40	1,0		2	40 (9)
F ⁻	0,19	0,26	0,25	0,23	0,48	0,10	0,10	0,201	+0,05 (≤ 0,75)
NO ₂ ⁻	0,03	0,10	0,20	0,10	0,19	-		0,079	0,08 (0,02)
Na ⁺	6,64	23,8	13,8	13,8	67,6	6,3	6,9	12,5	120
Ca ²⁺	16,8	38,3	37,8	27,4	39,2	15	15	68,2	180
Mg ²⁺	5,56	16,5	14,5	11,2	18,2	4,1	3,9	17,3	40
K ⁺ *	0,83	2,74	1,55	1,84	5,15	2,3	2,1	1	50
NH ₄ ⁺	1,09	0,52	0,37	0,52	0,59	-		0,5	0,5 (0,4)
мкг/л									
Fe	328	689	429	424	481	670	40	206	100
Al	216 **	165	236	190	226	400	50	-	40
Sr	20,8	185	102	88,7	183	50	50	-	400
B	20,2	55,9	27,9	35,4	77,9	10	18	20	500
Mn	12,7	59,2	22,7	34,3	54,5	7,0	10	27,8	10
Zn	22,4	42,8	18,4	30,3	41,4	20	20	28,5	10
Ba	9,09	25,3	14,1	14,4	18,3	10	40	24,1	740
Ti	4,09	8,82	11,6	6,96	17,4	3,0	3	6,4	60
Li	4,08	10,7	7,73	6,20	13,0	3,0	2,5	2	80
J	2,19	5,59	4,25	6,00	8,02	7,0	70	-	400
Cu	2,44	4,85	4,06	4,00	5,58	7,0	7	7,6	1
Ni	1,84	3,45	2,22	3,11	3,58	0,3	2,5	5,5	10
Cr	2,34	2,83	3,71	2,78	3,03	1,0	1	1,25	70+20 ***
Pb	1,52	3,10	2,04	2,18	2,97	3,0	1	2,17	6
Rb	1,42	2,55	1,06	1,81	1,86	1,0	2,0		100
Mo	0,78	0,89	1,34	1,16	1,75	1,0	1,0	0,5	1
As	0,86	1,64	1,51	1,34	1,46	2,0	2	0,43	50
V	0,64	1,28	0,91	1,01	1,34	0,9	1	1,38	1
Zr	1,13	1,51	0,85	1,16	1,20	-	2,6	0,8	70
Se	-	0,64	0,57	0,45	0,72	0,2	0,2	0,13	2
Co	0,29	0,34	0,28	0,33	0,39	0,2	0,3	0,3	10
Sn	0,29	0,44	0,32	0,35	0,39	0,5	-	-	112
Cs	-	-	0,48	0,18	0,26	0,02	0,03	-	1000
Cd	-	0,15	0,25	0,20	0,24	-	0,2	0,13	5
Be	0,05	0,24	0,19	0,16	0,19	-	-	0,13	0,3
Hg	-	0,044	0,0383	0,0411	0,0411	0,07	0,07	0,049	0,01
W	-	-	-	-	-	-	0,03	0,1	0,8

* При минерализации менее 100 мг/л ПДК калия = 10 мг/л.

** Здесь и далее в таблицах жирным шрифтом выделены значения, достигающие или превышающие уровень ПДК_{рх}; для фосфатов приводятся наиболее «жесткие» значения ПДК_{рх}.*** Cr³⁺ + Cr⁶⁺.

Таблица 2

Общие требования к воде, поступающей в прудовые хозяйства, мг/л [68]

Показатель	Карповые хозяйства, летние пруды	Форелевые хозяйства, летние пруды	Зимовальные комплексы	Инкубационные цеха	ПДК _{рх}
рН	6,5-8,5	7,0-8,0	6,5-8,0	7,0-8,0	6,5-8,5
ПО *	15	10	10	10	5
ХПК	50	30	-	-	15
БПК ₅	3	2	3	2	2
БПК _{полн}	4,5	3	4,5	3	3
N-NH ₄ ⁺	1,0	0,5	1,0	0,75	0,4
N-NO ₂ ⁻	0,02	0,02	0,00n	-	0,02
N-NO ₃ ⁻	2,0	1,0	-	-	9
PO ₄ ³⁻	0,5	0,3	-	-	0,05
Fe _{общ}	1,8	0,1	0,3	0,1	0,1

* Здесь и далее – перманганатная окисляемость.

Таблица 3

Требования к воде прудовых хозяйств (допустимые значения), мг/л [68]

Показатель	Карповые	Карповые и в поликультуре	Форелевые	ПДК _{рх}
ХПК	-	30	65	15
БПК ₅	15	20	8	2
N-NH ₄ ⁺	-	0,5	0,3	0,4
N-NO ₂ ⁻	-	0,2	0,1	0,02
N-NO ₃ ⁻	-	3,0	1,0	9
PO ₄ ³⁻	-	0,5	0,3	0,05

Очень показательна ситуация, изученная в 2003 г. в условиях природной геохимической аномалии в бассейне р. Ичи, которая берет свое начало в отрогах центральной части Срединного хребта полуострова Камчатки, протекает по территории Соболевского района Камчатского края и впадает в Охотское море [54]. Длина реки – около 233 км. Скорость течения 0,5–2,0 м/с. Глубина в нижнем течении 1–3 м, ширина 50–100 м, глубина в среднем течении 0,8–2 м, ширина 20–40 м. Температура воды 5–7°C. Площадь её водосборного бассейна – 4530 км². Ича имеет около 20 притоков. В р. Иче постоянно обитают микижа, голец, кунджа; река является местом нереста лососёвых (сюда на нерест заходят чавыча, нерка, кета, горбуша, кижуч). В данном районе (в западных отрогах Срединного Камчатского хребта, в средней части северного склона горного массива Верхняя Тхонжа между р. Ича и её правым притоком Шануч) располагается крупное и подготовленное к освоению Шанучское кобальт-медно-никелевое месторождение. Участки рек Ича и Шануч, а также некоторые ручьи, примыкающие к территории месторождения, являются нерестовыми и относятся к высшей рыбохозяйственной категории.

Оценка состояния водотоков территории Шанучского месторождения меди, кобальта и никеля осуществлялась по геохимической обстановке на водосборе (растительность и почва), химическому составу воды и донных отложений, количественным и качественным характеристикам зообентоса и ихтиофауны [54]. Авторы цитируемой работы исходили из положения, что в противоположность районам с техногенным источниками загрязнения, где водные организмы и экосистемы эволюционно не адаптированы к повышенным концентрациям элемен-

тов, в водотоках, дренирующих зоны природных геохимических аномалий, ситуация может быть иной. Довольно часто на фоне повышенного содержания элементов, которые превышают нормативы, не наблюдается видимых нарушений в развитии организмов и сообществ, и экосистемы функционируют достаточно устойчиво, демонстрируя различные механизмы адаптации к химическому воздействию. Отличия таких биогеоценозов от формирующихся в условиях «нормального» геохимического фона могут выражаться в ином видовом составе или структуре сообщества, а также в специфических приспособлениях, реализуемых на популяционном и организменном уровнях. Исследованиями авторов цитируемой работы [54] установлено, что в воде водотоков бассейна р. Ичи отмечены превышения ПДК_{рх} химическими элементами (таблица 4).

Таблица 4

Химические элементы в поверхностных водах бассейна р. Ичи, мг/л [54]

Водоток, место	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	P
Ралли (исток)	-	0,1769	0,0044	0,0073	0,0017	0,037	0,0254
Ралли (устье)	0,0989	1,0090	0,098	3,981	0,0073	0,0529	0,0667
Тройной (исток)	-	0,1837	0,0064	0,0074	0,0071	0,0372	0,0291
Тройной (средняя часть)	-	0,2067	0,0061	0,0094	0,0043	0,05	0,034
Тройной (устье)	-	0,2134	0,0055	0,0089	0,0072	0,0424	0,028
Саматкин Ключ	0,001	0,0142	0,0046	0,0100	0,0047	0,0015	-
ПДК _{рх}	0,010	0,001	0,01	0,01	0,06	0,01	0,016*

* Рассчитано по фосфатам.

В соответствии с установленными особенностями геохимического фона на водосборах изученные ручьи располагаются в закономерную последовательность [54]. В ряду Саматкин Ключ – Тройной – Ралли во всех компонентах природной среды (растения, почвы, донные отложения и вода) наблюдается последовательное увеличение концентрации отдельных элементов. В воде этих ручьев превышение ПДК наблюдается по 1, 4 и 7 элементам соответственно. Содержание основного рудообразующего элемента – меди – последовательно возрастает. В соответствии с гидрохимическим природным фоном меняются видовой состав, численность и биомасса водных организмов. Если руч. Ралли в нижнем течении безжизнен, то в руч. Тройном показатели биологической продуктивности увеличиваются, достигая почти фоновых значений в руч. Саматкин Ключ. Интересно, что в руч. Саматкин Ключ и Тройной, несмотря на высокие содержания некоторых элементов, многократно превышающих ПДК (содержания меди, например, в 14–213 раз), обитают организмы макрозообентоса и постоянно держится молодь лососевых рыб, а в руч. Саматкин Ключ, кроме того, заходят на нерест лососи. Важно отметить, что указанные высокие концентрации целого ряда тяжелых металлов и фосфора, судя по всему, стабильны во времени и пространстве. По мнению авторов цитируемой работы, отсутствие видимых отклонений в состоянии экосистем этих ручьев позволяет предположить наличие пока плохо изученных механизмов их функционирования в условиях повышенных содержаний элементов. Такие территории существуют длительный период времени, и сформировавшиеся здесь наземные и водные экосистемы можно рассматривать в качестве поставленного природой «эксперимента», демонстрирующего адаптационные возможности и пределы устойчивого функционирования экосистем. Отмеченная ситуация, судя по всему, достаточно типична для камчатских рек. Характерный пример приводит Г.П. Яроцкий [112]. Так, вода ручья Малахитового, водосбор которого расположен на западных склонах Среднего массива Камчатки, отличалась очень высокими концентрациями меди. Ручей впол-

не оправдывает свое название. Например, геологический молоток, оставленный на ночь в ручье, утром блестел как золотой от отложившейся на нем меди. Тем не менее, несмотря на экстремально высокие уровни в воде ручья меди, геологи здесь ловили вполне здоровых гольцов. Более того, данный ручей впадает в лососевую нерестовую речку (без каких-либо катастрофических экологических последствий для ее экосистемы).

Таким образом, приведенные выше даже немногочисленные примеры однозначно свидетельствуют о важности учета региональных особенностей формирования химического состава природных вод при разработке природоохранных (экологически обоснованных) нормативов качества поверхностных вод, необходимых для адекватной оценки не только состояния, но и интенсивности загрязнения водных систем. Безусловно, при разработке таких нормативов качества воды поверхностных водных объектов и при их оценках состояния необходимо учитывать реально и закономерно существующую естественную пространственную (региональную) неоднородность состава поверхностных вод в пределах нашей страны, неоднородность, существование которой обусловлено спецификой проявления природных факторов и явлений (зональных, региональных, локальных) формирования химического состава поверхностных вод.

Основные факторы формирования природной региональной неоднородности химического состава поверхностных вод

Существование региональной неоднородности химического состава природных вод является следствием важнейшей особенности строения, «основного проявления» биосферы – ее геохимической гетерогенности (мозаичности) [8]. Согласно сформулированному В.И. Вернадским эмпирическому обобщению, химический состав биосферы в разных местах земной поверхности закономерно различен и теснейшим образом связан с геологическим характером местности, с ее литологическим составом, со сгущениями разных форм жизни; живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. С геохимической точки зрения любые естественные образования – природный компонент, геологическое тело, ландшафт, экосистема – определяются, прежде всего, своим элементарным химическим составом, т. е. характерным только для них количественным распределением химических элементов. В полной мере это относится и к природным водам. Например, в своей фундаментальной «Истории природных вод» В.И. Вернадский приводит классификацию природных вод, насчитывающую 485 минералов группы воды, распределяющихся в 139 семейств, в свою очередь собирающихся в 39 подцарств, которые распределяются в 19 царств [9]. В подцарстве наземных (поверхностных) вод ученый выделил 16 семейств и 64 вида вод, различающихся химическим составом. Общее же число видов вод, по его мнению, должно быть увеличено до 1500.

Факторы, определяющие формирование природного химического состава поверхностных вод, традиционно разделяют на две основные группы [1, 2, 64, 100]. К первой группе относят так называемые прямые факторы, непосредственно воздействующие на воду, – горные породы, почвы, живые организмы, атмосферные осадки и сухие осаднения (непосредственно выпадающие на водную поверхность). Ко второй группе относятся косвенные факторы, определяющие условия, в которых протекает взаимодействие веществ с водой, – климат, рельеф, водный режим, растительный покров, гидрогеологические и гидродинамические условия и др. По характеру воздействия природные факторы, влияющие на формирование состава вод, подразделяются на физико-географические (геоморфологические, климатические, почвенно-растительные и почвенно-геохимические, выветрива-

ние), геологические (вещественный состав и геохимическая специализация горных пород, тектоническое строение, гидрогеологические условия, металлогенические особенности), физико-химические (химические свойства элементов, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, смешение вод, катионный обмен), биологические и биогеохимические (деятельность живых организмов). Важнейшее значение для формирования химического состава вод водных объектов имеет характер их питания (дождевое, снеговое, ледниковое, подземное, озерное, их соотношение в пространстве и во времени), генетические типы (склоновые, почвенные, грунтовые воды) и генетические категории вод (атмосферные, поверхностно-склоновые, почвенно-поверхностные, почвенно-грунтовые, грунтовые и т. п. воды), участвующие в питании рек и обладающие характерными особенностями химического состава вследствие ландшафтных и иных различий водосборов [3, 15, 110]. Для большинства названных факторов характерны пространственное (локально-региональное) разнообразие проявления и неоднородность степени участия в формировании химического состава поверхностных вод. Для многих факторов типична широтная зональность и(или) высотная поясность, т. е. соответственно закономерное изменение физико-географических процессов, компонентов и комплексов природных систем в широтном направлении и закономерная смена природных условий и ландшафтов в горах по мере возрастания абсолютной высоты. Важную роль в формировании геохимической неоднородности биосферы и особенно состава природных вод играют такие локальные факторы, как месторождения полезных ископаемых (особенно рудных и горнохимического сырья), минеральные источники, карстовые явления и т. п.

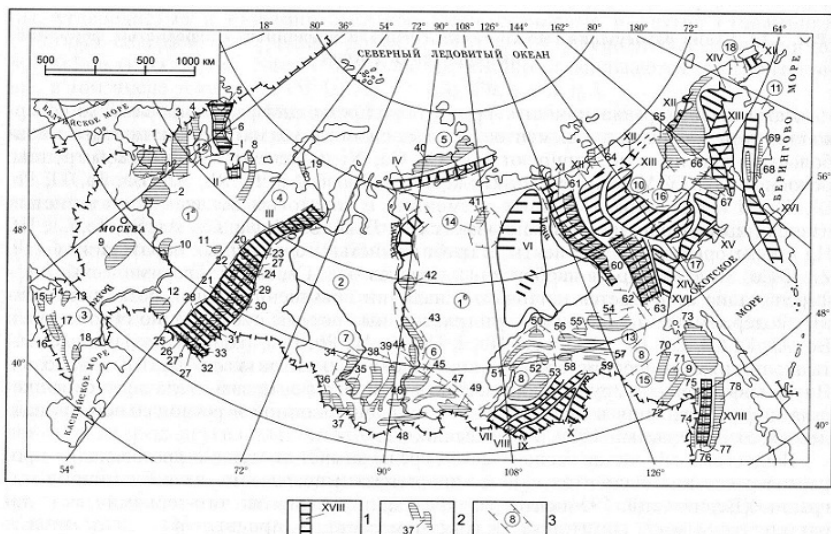
В конечном счете все это определяет их разную роль и разную степень проявления в формировании химического состава поверхностных вод, априори определяя его пространственную (регионально-локальную) неоднородность. Следует отметить, что природная неоднородность строения территории России очень хорошо проявляется уже в глобальном масштабе (в макромасштабе). Так, в пределах территории нашей страны встречаются почти все основные типы структурных элементов земной коры: древние и молодые платформы, разновозрастные складчатые пояса, области, системы и террейны, пассивные и активные окраины континентов с островными дугами и краевыми морями [45]. В пределах России располагаются Восточно-Европейская и Сибирская эпидокембрийские платформы, Урало-Монгольский эпипалеозойский складчатый пояс, северо-западная часть Тихоокеанского складчатого пояса и небольшой отрезок самой внешней зоны Средиземноморского складчатого пояса. Достаточно выраженная сложность пространственного геолого-тектонического строения нашей страны определяет существенное разнообразие геохимических особенностей и гидрогеологических условий в пределах ее территории. Показательно, что основным тектоническим структурам соответствуют трансрегиональные и региональные геохимические неоднородности аномальных геохимических полей. В целом в пределах территории нашей страны выделяются семь типов трансрегиональных тектонических структур – кристаллические щиты, древние и молодые платформенные плиты, различные складчатые области общим числом 26, охватывающие в совокупности 135 геодинамических комплексов, дифференцированные по геохимическим типам (составу геохимических ассоциаций), мозаичность, неоднородность распределение которых на территории Российской Федерации наглядно отражает карта геохимической специализации структурно-вещественных (геодинамических) комплексов России [75]. Все это и предопределяет пространственную пестроту литогеохимической основы ландшафтов нашей страны [20] и формирование в ее

пределах разнообразных ландшафтно-геохимических провинций и геохимических ландшафтов [71–73].

В пределах территории России выделяются фрагменты семи геохимических мегапровинций [49, 75]. В геохимическом отношении они весьма неоднородны. Геохимические провинции отвечают плитам, щитам и покровно-складчатым областям и характеризуются чертами геохимической индивидуальности. Даже аномальные поля провинций с аналогичной геотектонической позицией (кристаллические щиты, платформенные плиты, складчатые области) обычно геохимически различаются [75]. Особенностью аномальных полей геохимических провинций кристаллических щитов является доминирование в них халькофильных элементов. На Балтийском щите главные элементы халькофильной группы представлены Cu, а на Алдано-Становом – Au, Ag. Ведущие литофильные элементы в обеих провинциях представляют U и Mo, а сидерофильные – в первой – Ni, а во второй – Cr. Из геохимических провинций платформенных плит наиболее близки между собой Скифская и Западно-Сибирская геохимические провинции молодых платформ. Их преимущественно сидеролитофильные аномальные геохимические поля характеризуются практически одним составом – U, Sr, Ti, Zr. Для Западно-Сибирской провинции характерно еще и широкое развитие полей Mn и Co, а для Скифской геохимической провинции – Y и Yb. К ним, в плане доминирования U, Sr, Zr, Ti, близка Восточно-Европейская геохимическая провинция, но в ней также широко распространены и поля Cu, Zn, P, Mo, Mn. Существенно отличаются аномальные поля Тимано-Баренцевоморской и Центрально-Сибирской платформенных провинций. Первая провинция приурочена к молодой платформе и в ней доминируют поля Cr, Mn и Ni. Вторая геохимическая провинция соответствует древней платформе, испытавшей интенсивную тектономагматическую активизацию, и характеризуется широким развитием аномалий Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Ti, Cr, V. Из геохимических провинций складчатых областей, широкое развитие аномальных полей Pb, Zn, Cu сближает Кавказскую, Уральскую, Пайхой-Новоземельскую и Алтае-Саянскую провинции. Кавказская и Уральская геохимические провинции относятся к аккреционно-коллизионным областям, но в Кавказской провинции по распространённости аномальных полей вслед за халькофильными элементами следуют литофильные (W, Mo), а в Уральской геохимической провинции – сидерофильные (Ni, V, Co, Cr, Mn). В Пайхой-Новоземельской геохимической провинции коллизионной области сидерофильные и литофильные поля угнетены. Аномальное поле Алтае-Саянской геохимической провинции аккреционно-коллизионно-активноокраинной области наиболее комплексно. В нем список халькофильных элементов дополняют Ag и Au, и широко распространены поля литофильных (Mo, W) и сидерофильных (Mn, Co) элементов. Для складчатых областей восточной части страны характерны лито- и халькофильные поля. Доминированием аномалий Au, Pb и Zn характеризуются Байкало-Витимская, Монголо-Охотская и Колымо-Омолонская геохимические провинции. Из них Байкало-Витимская и Монголо-Охотская геохимические провинции приурочены к аккреционно-коллизионно-активноокраинным областям, а Колымо-Омолонская – к аккреционно-коллизионной. Литофильные поля в первых двух провинциях представлены Mo, U и W, а в последней – Sn, W и Mo. Близкий состав полей с доминированием Au и Ag объединяют Охотско-Чукотскую и Хоккайдо-Сахалинскую геохимические провинции аккреционно-коллизионно-активноокраинных областей. Но в первой распространены аномальные поля Pb и Zn, а во второй – Hg и Cu. Литофильная составляющая обеих геохимических провинций представлена Sn, W и Mo. Преобладание литофильных полей является общим для Буреинско-Цзямусинской и Сихотэ-Алинской провинций аккреционно-коллизионно-

активноокраинных областей, Верхояно-Колымской и Чукотской провинций коллизионных областей и Курильской островодужной провинции. В Буреинско-Цзямусинской геохимической провинции они представлены Sn, U и Be, в Сихотэ-Алинской геохимической провинции – Sn, W и Mo, в Верхояно-Колымской и Чукотской геохимических провинциях – Sn и W, а в Курильской геохимической провинции – Mo. Халькофильная составляющая в Буреинско-Цзямусинской геохимической провинции представлена, в основном, полями Ag, а в других провинциях – Au, Ag, Cu, Pb, Zn. Ярво выраженной халькофильной специализацией выделяется Корьякско-Камчатская геохимическая провинция аккреционно-коллизивно-активноокраинной области. Ведущая роль в ней принадлежит аномальным полям благородных (Ag, Au) и цветных (Cu, Zn, Pb) металлов. Геохимические провинции во фрактальном ряду сменяют области и мегазоны – неоднородности регионального уровня. Структура аномального геохимического поля на этом уровне значительно усложняется, а выделенные объекты характеризуются более ярко выраженной геохимической и металлогенической специализацией. Это можно видеть на примере Балтийской провинции. Выделяемые в составе ее интегрального аномального геохимического поля Кольская (Mo, U, Cu, Cr, Ni, Co, Mn, Zn, Ag) и Карельская (Cu, Cr, Ni, Mn, Mo, U, V) области достаточно отчетливо специализированы: первая – на литофильные элементы, а вторая – на сидерофильные. Эта тенденция продолжается в аномальных полях мегазон, зон и рудных районов. Выделенные в Кольской области Ловозерская и Печенгская мегазоны, становятся еще более геохимически специализированными. Из них Ловозерская мегазона приобретает литофильные свойства, а Печенгская – преимущественно, сидерофильные.

Пространственные неоднородности геологического строения и геохимической специализации горных пород, ландшафтно-геохимическая, почвенно-геохимическая и климатическая дифференциация территории страны обуславливают формирование в ее пределах своеобразных природных регионов, получивших название провинций – геохимических, биогеохимических, гидрогеохимических и т. п. Необходимо отметить, что точные определения и принципы выделения указанных территорий обоснованы все еще недостаточно четко; отсутствует их номенклатура (перечень) для территории нашей страны, не установлены четкие пространственные границы. Напомним, что геохимические провинции – это крупные геохимически однородные области с определенной ассоциацией химических элементов, близкие по размерам к металлогенетическим, петрографическим, гидрогеологическим и другим провинциям. Геохимическое своеобразие провинции в этом случае устанавливается специальными исследованиями, с помощью различных геохимических показателей (региональные кларки элементов, кларки концентрации, парагенные ассоциации элементов и др.) [17]. Еще раз отметим, что характерная особенность геохимических провинций – повышенная концентрация в них так называемых «типоморфных» химических элементов. Так, для Кавказа типоморфны медь, молибден и отчасти цинк и свинец. В Приморье типоморфно Sn, на Северо-Востоке России – Sn и Au, на Урале – Fe [17]. В пределах провинции горные породы одного типа обладают выдержанными статистическими параметрами, в первую очередь содержания одного или нескольких рассеянных элементов. Среднее содержание ряда элементов в однотипных породах разных геохимических провинций может сильно различаться. Важно отметить, что химический состав этих пород, определяемый содержанием главных (петрогенных) элементов, остается одинаковым или имеет очень слабые отличия. Важнейшие геохимические провинции, выделяемые в пределах России, приведены на рисунке 1.



I – провинции: *I* – Центральнокольская (Cu, Ni, Pb, Zn, TR); *II* – Архангельская (Zn, Co, Ni, Cr, Mn, Zr, TR, Ti); *III* – Уральская (Cu, Pb, Zn, Au, Fe, Ni, Mo); *IV* – Бырангская (Ba, Ni, Pb, Zn, Cu); *V* – Курейско-Норильская (Cu, Ni, Co); *VI* – Якутская (Cr, Ni, Co, Ti); *VII* – Джидинско-Чернышская (F, Mo, Sn); *VIII* – Могоча-Ингодинская (Au, W, Mo); *IX* – Шилка-Агинская (Sn, W, Mo, Au); *X* – Приаргунская (Pb, Zn, Au, Hg);

XI – Верхоянская (Au, Pb, Zn, Hg); *XII* – Полоусно-Чуноская (Sn); *XIII* – Индигирско-Колымская (Au, Sn); *XIV* – Охотско-Чукотская (Ag, Au); *XV* – Тайгоносско-Анадырская (Cu, Mo); *XVI* – Корякско-Камчатская (Au, Ag, Hg, Cu); *XVII* – Южно-Верхоянская (Au, Pb, Zn, Cu, As); *XVIII* – Сихотэ-Алинская (Sn, W); 2 – зоны: 1 – Ладжеская (Zn, Pb, Ni, Cu, Ba); 2 – Белозерская (Nb, Zr, Co, Ni, Ba); 3 – Онежско-Карельская (Cu, Co, Ni, Mo, Zn, Au); 4 – Кулойярви-Панаярвинская (Au, Cu, Pb, Zn); 5 – Печенго-Варзугская (Cu, Ni, Pb, Zn); 6 – Ловозерско-Хибинская (Zr, Nb, Mo, TR); 7 – Восточно-Беломорская (Zn, TR, Zr, Co, Ni, V, Ti); 8 – Канинско-Тиманская (Pb, Zn, Cu, Au, As); 9 – Верхнеохская (Ag, Mo); 10 – Ветлужская (Zr, Ti, Sn); 11 – Вятско-Камская (Au, Pt); 12 – Самарская (Ag, Cu, Sr, Mo); 13 – Среднедонская (Au); 14 – Южно-Краснодарская (Hg, P, Mn); 15 – Туапсинская (Hg); 16 – зона Главного хребта (Mo, W); 17 – зона Передового хребта (Cu, Zn, Pb); 18 – Дагестанская (Hg, Mo); 19 – Полярно-Уральская (Ba, Zn, Pb, Cu); 20 – Красновисерско-Ксенофоновская (Cu, Ba, Pb, Zn); 21 – Шаквинско-Красноуфимская (Cu, Co, Li, Sr); 22 – Троицко-Серебрянская (Mo, W, Cu, Ba); 23 – Мойвинско-Кутимская (Au, Cu, Sn, Pb, Zn); 24 – Лобвинско-Красноуральская (Au, Cu, Fe); 25 – Белебеевская (Cu); 26 – Зилаирская (Cu, Zn, Pb); 27 – Тагилло-Магнитогорская (Cu, Zn); 27а – Халиловско-Гайская (Cu, Zn, Pb, Ni); 28 – Магнитогорская (Fe, Ti, Cu); 29 – Арамилская (Cu, Au, Pb); 30 – Алапаевско-Сухоложская (Au, Cu, Pb, Zn); 31 – Пластовско-Кочкарская (Au, Fe); 32 – Кумакская (Au, Cu); 33 – Бургутальская (Ni, Co, Cu, Pb, Zn); 34 – Колывань-Томская (Sn, Be, Mo); 35 – Салаирская (Pb, Zn, Mo); 36 – Рудноалтайская (Zn, Pb, Cu); 37 – Алтайская (Mo, Zn); 38 – Бия-Урусская (Au, Cu, Pb, Mo); 39 – Сисимо-Козырьская (Au, Sn, Sb, Mo); 40 – Таймырская (Mo, Au, Cu); 41 – Прианбарская (Au); 42 – Курейско-Северореченская (Ni, Co, Cu); 43 – Тейско-Питская (Au, Ag, Pb, Zn, As, TR); 44 – Ангарская (Pb, Zn); 45 – Мана-Сисимская (Au, Pb, Zn, Mo); 46 – Джебашская (Au, Pb); 47 – Приколбинская (Mo, Sn, Nb, TR); 48 – Верхнеенисейская (Cu, Pb, Zn); 49 – Присянская (Pb, Zn, Cu, Au); 50 – Патомско-Бодайбинская (Au); 51 – Мама-Витимская (Sn, Mo, W); 52 – Олокетско-Музейская (Cu, Ni, Co); 53 – Амалат-Витимская (Mo, Sn, Pb, Zn, Cu); 54 – Алданская (Au); 55 – Чугинская (Mo); 56 – Северо-Становая (Au, Mo); 57 – Южно-Становая (Y, Yb, Mo, Au, P); 58 – Удоканская (Cu); 59 – Джелтулакская (Au, TR, Mo, Cu); 60 – Западно-Верхоянская (Au, Pb, Zn, Hg); 61 – Восточно-Верхоянская (Au, Hg); 62 – Сетте-Дабанская (Pb, Au, Zn, Cu, Ag); 63 – Алаха-Юньская (Au, As); 64 – Чокурдахская (Sn); 65 – Нижнеколымская (Au); 66 – Центральночукская (Au); 67 – Омоленская (Au); 68 – Корякско-Западно-Камчатская (Au, Ag, Hg, Cu); 69 – Олоторско-Восточно-Камчатская (Hg, Zn, Pb, Au, Ag); 70 – Бурейская (Sn, Mo); 71 – Балджальско-Верхнеамурская (Sn, Mo, W, Pb, Zn); 72 – Хингано-Охотская (Sn, Mo, Hg); 73 – Нижнеамурская (Au); 74 – Хакайская (F, Sn, Au, Pb); 75 – Западно-Сихотэ-Алинская (Sn, Pb, Cu); 76 – Центральная (Sn, W); 77 – Главная (Sn); 78 – Прибрежная (Pb, Zn); 3 – главнейшие региональные тектонические подразделения (номера их – цифры в кружках): 1–2 – древние платформы (1^а – Русская, 1^б – Сибирская; 2 – Западно-Сибирская плита); 3–11 – складчатые системы, геолого-структурные провинции (3 – Северо-Кавказская; 4 – Уральская; 5 – Таймырская; 6 – Енисейско-Саянская; 7 – Алтае-Саянская; 8 – Забайкальская; 9 – Сихотэ-Алинская; 10 – Верхоянско-Чукотская; 11 – Корякско-Камчатская); 12–14 – докембрийские складчатые области (цифры) (12 – восточная часть Балтийского щита; 13 – Алданский; 14 – Анабарский); 15–18 – срединные массивы (15 – Буренский; 16 – Колымо-Омоленский; 17 – Охотский; 18 – Чукотско-Анадырский)

Рис. 1. Схема районирования аномального геохимического поля России [63].

Хорошо известно, что химический состав организмов неизбежно меняется в зависимости от состава окружающей среды, однако состав организмов стабильнее (нежели окружающей среды), благодаря регуляторным процессам гомеостаза, являющимся адаптацией к жизни в изменчивой среде [42]. Поэтому организм способен существовать не только в пределах поля существования жизни, но и в пределах так называемого поля устойчивости жизни [7]. В зависимости от химического состава среды могут изменяться обмен веществ и приспособляемость организмов к геохимическим условиям. Это, в сущности, и позволило А.П. Виноградову [10] ввести понятие о биогеохимических провинциях, которые представляют собой области на поверхности Земли, существенно отличающиеся от соседних областей уровнями содержания химических элементов (их дефицитом или избытком) в горных породах, почвах, природных водах (рис. 2).

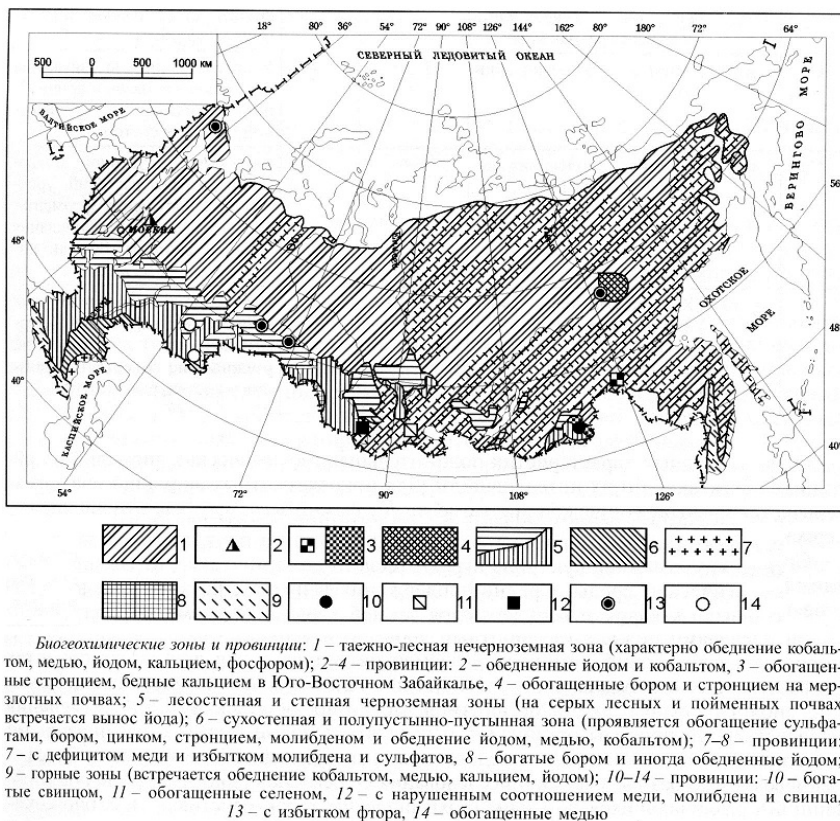


Рис. 2. Схематическая карта биогеохимического районирования России.
По В.В. Ковальскому (1974) с изменениями [63].

Собственно концепция биогеохимических провинций – в развитие идей В.И. Вернадского – была сформулирована А.П. Виноградовым в 1930-х гг. и получила дальнейшее развитие в работах В.В. Ковальского и его последователей [116, 118]. В пределах биогеохимических провинций проявляются так называемые биогеохимические эндеми, т. е. массовые заболевания живых организмов, обусловленные дефицитом или избытком какого-либо химического элемента (или группы элементов). Например, при недостатке кобальта, меди, йода, селена у людей и животных развиваются эндемический зоб, акобальтозы, атаксия, миопатия (включая беломышечную болезнь животных). При избытке урана, стронция, молибдена, свинца, фтора, меди, никеля, селена проявляются хондродистрофии, флюороз и другие заболевания. При высоком содержании бериллия в почвах у животных возникает бериллиевый рахит, стронция – стронциевый рахит, при недостатке кальция и фосфора – остеопороз и др. заболевания костей, марганца и железа – хлороз (у растений). В соответствии с генезисом биогеохимические провинции подразделяются на природные, природно-техногенные и техногенные. Формирование природно-техногенных биогеохимических провинций нередко обусловлено интенсивной эксплуатацией подземных вод для питьевого водоснабжения, что сопровождается развитием депрессионной воронки и изменением гидродинамических и геохимических условий в подземных горизонтах. Это способствует обогащению питьевых вод фтором, что определяет развитие у населения флюороза. Происхождение техногенных биогеохимических провинций связано с образованием в техногенных ландшафтах зон загрязнения, характеризующихся наличием устойчивых ассоциаций химических элементов или синтетических соединений в различных компонентах окружающей среды. Биологические последствия, характерные для таких территорий, в ряде случаев непредсказуемы, поскольку могут проявляться не только в нарушении жизненных функций данного поколения организмов, но в изменении генетического кода. Территориально биогеохимические провинции могут быть региональными и субрегиональными, зональными и азональными. Зональные биогеохимические провинции развиты в пределах почвенно-климатических зон. Например, для зон подзолистых и дерново-подзолистых почв Северного полушария, простирающихся через всю Европу, характерны биогеохимические провинции, связанные с дефицитом йода, кобальта, меди, кальция и др. элементов, что обусловлено их повышенной подвижностью в подзолах. Подобные биогеохимические провинции с характерными для них эндеми (зоб, акобальтоз, ломкость костей у животных и т. п.) не встречаются в соседней черноземной зоне. Азональные (встречающиеся практически в любой природной зоне) биогеохимические провинции, особенно с избытком химических элементов, формируются в районах рудных месторождений, солевых отложений, вулканов, в зонах техногенного загрязнения. Так, борные биогеохимические провинции и эндеми (среди флоры и фауны) обнаружены в бессточных областях; флюороз человека и животных – в окрестностях вулканов, месторождений флюорита, в районах с высоким содержанием фтора в природных водах; кариес зубов – в регионах с недостатком фтора в питьевых водах. В концепции биогеохимических провинций существенны два момента [34]: 1) признание очевидной гетерогенности химического состава биосферы (живого вещества и геохимической среды); 2) исключительно важная биохимическая и функциональная роль химических элементов (микроэлементов) в жизнедеятельности организмов. Следует отметить, что гидрохимия поверхностных водных объектов биогеохимических провинций, особенно в локальном отношении, изучена слабо. Тем не менее установлено, что они характеризуются своеобразными гидрохимическими обстановками, что обуславливает различия в особенностях миграции и уровнях содержания в водах различных химических элементов (табл. 5).

**Классы и типы возможных биогеохимических провинций
(в скобках – классы вод) [72]**

Классы возможных биогеохимических провинций	Типы возможных биогеохимических провинций
S – с сильноокислыми водами	S ₁ – с сернокислыми водами S ₂ – с солянокислыми водами
W – с кислыми и кислыми глеевыми водами (кислые и слабокислые кислородные; сильноокислые глеевые)	W ₁ – с водами, не обогащенными растворимым органическим веществом (кислые и слабокислые кислородные) W ₂ – с водами, богатыми растворимым органическим веществом (кислые и слабокислые кислородные; сильноокислые глеевые)
V – с нейтральными и слабо щелочными водами (нейтральные и слабощелочные кислородные)	V1 – с пресными водами (нейтральные и слабощелочные кислородные) V2 – с солоноватыми и солеными водами (нейтральные и слабощелочные кислородные)
F – с сильнощелочными (содовыми) водами (сильнощелочные кислородные)	

Поверхностные воды, развитые в пределах России, в общем случае характеризуются разнообразием условий распространения, формирования ресурсов и химического состава в гидрогеологических структурах различного порядка и строения (артезианские бассейны, гидрогеологические складчатые области и массивы). Гидрогеологические структуры крупных порядков соответствуют геолого-тектоническим структурам, мелких – геоморфологическим элементам рельефа. К настоящему времени, исходя из результатов изучения состава подземных вод и общих геохимических предпосылок, достаточно надежно установлено, что на территории нашей страны в результате природных процессов формируются региональные гидрогеохимические провинции подземных вод с повышенными содержаниями нормируемых химических элементов [46–48]. Гидрогеохимическая провинция представляет собой территорию, объединяющую комплекс водоносных горизонтов артезианских бассейнов или гидрогеологических массивов, подземные воды которых имеют повышенные (по отношению к ПДК_{хп}) природные (фоновые) концентрации нормируемых химических элементов и веществ [46]. Для таких гидрогеохимических провинций характерны: 1) высокий уровень фоновых концентраций нормируемых химических элементов, приближающийся по своим значениям к ПДК_{хп} или превышающий его; 2) высокая частота встречаемости (>50%) в подземных водах их концентраций, превышающих ПДК_{хп}. Распространение гидрогеохимических провинций подчинено зональности гидрогеологических структур и геохимическим особенностям горных пород и подземных вод. Существует определенная совокупность естественных процессов, формирующих определенные гидрогеохимические провинции.

Важнейшими природными процессами, формирующими некондиционные пресные подземные воды, являются [37]: 1) увеличение концентраций основных макроанионов и макрокатионов их химического состава в результате растворения минералов водовмещающих отложений; 2) изменение эквивалентных соотношений макрокомпонентов, влияющих на миграционную способность нормируемых микрокомпонентов; 3) образование окислительно-восстановительных условий,

благоприятных для миграции нормируемых переменновалентных элементов. В общем случае были выделены гидрогеохимические провинции следующих химических элементов и соединений, формирование повышенных концентраций которых в подземных водах происходит главным образом вследствие природных взаимосвязей в системе «вода-порода» [46–48]: а) санитарно-токсикологических показателей качества питьевых вод: аммония, бора, бериллия, мышьяка, ртути, селена, стронция, фторид-иона; б) органолептических показателей качества питьевых вод: макро-анионов – сульфат- и хлорид-ионов, микрокомпонентов – железа и марганца. Кроме того, вышенормативными значениями в определенных условиях и регионах характеризуются обобщенные показатели состояния подземных вод – общая жесткость и перманганатная окисляемость, а также бромид-ион, кремний, литий, стронций, натрий.

Изученность гидрогеохимических провинций в настоящее время явно недостаточна. В частности, существует выраженная неравномерность изученности как собственно геохимии отдельных элементов в пресных подземных водах, так и самостоятельных гидрогеохимических провинций, которые формируют эти химические элементы [37, 46–48, 111]. В настоящее время выделяются следующие гидрогеохимические провинции (многие из них являются комплексными, т. е. в их подземных водах можно обнаружить высокие концентрации нескольких химических элементов) (рис. 3). Так, на ЕТР известна Прикаспийская гидрогеохимическая провинция сульфатно-хлоридных грунтовых вод. Гидрогеохимические провинции подземных вод с высокими содержаниями сульфатов и хлоридов распространены на территории Волго-Камского, Северо-Двинского, Восточно-Предкавказского артезианских бассейнов.

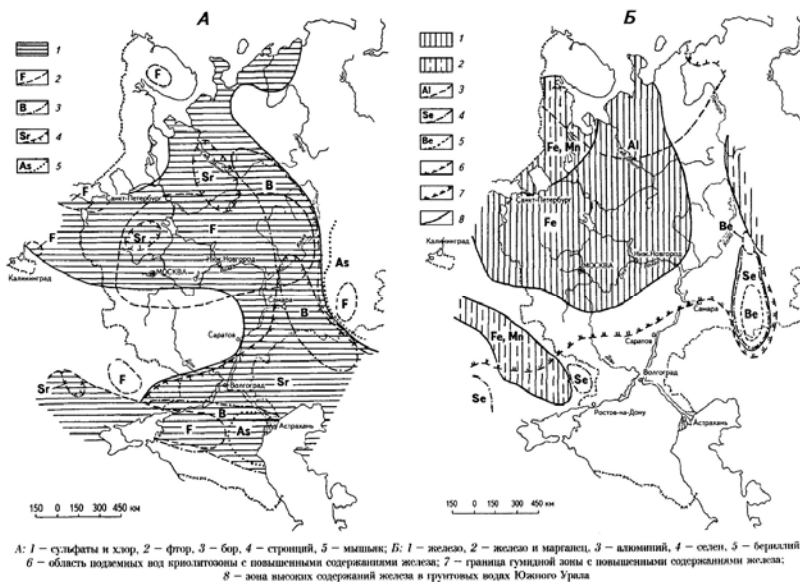


Рис. 3. Гидрогеохимические провинции подземных вод европейской части России и сопредельных территорий с повышенными (относительно ПДК_{хл}) содержаниями химических элементов [63].

Классическими провинциями фтороносных подземных вод являются Московская, Волго-Камская, Западно-Предкавказская, Предуральская, Азово-Кубанская, Южно-Уральская, Южно-Западносибирская, Якутская. В складчатых областях фторосными гидрогеохимическими провинциями являются Кольская, Южно-уральская, Тувинская, Забайкальская, Хинганская, Южноприморская. На территории России также установлены гидрогеохимические провинции пластовых и трещинно-жильных вод с высокими содержаниями мышьяка и бора. Типичной надо считать Восточно-Предкавказскую гидрогеохимическую провинцию боромышьяковых подземных вод. Бороносной гидрогеохимической провинцией является Предуральская, формирование которой связано с влиянием бороносных геохимических зон в пермских породах. В зоне гипергенеза и более глубоких горизонтах, включая артезианские бассейны и их склоны, ниже зоны окислительной геохимической обстановки, широким распространением пользуются железосодержащие подземные воды. Классической является Среднерусская гидрогеохимическая провинция железосодержащих подземных вод. Гидрогеохимические провинции с повышенными содержаниями Fe, Mn, NH_4^+ формируются в пределах гидрогеологических массивов, сложенных преимущественно изверженными и метаморфическими породами. Типичными являются гидрогеологические массивы Карелии, Урала и др. Гидрогеохимическая провинция грунтовых железосодержащих подземных вод занимает почти всю гумидную зону России с максимальными проявлениями в Мещере, Карелии, Архангельской и других областях севера европейской части России. Встречаемость концентраций железа, превышающих $\text{ПДК}_{\text{хл}}$, в водах этих регионов более 50%. Железосодержащие подземные воды распространены в пределах Уральской складчатой области, во многих районах Приморского и Хабаровского краев, во многих рудных районах (Большой и особенно Малый Кавказ, Алтай и др.). Особые гидрогеохимические провинции бескислородных подземных железо- и марганецсодержащих вод формируются в регионах многолетнемерзлых пород. Меж- и подмерзлотные напорные воды лишены кислорода, имеют низкий окислительно-восстановительный потенциал и, как следствие этого, содержат значительно превышающие $\text{ПДК}_{\text{хл}}$ концентрации железа, иногда марганца. Они занимают практически всю криолитозону. На территории европейской части России выделяется Уральская гидрогеохимическая провинция с повышенными содержаниями селена в грунтовых и напорных водах, а также Уральская бериллиевая гидрогеохимическая провинция. Повышенными концентрациями соединений азота, железа, марганца, органических веществ отличается четвертичные водоносные горизонты и комплексы Среднерусского артезианского бассейна (Московская, Тверская, Ярославская, Владимирская, Рязанская, Тульская, Калужская, Смоленская области). Важно отметить, что химический состав подземных вод зоны свободного водообмена (зоны, воды которой активно дренируются реками) по сравнению с другими глубокозалегающими подземными водами больше всего подвержен воздействиям, свойственным данной местности. Именно поэтому для общего химического состава вод зоны свободного отмечается широтная зональность, связанная с изменениями климатических условий и степени расчлененности рельефа при движении с севера на юг (рис. 4). Еще Г.Н. Каменский, исходя из указанных факторов и особенностей формирования грунтовых вод и их химического состава, выделил на территории СССР две зоны [41]: 1) Зона вод выщелачивания (и выноса солей), приуроченная к гумидным областям (областям избыточного увлажнения) с невысокими положительными среднегодовыми температурами. Грунтовые воды выщелачивания

формируются в условиях преобладания подземного стока над испарением. По мере движения с севера на юг изменяются глубина залегания грунтовых вод и их минерализация от очень пресных (больше 0,2 г/л) к пресным (до 1 г/л) и солоноватым (больше 1 г/л) в более южных районах. 2) Зона вод континентального засоления, приуроченная к аридным (засушливым) областям (сухие степи, полупустыни и пустыни), где выпадает малое количество атмосферных осадков, сравнительно высокие температуры и испаряемость. В этой зоне развиты преимущественно солоноватые и соленые воды, доходящие местами до рассолов.



Рис. 4. Схема зональности подземных вод в зоне свободного водообмена (по И.К. Зайцеву и М.П. Распопову) [2].

Для Европейской территории быв. СССР (ЕТС) в направлении с севера на юг В.С. Ильин выделял следующие зоны грунтовых вод [2]: 1) зона вод, очень близко залегающих к дневной поверхности и отличающихся высоким содержанием органических веществ и почти полным отсутствием минеральных солей; 2) воды севера, отличающиеся от предыдущих несколько большей глубиной залегания (2–6, редко 10 м); они содержат уже большее количество минеральных и меньше органических соединений; залегают на значительном пространстве ЕТС; 3) грунтовые воды зоны неглубоких оврагов, залегающие на больших глубинах (до 20–25 м); они отличаются большей минерализацией и утрачивают примесь органических веществ; в оврагах и речных долинах образуют обильные ключи, питающие реки; 4) воды глубоких оврагов; глубина залегания и минерализация их увеличиваются; отмечается пестрота минерализации; жесткость средняя; в оврагах и речных долинах обычны выходы ключей; 5) грунтовые воды овражно-балочной зоны, залегающие на глубине 50–60 м; минерализация их еще более сильная и нередко превышает 1 г/л; 6) зона причерно-

морских балок; грунтовые воды здесь залегают очень глубоко, иногда глубже 100 м, обычно очень жесткие, засолены или солоноваты; 7) грунтовые воды балочной зоны Причерноморской и Прикаспийской впадин; залегают местами близко к дневной поверхности, сильно засолены.

Из природных факторов, влияющих на формирование химического состава поверхностных вод, особое значение имеют климатические особенности территории, во многом определяющие источники питания и режим водного стока, засоленность почвенного покрова и состав почвообразующих минералов. Здесь уместно вспомнить слова В.И. Вернадского, утверждавшего, что «река в основной своей массе является функцией метеорной воды; основа ее состава, вечно меняющаяся, есть дождевая вода. Но затем она питается измененной родниковой водой (верховодкой) и той чрезвычайно важной водой, которая вносится в нее метеорной водой, падающей на сушу, выщелачивающей земную поверхность – почвенным раствором. Почвенные растворы бассейна реки определяют основную составную часть солевого состава речной воды... Главным механизмом, создающим солевой состав рек..., являются почвенные растворы, главным агентом в создании которых является жизнь» [9, с. 342]. Пестрота почвообразующих пород на территории и неоднородность их химического состава обуславливают наличие в одной и той же ландшафтной зоне грунтовых, а в свою очередь и речных вод, существенно различающихся по химическому составу. Так, источниками поступления железа в поверхностные воды являются продукты выветривания горных пород и разложения органических остатков болотной и лесной растительности. Максимальное содержание железа в период весеннего половодья связано с вымыванием его из минерализующихся растительных остатков. Причем, как правило, в годы с высоким весенним половодьем концентрации железа в воде ниже, чем в годы с низким половодьем. Причинами высокой окисляемости и перманганатной окисляемости являются большая залесенность водосбора реки и наличие в его пределах болот.

Территория России характеризуется большим разнообразием распространенных в ее пределах типов и подтипов ландшафта, что определяет разнообразие физико-географических условий водосборов и, соответственно, условия формирования химического состава поверхностных вод. В свою очередь, существование широтной зональности, во многом определяющей особенности проявления различных физико-географических и ландшафтно-геохимических процессов, обуславливает и зональное распределение такого важнейшего компонента природных вод, как органическое вещество (табл. 6, 7). Реки тундры, лесотундры, тайги и смешанных лесов, химический состав воды которых формируется в условиях достаточного увлажнения, богатой растительности, в районах распространения почв подзолистого и болотного типов, содержат много органических веществ, причем природные значения ПО (перманганатной окисляемости) здесь практически всегда в течение года превышают ее нормативный уровень ($= 5 \text{ мг О}_2/\text{л}$). Доминирующее значение гумусовых веществ почвенного происхождения в водах рек лесных зон обуславливает высокую степень их окисления перманганатом и в соответствии с этим – повышенные значения соотношения $O_{\text{perm}}/C_{\text{орг}}$. Часть органического вещества речных вод, особенно в аридных реках, плохо окисляется перманганатом (так называемый «светлый гумус»), меньшие значения соотношения $O_{\text{perm}}/C_{\text{орг}}$, меньше единицы. В этих районах возрастает влияние внутриводоемных процессов на формирование состава вод.

Таблица 6

Перманганатная окисляемость и содержание органического углерода в воде рек, находящихся в различных физико-географических условиях, мг/л [58] *

Широтная зона, тип высотной поясности	ПО			С _{орг}		
	поло- водье	зимняя и летняя межень	среднее годовое значение	поло- водье	зимняя и летняя межень	среднее годовое значение
<i>Широтные зоны:</i>						
тундра, лесотундра, тайга северная,	12,1	7,6	9,8	11,2	7,6	9,2
средняя, южная и смешанные леса	10,3	6,5	8,0	9,4	7,3	8,0
широколиственные леса и лесостепь	4,6	3,2	3,8	5,1	4,2	4,5
степь	-	-	2,5	-	-	3,2
полупустыня и пустыня						
<i>Типы высотной поясности:</i>						
тундро-таежные и лесо-луговые с	8,2	2,2	4,5	7,3	2,6	4,3
гольцами						
субтропического и пустынного поясов	-	-	1,5	-	-	2,3
ПДК _{рх}	5			-	-	-

* Здесь и в таблице 7 приведены средние для 60 исследованных пунктов данные за трех-летний период наблюдений (1971–1973 гг.).

Таблица 7

Внутригодовые изменения характеристик органических веществ в воде типичных рек различных природных зон, мг/л [58]

Широтная зона, тип высотной поясности	ПО			С _{орг}		
	половодье	летняя межень	зимняя межень	половодье	летняя межень	зимняя межень
Тундра	4,0	4,0	3,1	3,6	3,4	3,0
Тундрово-таежный	11,4	4,9	0,9	9,7	5,0	1,5
Тайга средняя	15,0	8,4	3,5	12,7	8,5	3,4
Тайга южная и смешанные леса	14,8	7,4	5,5	11,6	6,8	5,8
Степь	3,6	2,0	2,3	3,7	3,4	2,6
Полупустыня и пустыня	1,1	1,3	1,9	1,9	1,8	2,0

Физико-географические условия водосборов, в первую очередь климат, определяют характер питания рек и связанное с ним распределение стока в году и, во многом, гидрохимические особенности водотоков. Напомним, что на основе одновременного учета источников питания и режима М.И. Львович [55, 56] выделил на земном шаре 38 типов рек, из которых на территории России встречаются 17 типов, которые, в свою очередь, могут быть обобщенно представлены пятью климатическими типами рек.

1. Реки преимущественно снегового питания с весенним половодьем. К этому типу относится большая часть рек России: реки Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, Среднесибирского плоскогорья и значительной территории Северо-Востока. Половодье на всех этих реках связано с таянием снегового покрова, поэтому приходится на весну – начало лета. Чем южнее, тем раньше и тем дружнее тает снег, тем раньше начинается половодье; в северных регионах,

наоборот, половодье смещается на более поздние сроки и более растянуто во времени.

2. Реки ледникового питания с половодьем в теплую часть года. К этому типу относятся реки высокогорных ледниковых районов Кавказа, Алтая, Камчатки и др. Особенно сильно таяние ледников сказывается на водном режиме рек Кавказа: Терек с притоками Баксан, Малка и др. и Кубани. Это реки преимущественно ледникового питания. Талые воды ледников и вечных снегов составляют более половины их годового стока. Черты ледникового режима этих рек сохраняются до нижнего течения. В высокогорьях Алтая, в ледниковых районах хребтов Сунтар-Хаята и Черского, Камчатки для рек характерно преобладание ледникового питания (включая и высокогорное снеговое). Все реки данного типа имеют сток преимущественно летом, когда и происходит таяние ледников.

3. Реки районов муссонного климата с высокой водностью в теплую часть года. Этот тип характерен для Приморья и Приамурья. Влияние летнего муссона на режим рек проявляется в продолжительных и высоких летних паводках, сливающихся подчас в единую волну и в маловодности рек зимой. Так как снега зимой выпадает мало, а весной он частично испаряется, минуя жидкую фазу, весеннее половодье здесь невелико. Летние паводки (вторая половина лета – начало осени) связаны с муссонными дождями, которые бывают обложными и продолжительными. Дождевое питание обеспечивает 50-80% годового стока.

4. Реки районов многолетней мерзлоты с повышенной летней водностью. В бассейнах Яны и Индигирки, в горах Забайкалья и Прибайкалья преобладание дождевого стока обусловлено крайне малым количеством зимних осадков и незначительным снежным покровом, а также скудным грунтовым питанием из-за распространения многолетней мерзлоты. В северных и высокогорных районах снег тает при одновременном питании рек дождевыми осадками. Весь сток здесь проходит в течение кратковременного лета, а в остальную часть года реки очень маловодны или сток в них иссякает. В низкогорных районах Забайкалья таяние снега происходит весной, что обуславливает некоторое повышение водности рек. Сток рек этого типа за теплый период достигает 90–95% годового.

5. Реки с преобладанием дождевого питания и паводочным режимом. Эти реки распространены лишь на Черноморском побережье, в северных предгорьях Кавказа и в Калининградской области. Мощностъ снежного покрова здесь невелика, поэтому нет высокого половодья. Около половины годового стока (на Черноморском побережье более половины) формируется за счет дождей, вызывающих кратковременные, подчас высокие, паводки не только в теплый, но и в холодный период года.

Важную роль в формировании химического состава поверхностных вод, особенно в регионально-локальном плане, играют выходы минеральных вод и месторождения различных полезных ископаемых, особенно рудных месторождений. В последнем случае значение имеют металлогенические факторы, т. е. факторы, управляющие распределением во времени и пространстве рудоносных комплексов рудных формаций и месторождений. Как известно, объектами металлогенического анализа являются разномасштабные участки земной коры – от планетарных металлогенических поясов до отдельных месторождений определенного вида полезного ископаемого [51, 57]. Л.Н. Овчинников [67] предложил следующую систематику металлогенических объектов (табл. 8). Предметом исследований региональной металлогении являются конкретные закономерности размещения полезных ископаемых в первых пяти классах металлогенических объектов – в глобальных, регио-

нальных металлогенических поясах и провинциях, металлогенических областях и зонах. Металлогеническая провинция – часть земной коры в пределах щитов и платформ или возникающая на месте складчатых областей; объединяет разнообразные взаимосвязанные рудоносные площади – металлогенические зоны, блоки и пр. [51]. Говоря проще, металлогенические провинции – это области со значительным числом рудных месторождений, обладающих генетическим родством. Названия провинций обычно географические (например, Забайкальская золото-молибден-вольфрамовая, Воронежская никеленосная и т. п.). Металлогения рудных узлов и районов основное внимание уделяет изучению вопросов структурного контроля в размещении полезных ископаемых.

Таблица 8

Систематика металлогенических объектов [67]

Класс	Объект металлогенического исследования	Площадь, км ²
I	Планетарный металлогенический пояс	$n \cdot 10^7$
II	Металлогенический пояс, провинция	$n \cdot 10^{6-7}$
III	Металлогеническая область, система	$n \cdot 10^5$
IV	Структурно-металлогеническая зона	$n \cdot 10^{4-5}$
V	Металлогеническая зона, блок	$n \cdot 10^{3-4}$
VI	Рудная зона, район	$n \cdot 10^{2-3}$
VII	Рудный узел	$n \cdot 10^2$
VIII	Рудное поле	$n \cdot 10$
IX	Месторождение	$n \text{ км}^2$
X	Рудное тело	$n \cdot 10^{0,1-0,5}$

Специфика состояния окружающей среды в районах рудных месторождений в общем случае зависит от геолого-геохимических особенностей последних, проявляющихся различием ассоциаций химических элементов в миграционных цепях, формирующих природные (рудогенные) геохимические аномалии [88, 89, 113, 115, 118]. Степень экологической опасности природных миграционных цепей определяется видом, минералого-геохимическим классом и минеральным типом полезного ископаемого, коэффициентом рудоносности, интенсивностью проявления первичных ореолов, характером эрозионного среза рудных полей и месторождений, ландшафтно-геохимическими условиями развития ореолов и потоков рассеяния. В потенциале практически любое рудное месторождение представляет собой комплексный источник химического загрязнения окружающей среды, что в существенной мере связано с присутствием повышенных концентраций широкого комплекса химических элементов в рудах и вмещающих горных породах. Комплексность месторождений как источников загрязнения проявляется также в разнообразии охватываемых химическим загрязнением природных компонентов. Основными источниками загрязняющих веществ в горнорудных районах являются руды и рудовмещающие породы, в которых формируются первичные геохимические ореолы, причем пространственные размеры последних и количество (масса) заключенных в них химических элементов, как правило, превышают параметры рудных тел, вокруг которых они образуются. В состав первичных ореолов входят как главные рудные компоненты, определяющие промышленный тип месторождения, так и ряд сопутствующих химических элементов (табл. 9, 10). Необходимо отметить, что геохимические ассоциации, характерные для руд и первичных ореолов, в качественном отношении изучены недостаточно полно, так

как ориентированы главным образом на перечень элементов, используемых в качестве индикаторов при поисках месторождений. Еще Н.И. Сафронов [93] указывал на присутствие (в повышенных количествах) в первичных ореолах постмагматических месторождений практически всех 58 главных рудообразующих и сопутствующих элементов. Исследования Э.Н. Баранова [5] показали, что, например, в рудах колчеданных месторождений, помимо основных рудообразующих элементов (Fe, S, Cu, Zn, Pb, Ba), постоянно присутствуют в повышенных концентрациях элементы-примеси (Au, Ag, As, Sb, Cd, Hg, Bi, Sn, Se, Te, Ge, Ga, Tl, In, Mo, Co). Ореолы образуют также элементы-примеси вмещающих пород (Mn, Ni, V, Cr, Ti, Sc, Sr) и элементы широкого рассеяния (J, Br, Cl, F). В увеличенных количествах в окислительных измененных породах могут находиться и породообразующие элементы (K, Na, Ca, Mg, P). Аналогичная полиэлементность состава установлена для ореолов многих других типов месторождений. Первичные и вторичные ореолы рассеяния золоторудных месторождений плутонических и вулканогенных формаций отличаются высокими концентрациями аммония [102].

Таблица 9

Геохимические ассоциации элементов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений и сопровождающих их ореолах рассеяния [28]

Тип месторождения	Геохимическая ассоциация
Апатитовые	P-Sr-Ce-La-Y-Yb-Zr-Nb-Mo-Pb-Ba-Sn-Ni-Co-Zn-Cr-V-Sc-Ga-Mn
Кимберлиты	Co-Ni-Cr-Pb-Zn-Ag-Cu-B-Mo-Sn
Редкометалльные пегматиты	Li-Pb-Cs-Nb-Sn-Ta-W-Be-As
Медно-никелевые	Cu-Ni-Co-Ba-Pb-Zn-Ag-Bi-Sn-Be-W-Zr
Медно-колчеданные	Ba-Ag-Pb-Cd-Zn-Bi-Cu-Co-Mo
Железорудные в скарнах	Mn-Pb-Cu-Zn-Ni-V-Sn-Sr-B-Zr-Mo-Co-Fe-Ti-Cr-Y-Sc
Вольфрам-молибденовые в скарнах	Ba-Ag-Pb-Zn-Sn-Cu-W-Mo-Co-Ni-Be-V-Y
Висмутовые в скарнах	As-Pb-Ag-Zn-Co-Cu-Bi-Ni
Оловорудные	Sn-Pb-As-Cu-Bi-Zn-Ag-Mo-Co-Ni-W
Полиметаллические в скарнах	Sb-Cd-Ag-Pb-Zn-Cu-Ni-Bi-Co-Mo-Sn-W-Be
Золоторудные	Au-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Mo-Cu-Bi-Co-Ni-W-Be
Медно-порфировые	Ba-As-Sb-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Cu-Mo-Sn-Co-W-Be
Медные	Ba-As-Pb-Zn-Ag-Sn-Cu-Bi-Co-Ni-Mo
Медно-молибденовые	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Полиметаллические	Ba-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Cu-Bi-Mo-Co-Sn-W
Урановые	U-Ag-Pb-Zn-Cu-Mo-Co-Ni-Y
Сурьмяно-ртутные	Sb-Hg-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Be-Co-Ni-W-Sn
Ртутные	Hg-Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co-Ni-Sn-Mo-W
Стратиформные свинцово-цинковые	Ba-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-Be-V
Медистые песчаники	Cu-Ag-Pb-Ba-Bi-W-Cr-Zn-Mo

**Перечень ассоциаций наиболее распространенных элементов-спутников
различных руд [66]**

Главный металл	Элементы-спутники
Fe	Mn-Ti-V-Co-Pt-Cu-Zn-S-P-As-Pb-Ga-Ge-B-Ni-Cr
Cu	Au-Ag-Se-Ti-Re-Co-Mo-Pb-Zn-Ge-Cd-In-As-Sn-Bi-Hg-Ni
Pb	Zn-Cu-Sn-Ag-Au-Bi-Sb-As-Se-Tl-Cd-In-Ge-Ga-Hg-Co-Ba
Zn	Pb-Cu-Sn-Ag-Bi-Sb-As-Tl-Se-Te-Ge-Au-Co-Cd-Ni-In-Hg-Ba-Ga
Ni	Co-Cu-Pt-Pd-Ir-Rh-Os-Ru-Au-Ag-Se-Te
Sn	Cu-Pb-Bi-Ag-Hg-Ta-Nb-In-Sc-W-Se-Tl-As-Zn-Co-Cd-Mo
Al	V-Ti-Ga-Cr-Mn-P-F-Nb-Zr-La-As-U-Th
Ti	V-Cu-Co-Pb-Zn-Cr-Mn-P
Mo	W-Sn-U-Cu-Zn-Pb-Re-Mn-Ge-Te-Se-Tl-In-As-Sb-Bi-Ag-Au-Co-Cd-Hg-Th Gd-Yb-Y-Ce-Sm-Eu-Nd-La-Ni-Nb-Ta
W	Mo-Mn-Bi-Au-Cu-Zn-As-Pb-Tl-Se-Ag-Sc
Ta, Nb	W-Sn-Li-Be-Zr-Cs-Rb-In-Sc-Hg-Ag-Bi-Pb-Cu
Mn	Fe-Cu-Ni-Co-V-Cr-P-Pb-Zn-As-Ba-Ag-Sb
Cr	P-Ni-V-Co-Mn-Ti

Особую группу потенциальных поллютантов составляют различные органические соединения, присутствующие в рудах и рудовмещающих породах. Так, практически во всех гидротермальных рудных образованиях, независимо от характера вмещающих пород и типа руд, присутствуют полициклические ароматические углеводороды. Они обнаружены в рудах и минералах полиметаллических, золоторудных, ртутных, ртутно-сурьмяных, ртутно-вольфрамовых, оловорудных, флюоритовых, пегматитовых месторождений [6, 18, 76]. Органические соединения обнаружены более чем в 80 видах твердых полезных ископаемых. Всего к настоящему времени в рудах различных месторождений выявлено свыше 120 индивидуальных органических соединений.

В разрезе зоны гипергенеза рудных месторождений четко прослеживается дифференциация ассоциаций химических элементов в зависимости от характера вертикального профиля коры выветривания, типа вмещающих пород и степени концентрации сульфидов [87]. Сравнение интенсивности процессов перераспределения элементов в горизонтах окислительного типа для следующего ряда вмещающих пород: силикатные (кремнистый тип коры выветривания) – алюмосиликатные (глинистый тип коры) – карбонатные (карбонатно-глинистый тип коры) показывает, что для руд и первичных ореолов существуют контрастные и однонаправленные тенденции в изменении характера перераспределения типоморфных элементов. В породах кремнистого состава при выветривании часто наблюдается резкая дифференциация в поведении химических элементов. Многие из них здесь очень миграционно подвижны и энергично выносятся (Zn, Co, Cu, Cd, Se – почти всегда, Pb, As – часто, но особенно при обилии пирита). Другие элементы (Mo, Ag, Ba) иногда накапливаются (с гидрооксидами железа). В породах алюмосиликатного состава подвижность многих химических элементов уменьшается в связи с появлением сорбционного барьера. В условиях выветривания рудовмещающих пород даже Zn часто становится малоподвижным. В основном энергично выносятся только лишь аниогенные элементы (Se, Te). Однако уменьшение подвижности элементов наблюдается далеко не всегда, поскольку оно обусловлено временными соотношениями между процессами образования глини-

стых минералов и окислительным разрушением сульфидов. В породах карбонатно-глинистого состава тенденция уменьшения подвижности элементов проявлена особенно контрастно. Даже в условиях выветривания относительно богатых руд большинство химических элементов ведет себя сравнительно инертно.

В результате природных гипергенных процессов происходит разрушение рудных месторождений, обуславливающее перераспределение вещества руд и первичных ореолов в окружающем пространстве и приводящее к образованию вторичных геохимических ореолов (в почвах и рыхлых отложениях) и потоков рассеяния (в донных отложениях водотоков), которые часто блокируются в сбlijженные серии, характеризующие оруденение рудных полей, узлов и районов [88, 113, 115, 117]. Обычные площади рудных полей колеблются от единиц квадратных километров до 20 км², в редких случаях достигая нескольких десятков квадратных километров. Площади месторождений в среднем на порядок меньше площадей рудных полей, а площади рудных тел - на порядок меньше площади месторождений. Площади аномальных геохимических полей, соответствующие потенциальным рудным полям, в среднем составляют 15–80 км² (изменяясь в пределах 8–180 км²). Минимальные площади (8–40 км²) характерны для аномальных геохимических полей грейзеновых, пегматитовых, кварцево- жильных рудных полей месторождений W, Au, Sb, Hg, Sn, а максимальные (10–180 км²) – для колчеданных, медно-порфировых, стратиформных и жильных полиметаллических, медно-никелевых, урановых, сурьмяно-ртутных. В большинстве случаев состав аномальных геохимических полей, как правило, комплексный с преобладанием одного или нескольких основных рудообразующих элементов, которые наиболее широко распространены не только в центральных, но и в периферических частях выделяемых геохимических полей. Менее контрастные, но относительно большие по размерам аномальные поля образуют химические элементы и соединения широкого рассеяния (ртуть, галогены, щелочные металлы, битумы). Например, площадь рудного поля одного из сульфидных месторождений составляет 250 км², из них на 120 км² концентрации Pb, Cu, Zn, Co, Mo в почвах превышают фоновые значения в 5–10 раз и на площади 25 км² – более чем в 10 раз. Для другого крупного региона развития сульфидно-касситеритовых месторождений по поисковым геохимическим данным выявлены три типа аномалий с весьма токсичным комплексом элементов в ассоциации: Hg, Pb, As, Zn, Cu, Sn, Sb, Mn. Площадь геохимических аномалий в почвах составляет почти 5000 км², причем концентрации Pb достигают 0,1–0,5%, Hg – 0,001%, что многократно выше ПДК. Рудные месторождения характеризуются присущими им гидрогеохимическими полями, в структуре которых различают области развития рудных вод (ареал) и ореольных вод (ореол) [27, 43, 44]. Рудные воды формируются в непосредственной близости от рудного тела и характеризуются, как правило, незакономерным и неупорядоченным по отношению к потоку подземных вод пространственным распределением рудных компонентов. Ореольные воды представляют часть гидрогеохимического поля за пределами источника рассеивающего вещества, внутри которого в соответствии со структурой потока происходит закономерное уменьшение концентраций элементов (пространство от границы рудных вод до фоновых). Гидрогеохимические поля рудных месторождений, рудные и ореольные воды практически всех известных типов рудных месторождений характеризуются повышенными концентрациями достаточно широкого комплекса макро- и микроэлементов, содержания которых могут заметно превышать фон (табл. 11, 12).

Таблица 11

**Комплекс элементов, присутствующих в аномальных концентрациях
в гидрогеохимических полях некоторых рудных месторождений [43]**

Месторождение	Специфические элементы в водах	Полный комплекс элементов в водах
Уран-редкометалльное	U-Sn	Al-Ti-V-Ga-Zr-Y-Yb-Be-Mo-F-Cl-Na-Cu-Zn-As-Sn
Кварц-золотое	Au-Ag	Ti-V-Ga-Zr-Be-Cu-Zn-Fe-Mn
Кварц-касситеритное	Sn	Al-Ti-V-Ga-Y-Yb-Mo-As-Zn
Урановое	U	Ti-V-Zr-Mo-F-Y-Zn
Касситерит-вольфрамитовое	Sn-W	Ti-V-Ga-Y-Be-Mo-Zn-Cu
Касситерит-шеелит-вольфрамитовое	Sn-W-Bi	Al-Ti-V-Ga-Zr-Sc-Cu
Касситерит-вольфрамитовое	Sn-W	Al-Ti-V-Ga-Zr-Be-Yb-Zn-Cu
Титано-магнетитовое	Ti-Fe-Cr-V	Al-Ga-Mg
Золотосеребряное	Au-Ag-K	Zn-Cu-As-Al-Ti-V-Ga-Y-Yb-Be
Сульфидные медно-никелевые	Co-Ni-Fe	Zn-Cu-As-Ti-Al-V-Ga-Cr-Mg

Таблица 12

**Химические элементы в рудных и ореольных водах близповерхностных
золотосеребряных гидротермальных вулканогенных месторождений Северо-
Востока и Д. Востока России, мкг/л [43]**

Компонент	Рудные воды	Ореольные воды	Фоновые воды	ПДК _{рх}
Серебро	до 5	0,07	0,01	(50) *
Цинк	10-30	0,3-0,5	< 0,1	10
Медь	1-5	$n \times 10^{-1}$	0,1-0,2	1
Мышьяк	1-10	1-2	0,5	50
Марганец	20-100	25-30	1-3	10
Кобальт	1-5	0,5	< 0,5	1
Сульфат-ион	20000- 100000	12000-16000	1000-2000	100000
Титан	100-500	100-200	20- 70	60
Алюминий	1000-10000	3000	100-300	40
Бериллий	0,1-1	0,1-0,2	< 0,1	0,3
Ванадий	0,5-3	0,5	< 0,5	1
Калий	1500-2000	до 2000	100-400	10000 / 50000

* В скобках приведены значения ПДК_{хл}.

Обычно протяженность гидрогеохимических ореолов (в подземных водах) и потоков рассеяния (в поверхностных водных объектах), формирующихся в окрестностях рудного месторождения, относительно невелика и составляет в пределах придолинного ландшафта первые сотни метров, реже 1–2 км, в пределах приводораздельных ландшафтов гумидного климата – 0,5–3 км, иногда до 5–8 км; в условиях аридного климата – не превышает 0,5–2 км (табл. 13). Материалы, систематизированные В.В. Поликарпочкиным [77], свидетельствуют о том, что протяженность рудогенных потоков рассеяния химических элементов в поверхностных водотоках изменяется от первых сотен метров до первых километров, иногда до 13–17 км. Естественно, что при размещении в пределах водосбора реки нескольких месторождений и рудопроявлений геохимические ореолы и потоки рассеяния (водные и в донных отложениях) могут иметь соответственно достаточно значительную площадь и протяженность.

Таблица 13

**Основные гидрогеохимические признаки рудных месторождений Якутии
(по В.М. Макарову, цит. по [43])**

Месторождения	Прямые признаки	Косвенные признаки	Характеристика ореолов и потоков рассеяния
Золоторудные: Плащеобразные залежи окисленных руд в карстовых депрессиях Крутопадающие жилы и сопряженные с ними субгоризонтальные залежи полисульфидного и пирит-анкеритового составов	Au Au	Ag, Mn, Sb, Sn, Ti, Be, SO_4^{2-} Zn, Pb, Ag, Sn, Mo, Be, SO_4^{2-}	Площадь ореолов до первых десятков кв. км Протяженность потоков 0,4-8,1 км
Золотосурьмяные: Зоны дробления с золотосодержащими кварц-антимонитовыми жилами, линзами, гнездами	Sb, Au	As, Hg, Co, Ga, Pb, Ge, SO_4^{2-}	Площадь ореолов до первых десятков кв. км, протяженность потоков 0,4 км
Оловорудные: Сульфидно-касситеритовые Оловянно-редкометалльные	 Sn Sn, Li	 As, B, F, Pb, Zn, Hg, Cu, SO_4^{2-} As, Bi, Ag, Be, P	 Площадь ореолов – первые кв. км, протяженность потоков до 1 км Протяженность потоков – первые километры
Медно-вольфрамовые и вольфрамовые	W, Sn, Cu	As, Zn, B, Co, Be, Ba	Протяженность потоков – первые километры
Полиметаллические	Pb, Ag, Zn	Sn, Cd, Cu, As, Hg, Ge, SO_4^{2-}	Площадь ореолов 1-6 км ² ; протяженность потоков 1-4 км
Ртутные	Hg	Sb, As, Ba, SO_4^{2-}	Протяженность потоков до 1 км
Медно-никелевые	Cu, Ni	Ti, Mn, Zn, Cr, Ag, V, Pb, Co, Zr, Sn	Протяженность потоков 0,5-1 км
Алмазные (кимберлитовые трубки в карбонатных породах)	-	Nb, Cr, Mn, Ti, V, Ag, As, Ga, Co	Слабоконтрастные прерывистые ореолы площадью (0,1-1) км ²

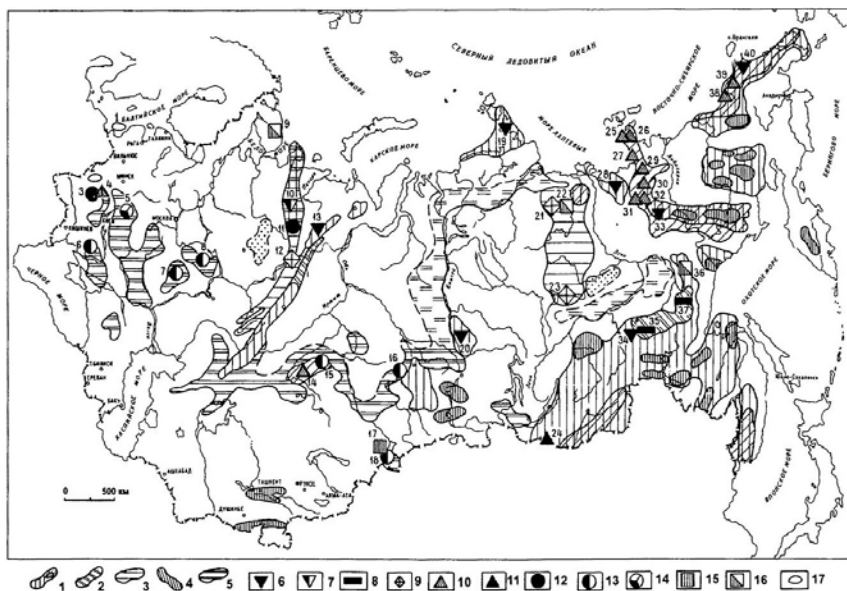
Подземные воды районов бериллиевых месторождений отличаются содержаниями указанного элемента ($\text{ПДК}_{\text{рх}}$ бериллия установлена в 0,0003 мг/л [65]), нередко на несколько порядков превышающие норматив. В частности, практически вся гумидная зона опасна по бериллию в подземных (особенно грунтовых) водах [48]. Эта опасность особенно возрастает при увеличении концентраций фтора в подземных водах (Ве образует устойчивые комплексные соединения с гидроксидом, фульвокислотами и особенно с фтором) и их формировании в пределах массивов интрузивных и эффузивных пород бериллиевых провинций. Концентрации Ве достигают n мг/л. В фторосных подземных водах районов и зон пневматолито-гидротермальных бериллийсодержащих месторождений уровни Ве достигают еще более высоких значений (иногда до $n \times 100$ мкг/л. Опасность таких вод увеличивается с ростом в них концентрации фторид-иона. В подземных водах зон гидротермальной метаморфизации районов сульфидных месторождений рост концентрации Ве связан с увеличением кислотной агрессивности, происходящей вследствие окисления дисульфидов (особенно пирита), сопровождающих гидротермальную метаморфизацию пород. Концентрации Ве в таких водах достигают $n \times 10$ мкг/л. По имеющимся данным [120], величина ЛК_{50} для различных видов пресноводных рыб колеблется от 0,15 до 32 мг/л при 96-часовой экспозиции. Токсичность Ве возрастает с уменьшением жесткости воды. Так, для гуппи ЛК_{50} в жесткой воде (450 мг/л карбоната кальция) составляет 19 – 32 мг/л, в мягкой воде (22 мг/л карбоната кальция) на два порядка выше, $\text{ЛК}_{50} = 0,16$ мг/л. Максимальная токсичность проявляется в мягкой подкисленной воде. Как видим, в природе существуют воды, в которых концентрации Ве достигают указанных величин.

К настоящему времени в России известно (открыто) более 20 тыс. месторождений различных полезных ископаемых (нефти, природного газа, каменного угля, руд черных, цветных, редких и благородных металлов, редкоземельных элементов, горнохимического нерудного технического сырья, драгоценных и поделочных камней и минеральных материалов и др.), плотность размещения которых достаточно велика [62]. Кроме того, очень большое количество разного масштаба различных рудопроявлений и зон минерализации, расположенных в известных металлогенических зонах; плотность размещения их также достаточно велика. Особую группу месторождений представляют собой россыпи, сформировавшиеся в результате выветривания коренных горных пород или тел полезных ископаемых под воздействием различных экзогенных процессов, часто непосредственно связанные с речными долинами и(или) руслами рек способные оказывать влияние на формирование химического состава поверхностных вод [85, 108]. В пределах России выделяется большое количество россыпных провинций и известно много россыпных месторождений: золота, платиноидов, алмаза, олова, титана, циркония, редких и редкоземельных элементов и др. (рис. 5). Все это, в той или иной степени, сказывается на условиях формирования и региональной неоднородности химического состава природных вод.

Из других условий и факторов, оказывающих существенное влияние на формирование поверхностного стока и его химического состава, следует назвать засо-

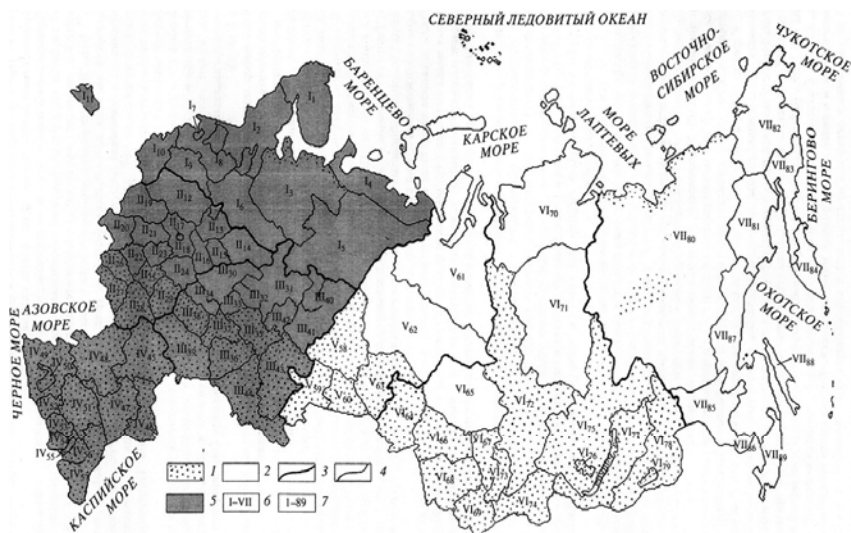
ление почв и его характер, криогенные (мерзлотные) явления, распространение болот и процессы заболачивания, карстовые процессы и явления, некоторые другие экзогенные процессы, а также зональную (региональную) специфику интенсивности проявления различных ландшафтно-геохимических процессов.

Площадь засоленных почв в России составляет около 36 млн. га [37]. По оценке [99], площадь почв, засоленных в первом метре почвенного профиля может достигать 27,7 млн. га, засоленных со второго метра почвенного профиля – 2,7 млн. га. Среди засоленных почв ЕТР преобладают почвы сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления, содовые почвы развиты незначительно. Схема распространения засоленных почв в пределах России приведена на рис. 6.



1-5 – основные россыпные провинции: 1 – золотосысые (более густая штриховка – районы, точками показаны потенциальные провинции мелкого и тонкого золота), 2 – платиноносные, 3 – алмазосысые, 4 – оловянные, 5 – титановые и титано-циркониевые; 6-17 – важнейшие россыпные месторождения: 6 – золота, 7 – комплексные золота, алмазов, редких металлов, 8 – платиновых металлов, 9 – алмазов, 10 – олова, 11 – вольфрама, 12 – титана, 13 – титана и циркония, 14 – фосфора, титана, циркония, 15 – тантала и ниобия, 16 – ниобия и редких земель, 17 – литария; месторождения (цифры на схеме): 1 – Пальминское, 2 – Касеовское, 3 – Ирдинская группа, 4 – Пермская группа, 5 – Умское, 6 – Мамышевское, 7 – Центральное, 8 – Луковское, 9 – Азовская группа, 10 – Ичет-Ю, 11 – Ярга, 12 – Вишерская группа, 13 – Кожимская группа, 14 – Южно-Уральская группа, 15 – Обуховская, 16 – Туганская, 17 – Белогорская группа, 18 – Каротель, 19 – о-в Большевик, 20 – Енисейский край, 21 – Эбелях, 22 – Томтор, 23 – Мирненская группа, 24 – Джала-Инкур, 25 – Западная, 26 – Кутта, 27 – Чокудух, 28 – Куларская группа, 29 – Тенгели, 30 – Одинок, 31 – Кислый-Мамонт, 32 – Тиректах, 33 – Адмичанская группа, 34 – Куранх, 35 – Кондер, 36 – Горное озеро, 37 – Чай-Юрие-Берелех, 38 – Валькумей, 39 – Чаанай, 40 – Рысеем, 41 – Северо-Камчатская группа, 42 – Петровская, 43 – Нагинская

Рис. 5. Схема размещения основных россыпных провинций в пределах быв. СССР [85].



Условные обозначения: 1 – территории распространения засоленных почв; 2 – территории, в пределах которых отсутствуют засоленные почвы; 3 – границы федеральных округов; 4 – границы административных единиц (областей, краев и пр.); 5 – федеральные округа, входящие в Европейскую часть России; 6, 7 – перечень федеральных округов и административных единиц России.

Северо-Западный ФО (I): I₁ – Мурманская обл. (Мурманск); I₂ – Республика Карелия (Петрозаводск); I₃ – Архангельская обл. (Архангельск); I₄ – Ненецкий АО (Нарьян-Мар); I₅ – Вологодская обл. (Вологда); I₆ – Санкт-Петербург; I₇ – Ленинградская обл. (Санкт-Петербург); I₈ – Новгородская обл. (Новгород); I₉ – Псковская обл. (Псков); I₁₀ – Калининградская обл. (Калининград).

Центральный ФО (II): II₁ – Тверская обл. (Тверь); II₂ – Ярославская обл. (Ярославль); II₃ – Костромская обл. (Кострома); II₄ – Ивановская обл. (Иваново); II₅ – Владимирская обл. (Владимир); II₆ – Московская обл. (Москва); II₇ – Смоленская обл. (Смоленск); II₈ – Брянская обл. (Брянск); II₉ – Калужская обл. (Калуга); II₁₀ – Орловская обл. (Орел); II₁₁ – Тульская обл. (Тула); II₁₂ – Рязанская обл. (Рязань); II₁₃ – Липецкая обл. (Липецк); II₁₄ – Курская обл. (Курск); II₁₅ – Белгородская обл. (Белгород); II₁₆ – Воронежская обл. (Воронеж); II₁₇ – Тамбовская обл. (Тамбов).

Приволжский ФО (III): III₁ – Нижегородская обл. (Нижегород); III₂ – Кировская обл. (Киров); III₃ – Республика Марий Эл (Йошкар-Ола); III₄ – Чувашская республика (Чебоксары); III₅ – Республика Мордовия (Саранск); III₆ – Республика Татарстан (Казань); III₇ – Самарская обл. (Самара); III₈ – Ульяновская обл. (Ульяновск); III₉ – Пензенская обл. (Пенза); III₁₀ – Саратовская обл. (Саратов); III₁₁ – Коми-Пермский АО (Усинск); III₁₂ – Пермская обл. (Пермь); III₁₃ – Удмуртская обл. (Ижевск); III₁₄ – Республика Башкортостан (Уфа); III₁₅ – Оренбургская обл. (Оренбург).

Южный ФО (IV): IV₁ – Волгоградская обл. (Волгоград); IV₂ – Астраханская обл. (Астрахань); IV₃ – Республика Калмыкия (Элиста); IV₄ – Ростовская обл. (Ростов-на-Дону); IV₅ – Краснодарский край (Краснодар); IV₆ – Республика Адыгея (Майкоп); IV₇ – Ставропольский край (Ставрополь); IV₈ – Карачаево-Черкесская Республика (Черкесск); IV₉ – Кабардино-Балкарская Республика (Нальчик); IV₁₀ – Республика Северная Осетия (Валдайкал); IV₁₁ – Ингушская Республика (Назрань); IV₁₂ – Чеченская Республика (Грозный); IV₁₃ – Республика Дагестан (Махачкала).

Рис. 6. Картограмма распространения засоленных почв в пределах федеральных округов и административных единиц на территории России [99].

Процессы, протекающие в поверхностном слое горных пород и почв в зоне многолетней мерзлоты, определяют особенности мезо- и микрорельефа обширной криолитозоны нашей страны. Более половины территории России находится в криолитозоне: почти вся тундра и часть таежной зоны [63]. Контур сплошной криолитозоны соответствует среднегодовой изотерме минус 4 – минус 6°C. С повышением среднегодовых температур до минус 3 – минус 4°C развивается прерывистая криолитозона, а при температуре минус 1 – минус 3°C – островная [63]. Сезонные оттаивания пород интенсивнее всего происходят в песках (2–3,5 м), в меньшей степени – на суглинках (1,2–,5 м), слабее всего на торфяниках (0,2–0,9 м). Для криолитозоны характерны особые гидрогеологические условия. Благодаря криогенному опреснению при оттаивании возникает плотностная конвекция вод с погружением наиболее соленых. Здесь выделена зона аэрации и режим подземных вод в целом имеет застойный характер. Атмосферная влага из-за ледяного водоупора уходит в поверхностный и приповерхностный стоки, с одной стороны,

обеспечивая полноводность рек, с другой – вызывая заболачивание территории. В условиях сухого, резко континентального климата в ряде регионов (Центральная Якутия, Забайкалье) наличие многолетнемерзлых пород предотвращает заболачивание.

Гидрологическая роль болот заключается в том, что они служат аккумуляторами огромной массы пресной воды уникального состава [19, 59, 79]. Химический состав болотных вод отличается от химического состава поверхностных и подземных вод и зависит от географического (особенно от климатических условий) и геоморфологического (типа торфяной залежи) положения болот, состава подстилающих пород, температурного режима, определяющего интенсивность биохимических процессов. Также формирование химического состава болотных вод происходит при участии атмосферных осадков, грунтовых и поверхностных вод. Болотные воды имеют ряд особенностей: они обогащены органическим веществом гумусовой природы, почти не содержат растворенного кислорода, имеют низкую минерализацию. Высокая обменная емкость ГК обеспечивает образование прочных комплексных соединений с ионами металлов. Поступление болотных вод в реки и нижележащие водоносные горизонты способствует понижению pH, жесткости и концентрации главных ионов в воде, увеличению содержания железа, марганца и ряда других элементов и в особенности органических веществ.

Карстовые явления происходят в результате растворения широко развитых на территории России (в особенности на платформах) карбонатных, сульфатных и галоидных пород [63]. Вынос огромных масс веществ приводит к образованию особых форм рельефа и полостей в недрах земли. По типу субстрата различают карбонатный, сульфатный и соляной карст. Растворимые горные породы могут находиться непосредственно у дневной поверхности или залегать на той или иной глубине. В первом случае развивается поверхностный (открытый) карст, который ярко выражен в рельефе местности его своеобразными формами, во втором – глубинный (подземный) или смешанный. К факторам, обуславливающим интенсивное проявление карстового процесса и одновременно лимитирующим его пространственное распространение, относятся:

- литологические – наличие благоприятных пород: карбонатных (известняк, доломит, мергель, мел, мрамор и др.), сульфатных (гипс, ангидрит), силикатных (трепел, опока) или галоидных (каменная или калийная соль), а также литологическая неоднородность разреза;

- геоморфологический – возвышенный рельеф, обеспечивающий значительное превышение карстующегося массива над базисом эрозии;

- климатические – обилие осадков и достаточно теплый климат.

Карстовый процесс может ускоряться при повышенной трещиноватости пород, широко развитии всех видов эрозии поверхности и проявлений гравитационных процессов. Доказана зависимость карстообразования от повышения уровня подземных вод в результате подтоплений, в том числе за счет создания гидротехнических сооружений. Карстовые полости служат потенциальными каналами загрязнения подземных вод. Разнообразные типы карста широко распространены в пределах России, причем площади его развития весьма значительны по размерам, что во многом обусловлено широким развитием благоприятного субстрата. Так, на Русской равнине нет ни одного бассейна крупной реки, в пределах которого не был бы развит карст. В основном (60% от площади закарстованных пород) карст на территории России развит на карбонатном субстрате. Карбонатный карст ох-

ватывает значительные территории в пределах центра ЕТР, Тимана, Урала и особенно Западного Приуралья, Среднего Поволжья, Северного Кавказа, отдельные зоны Енисейского кряжа и юга Западной Сибири. В криолитозоне России, благодаря резко континентальному климату, карстовым процессам подвержены обширные площади карбонатных пород Иркутского амфитеатра и Алданского нагорья. В бассейне Ангары и Лены развит как карбонатный, так и галоидный карст. Он известен практически во всех соленосных приповерхностных толщах (Соль-Илецк, Соликамск, Новомосковск, Сольвычегодск, Старая Русса и др.) [111]. Несколько медленнее развивается сульфатный карст, зоны распространения которого известны в бассейне Волги, Камы, Мезени, Печоры, Сев. Двины, в Предуралье и т. д. Силикатный карст в силу незначительного распространения трепелов и опок редок. Он известен, например, на Приволжской возвышенности [111].

Реки карстовых районов создают своеобразную гидрографическую сеть [16]. Характерны разреженность поверхностной сети, поглощение поверхностного стока понорами в карстовых логах, воронках и перевод его в подземный сток. Карст усиливает интенсивность подземного стока, нарушает плавный зональный характер его распределения. Во многих карстовых районах наблюдаются подземный водообмен между речными бассейнами (он может быть положительным и отрицательным) и несовпадением подземных водоразделов с топографическими. Здесь распространены карстовые озера, которые заполняют отрицательные поверхностные формы карста разного размера и характера: одиночные воронки, сложные ванны и котловины, пониженные участки днищ полей. Карстовые воды, участвующие в питании рек и озер, способны существенно изменять химический состав вод последних.

Скорость, интенсивность и формы проявления ландшафтно-геохимических процессов в существенной степени зависят от климатических и геоморфологических условий территории [20]. Большинство ландшафтно-геохимических процессов охватывает не одну, а несколько ландшафтных зон, но в отдельных зонах изменяются их соотношения и формы проявления. Процессы, идущие в супераквальных ландшафтах и менее зависящие от степени атмосферного увлажнения, распространены в более широком диапазоне ландшафтных зон и подзон, чем процессы в субэаральных ландшафтах. Некоторые процессы (глеогенез, кальцитогенез и др.) обычно в той или иной степени выражены во всех ландшафтных зонах; от тундры до степей распространены в акваториях процессы опалогенеза, от лесостепи до пустынь (в том числе арктических) выражены в супераквальных и субэаральных ландшафтах процессы галогенеза.

Таким образом, формирование химического состава поверхностных вод осуществляется в разных регионах нашей страны при участии разнообразного комплекса факторов и явлений, что в конечном счете и обуславливает его достаточно выраженную региональную природную неоднородность. В пределах России формируются водные объекты или их участки, в пределах которых природные (фоновые) уровни содержания широкого круга химических элементов и их соединений существенно отличаются от установленных нормативных значений. При этом природные концентрации могут как превышать (и порой значительно) нормативы ПДК, так и быть многократно ниже последних. Данные факты, безусловно, должны учитываться при оценках экологического состояния и степени техногенного загрязнения природных вод.

Методические подходы к анализу региональных особенностей формирования химического состава природных вод

Систематизация и анализ доступной информации по региональной естественной неоднородности химического состава поверхностных вод осуществлялись авторами с использованием бассейнового подхода – в пределах установленных Водным кодексом РФ бассейновых округов: Балтийского; Баренцево-Беломорского; Двинско-Печорского; Днепровского; Донского; Кубанского; Западно-Каспийского; Верхневолжского; Окского; Камского; Нижневолжского; Уральского; Верхнеобского; Иртышского; Нижнеобского; Ангаро-Байкальского; Енисейского; Ленского; Анадыро-Колымского; Амурского. Бассейновый подход представляется наиболее оправданным и логичным с методической, организационной и практической точек зрения. Согласно Водному кодексу РФ [12], бассейновый подход к регулированию водных отношений является в нашей стране одним из основных принципов водного законодательства. Бассейновые округа, состоящие из речных бассейнов и связанных с ними подземных водных объектов и морей, служат в РФ основной единицей управления в области использования и охраны водных объектов являються. В целях обеспечения рационального использования и охраны водных объектов создаются бассейновые советы, осуществляющие разработку рекомендаций в области использования и охраны водных объектов именно в границах бассейнового округа. Государственный мониторинг водных объектов также осуществляется в границах бассейновых округов с учетом особенностей режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностей. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов, включающие в себя систематизированные материалы о состоянии водных объектов и об их использовании и являющиеся основой осуществления водохозяйственных мероприятий и мероприятий по охране водных объектов, расположенных в границах речных бассейнов, обычно разрабатываются для бассейновых округов или для основных их гидрографических единиц (речных бассейнов и подбассейнов). Ведение Государственного водного реестра, представляющего собой систематизированный свод документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной собственности, в собственности субъектов Российской Федерации, в собственности муниципальных образований, в собственности физических лиц и юридических лиц, также основывается на основе бассейновых округов. Федеральное агентство водных ресурсов реализует задачу комплексного управления водными ресурсами Российской Федерации по бассейновому принципу, для чего созданы следующие бассейновые водные управления: Невско-Ладожское, Двинско-Печорское, Камское, Верхне-Волжское, Московско-Окское, Нижне-Волжское, Донское, Кубанское, Западно-Каспийское, Верхне-Обское, Нижне-Обское, Енисейское, Ленское и Амурское.

Объективная необходимость комплексного управления водными ресурсами, основанного на бассейновом принципе, признана сегодня во всем мире [29, 30, 84, 86, 103, 104]. В сущности, реализация бассейнового подхода к организации водопользования означает, что управление поверхностными и подземными водными объектами осуществляется в рамках гидрографических единиц речного бассейна бассейновым исполнительным органом Росводресурсов – бассейновым водным управлением (БВУ), региональные органы власти РФ и местного самоуправления, водопользователи и общественность также принимают участие в

управлении водными объектами, участвуя в работе соответствующего бассейнового совета [11]. Более того, «Водная стратегия РФ на период до 2020 года», во-первых, устанавливает поэтапное изменение статуса бассейновых советов как координирующих органов на органы, принимающих практические управленческие решения по вопросам реализации государственной политики в рамках бассейнового округа, оптимизации водохозяйственной и водоохранной деятельности. Во-вторых, в целях обеспечения информационной открытости мониторинговой информации при общей координации Федеральным агентством водных ресурсов предстоит завершить создание единой автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов, формирование банка данных мониторинга по бассейновым округам, речным бассейнам, водохозяйственным участкам, территориям субъектов Российской Федерации и в целом по Российской Федерации. Представляется, что корректировка существующих нормативов качества воды и разработка природоохранных нормативов качества воды с учетом природных особенностей должны выполняться именно и только для конкретных бассейновых округов, что представляется логичным с многих точек зрения, в том числе с организационной и нормативно-творческой. Бассейновому подходу отводится особое место в так называемой концепции регионального экологического нормирования, в рамках которой ставится вопрос о необходимости разработки (обоснования, установления) БДК – бассейновых допустимых концентраций вредных веществ в поверхностных водах (см., например [81, 82, 94, 95]). Следует отметить, что вопросы регионального (бассейнового) экологического нормирования уже рассматриваются бассейновыми советами. Так, в марте 2011 г. на заседании Бассейнового совета Нижневолжского бассейнового округа особо отмечалось, что в системе нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты самым слабым звеном является использование одинаковых на всей территории страны нормативов качества воды – предельно допустимых концентраций, которые не учитывают природных особенностей конкретных водных экосистем [78]. В результате устанавливаются ошибочные приоритеты регулирования антропогенной нагрузки на водотоки и водоемы. Было предложено для решения данной проблемы вместо ПДК, установленных на основе лабораторных экспериментов, использовать бассейновые допустимые концентрации (БДК), полученные по данным мониторинга водных объектов и учитывающие природные особенности формирования качества вод на конкретной территории водосбора. В ноябре 2013 г. в Мурманске состоялось заседание бассейнового совета Баренцево-Беломорского бассейнового округа [38]. Участники заседания обсудили возможность установления региональных фоновых концентраций тяжелых металлов для водных объектов бассейнов Белого и Баренцева морей, а также необходимость разработки нормативов с учетом природной составляющей. Примерно в это же время на заседании Днепровского бассейнового совета было (в очередной раз) отмечено, что «рыбохозяйственные» ПДК не учитывают имеющееся естественное природное (фоновое) содержание отдельных веществ в воде водных объектов, поэтому оценка влияния на состояние водных ресурсов в таких объектах не может считаться достоверной (например, для условий Тверской области для поверхностных вод характерно повышенное содержание Fe, Cu, Mn и некоторых других веществ) [33]. Было также отмечено, что в Республике Беларусь для всех крупных рек, протекающих по ее территории, уже обоснованы и утверждены фоновые значения концентрации вредных веществ в воде. Оценка влияния раз-

личных хозяйственных и иных объектов на состояние водной среды по бассейнам таких рек теперь осуществляется на основе утвержденных фоновых концентраций, характерных для каждой конкретной реки. В литературе сообщалось, что в ИЭВБ РАН разработаны БДК для водных объектов в бассейне Средней и Нижней Волги, которые существенно отличаются от используемых ПДК [40]. Считается, что внедрение БДК позволит учесть природно-географические и климатические особенности водных объектов и исправить ситуацию, когда ПДК, с одной стороны, необоснованно завышены, а с другой – занижены и не могут быть соблюдены в силу естественных причин.

Систематизация, анализ и обобщение доступной информации по региональной естественной (природной, фоновой) неоднородности химического состава поверхностных вод в Российской Федерации осуществлялись отдельно для каждого из установленных Водным кодексом РФ бассейновых округов по следующим основным направлениям: общие условия формирования химического состава вод, основные факторы формирования состава вод, характеристика гидрографической сети, характеристика гидрологических особенностей водных объектов и источников их питания, химический состав поверхностных вод и его своеобразие в природных (фоновых) условиях, современное состояние поверхностных вод (влияние техногенных факторов). В ходе систематизации информации особое внимание уделялось ретроспективным материалам, в той или иной мере отражающим так называемый «дохозяйственный период», а также данным, полученным при изучении фоновых участков гидрографической сети, т. е. участков, не испытывающих прямое хозяйственное (техногенное) воздействие.

Основными источниками информации являлись официальные материалы МПР РФ, его структурных и региональных подразделений (Государственные доклады, аналитические записки и пр.), материалы Росгидромета (выпуски «Ресурсы поверхностных вод» и «Гидрохимические материалы», ежегодные аналитические обзоры, Государственные доклады и пр.), материалы Роспотребнадзора и его региональных подразделений (Государственные доклады и др.), материалы бассейновых водных управлений, включая проекты СКОВО (Схемы комплексного использования и охраны водных объектов) и другие материалы, результаты гидрографического районирования РФ, официальные материалы региональных органов исполнительной власти, результаты инженерно-экологических и других специализированных изысканий, многочисленные публикации различных авторов и организаций, фондовые материалы (доступные отчеты и диссертации), результаты выполненных в пределах России международных проектов, собственные материалы авторов.

Анализ доступной информации по особенностям формирования химического состава поверхностных вод и данных по количественным параметрам распределения химических элементов и их соединений в поверхностных водах в пределах бассейновых округов России показал, что химический состав поверхностных вод в пределах конкретного бассейнового округа в природных (естественных) условиях характеризуется специфическими особенностями, которые обусловлены естественными условиями и факторами его формирования и которые должны учитываться при оценках экологического состояния водных объектов и степени их техногенного загрязнения, а также при ревизии существующих нормативов ПДК_{рх} и при таксации рыбохозяйственных водоемов. Основные итоги анализа сводятся к следующему.

Региональные особенности химического состава поверхностных природных вод

Балтийский бассейновый округ. Здесь поверхностные воды (за исключением воды водных объектов Калининградской области) отличаются преимущественно очень малой (менее 100 мг/л, нередко < 40–50 мг/л) и малой (100–200 мг/л) минерализацией и соответственно содержаниями главных ионов существенно (на один-два порядка) ниже существующих рыбохозяйственных нормативов. В пределах Калининградской области вода поверхностных водных объектов характеризуется средней (200–500 мг/л), реже повышенной (> 500 мг/л) минерализацией.

Для речных и озерных вод значительной территории бассейнового округа (БО) характерны повышенные и высокие содержания органических соединений, особенно гумусового происхождения. Это определяет тот факт, что наблюдаемые значения цветности, ПО, ХПК и БПК₅ обычно превышают установленные нормативные величины. Есть все основания полагать, что природные содержания летучих фенолов в поверхностных водах (на лесных и заболоченных территориях) также будут превышать установленный норматив. Практически на всей территории бассейнового округа для поверхностных вод характерны концентрации $Fe_{общ}$, превышающие ПДК_{рх}. Большая часть водных объектов Карелии отличаются содержаниями Mn, приближающимися к уровню ПДК_{рх} и даже превышающими его. Немногочисленные данные указывают также на то, что уровни меди в поверхностных водах также нередко превышают существующий норматив. Для водных объектов с болотным питанием характерны концентрации NO_2^- , превышающие ПДК_{рх}. Для воды некоторых малых озер БО (особенно в пределах Карелии) нередко характерны значения pH менее 6,5, обусловленные природными факторами.

Природные условия и факторы формирования химического состава поверхностных вод, специфика источников питания водных объектов указывают на то, что такие химические элементы и соединения, как Al, Zn, NH_4^+ , PO_4^{3-} требуют проведения специальных исследований по изучению их распределения в природных условиях. Имеющиеся разрозненные сведения свидетельствуют о том, что их концентрации в ряде случаев достаточно высоки и приближаются к величине ПДК_{рх}.

Баренцево-Беломорский бассейновый округ. Поверхностные воды БО отличаются преимущественно очень малой (< 100 мг/л, часто < 40–50 мг/л, иногда < 20 мг/л) и (реже) малой (100–200 мг/л) минерализацией и соответственно содержаниями главных ионов существенно (на один-два порядка) ниже существующих рыбохозяйственных нормативов. Для озерных вод региона характерны также очень низкие (существенно ниже ПДК, нередко многократно) содержания лития, рубидия, цезия, серебра, бария, стронция, циркония, олова, мышьяка, висмута, хрома, иода. Для речных и озерных вод значительной территории БО характерны повышенные и высокие содержания органических соединений, особенно гумусового происхождения. Это определяет тот факт, что наблюдаемые значения цветности, ПО, ХПК и БПК₅ обычно (нередко существенно) превышают установленные нормативные величины.

Характерной особенностью многих водных объектов, особенно озер, является значительное содержание в их воде фенолов естественного происхождения, часто превышающее нормативный уровень. Практически на всей территории БО для природных условий характерны концентрации $Fe_{общ}$, стабильно и существенно

превышающие ПДК_{рх}. В большинстве случаев превышения нормативов отмечаются для меди, алюминия и марганца. Для воды ряда рек и озер отмечаются природные концентрации фосфатов, достигающие и нередко превышающие ПДК_{рх}.

Двинско-Печерский бассейновый округ. Поверхностные воды БО характеризуются преимущественно гидрокарбонатным кальциевым составом и минерализацией в среднем в пределах от 50–100 до 300–500 мг/л. В реках в период зимней межени (за счет подземного питания) она повышается до 400–600 мг/л. Самую низкую минерализацию имеют паводковые воды (не более 100 мг/л). Как правило, паводковые воды обычно имеют кислую реакцию (pH 4–5). В целом наименьшие значения минерализации характерны для бассейна р. Печоры (50–80 мг/л) и для водных объектов Большеземельской тундры (6–96 мг/л). В последнем случае наименьшей минерализацией характеризуются термокарстовые озера (6–11 мг/л), затем идут ледниковые озера (14–48 мг/л), наибольшая минерализация отмечена в пойменных озерах – до 96 мг/л, причем минерализация поверхностных вод значительно ниже весной (< 30 мг/л), в период осенних паводков 100 мг/л, в зимний период 200 мг/л и выше. Летом поверхностные воды в основном мягкие, весной и во время дождевых паводков преимущественно очень мягкие, зимой умеренно жесткие. Среднее значение общей жесткости колеблется в диапазоне 2,0–4,8 мг-экв/л. Для заболоченных ландшафтов, сформировавшихся на кварцевых песках, характерны кислые, маломинерализованные мягкие воды. Поверхностные воды региона отличаются очень низкими содержаниями фтора (судя по всему, не более 0,05 мг/л).

В пределах БО имеются районы, в поверхностных водах которых в результате проявления различных природных факторов минерализация и соответственно содержания главных ионов могут существенно увеличиваться. Так, в воде водных объектов района месторождений Варандей-Адзвинской зоны фиксируются уровни хлоридов, превышающие ПДК_{рх}. Для некоторых (обычно карстовых) рек отмечаются высокие (выше ПДК_{рх}) концентрации магния – от 60–90 (Моша, Вымь) до 120–215 (Кулой) мг/л, сульфатов (р. Кулой, зимой до 600–1200 мг/л, р. Волошка), кальция (р. Волошка). В некоторых озерах лесной зоны (Воже) в зимний период концентрации сульфатов и магния превышают уровни ПДК_{рх}. Для некоторых водотоков рассматриваемой территории, особенно в весенний период, характерно формирование кислой среды (отдельные участки рек Сухоны, Вычегды, Печоры и их притоков). Остаточные озера Молого-Судского ландшафта с обширными верховыми болотами кисловодны (pH 4,4–5,35).

Поверхностные воды данного БО отличаются повышенным содержанием органических (гумусовых) веществ, что особенно характерно для территорий, где распространены лесные массивы и торфяные болота. Высокое содержание гуминовых веществ придает воде желто-коричневый цвет. На значительной части рассматриваемой территории поверхностные воды отличаются значениями показателей ПО, БПК₅ и ХПК, которые стабильно превышают существующие нормативы. Участие болотных вод и поверхностного стока с лесных территорий в питании рек и озер ведет к возрастанию в их водах содержания фенолов, часто превышающих ПДК_{рх}. Повышенному поступлению органических веществ и фенолов в водные объекты способствует также низкая скорость минерализации растительных остатков в почвах, свойственная для северных районов региона. В поверхностных водах Большеземельской тундры отмечается повышенное содержание нефтепродуктов, что обусловлено их поступлением из природных источников.

Для некоторых водотоков (например, для р. Вычегды и ее притоков) отмечают концентрацию аммонийного азота, превышающего допустимые нормы в теплое время года. Наиболее интенсивное повышение его концентраций большей частью наблюдается в половодье или в периоды осенних дождевых паводков. Разрозненные и единичные сведения указывают на содержание фосфатов в реках бассейна Вычегды, превышающие уровень ПДК_{рх}. Для озер, отличающихся высоким содержанием органического вещества гумусового происхождения и имеющих желто-коричневые воды, могут наблюдаться концентрации фосфатов и нитритов, превышающие уровень ПДК_{рх}. В ряде случаев на гидрохимический режим пойменных озер существенное влияние оказывают выходы соленых или солоноватых артезианских вод (соленые кулойские и сольвычегодские озера).

Для большей части озерных и речных вод в пределах территории БО характерны содержания Fe_{общ}, стабильно (практически в течение всего года) и очень часто многократно превышающие ПДК_{рх}. Максимальные концентрации этого элемента обычно характерны для весеннего половодья. Показательно, что высокие содержания железа типичны для водоемов, активно используемых для разведения и ловли рыбы. Естественная обогащенность поверхностных вод железом (концентрации обычно много выше ПДК) – характернейшая особенность данного региона нашей страны.

Достаточно многочисленные данные по многим водным объектам БО свидетельствуют о том, что природной, естественной особенностью поверхностных вод на значительной его территории является содержание в них Cu, Zn, Mn и Al, достаточно стабильно и нередко существенно превышающее уровень ПДК_{рх}. Для водных объектов бассейна рек Баренцева моря междуречья Печоры и Оби в воде отмечались природные уровни свинца, превышающие ПДК_{рх}. Имеются единичные указания на то, что концентрации молибдена в речных водах некоторых районов Вологодской области значительно превышают существующий рыбохозяйственный норматив. По данным многолетних наблюдений установлено, что концентрации кремния в водах Северной Двины нередко достигают значений ПДК_{хп}. Важно отметить, что есть сведения, указывающие на потенциальную обогащенность (много выше ПДК_{рх}) подземных вод, развитых в пределах БО, аммонийным азотом, Fe, Al, Mn, Zn, Cu и Hg, что неплохо соотносится с приводимыми выше фактами об их содержаниях в поверхностных водах.

Днепровский бассейновый округ. Поверхностные воды в пределах данного БО отличаются природными (фоновыми) концентрациями Fe_{общ}, Cu, органических веществ (по ХПК и БПК₅), фенолов, превышающими (нередко существенно) ПДК_{рх}. Для фоновых озерных вод установлены высокие (выше ПДК_{рх}) концентрации фосфора, алюминия, марганца. В пределах фоновых участков рек наблюдаются достаточно высокие уровни (до 0,6 ПДК_{рх}) нефтепродуктов.

Важно отметить, что целый ряд химических элементов в озерных водах характеризуются концентрациями, которые многократно ниже установленных нормативов (Cs, Rb, Ba, B, Sn, Ti, Co, W, Cr).

Донской бассейновый округ. Минерализация поверхностных вод в пределах Донского БО изменяется от 100 до 7000 мг/л, а химический состав – от гидрокарбонатных на северо-западе территории до хлоридных и сульфатных – на юго-востоке. Среднегодовые значения минерализации речной воды в пределах верхнего и среднего течения Дона (незарегулированный участок) изменяются в диапазоне 410–590 мг/л, среднегодовые – в пределах 370–620 мг/л, что вполне может считаться современным «нормальным» значением.

Имеющиеся данные позволяют утверждать, что поверхностные воды Донского БО отличаются природными (фоновыми) концентрациями, превышающими ПДК_{рх} или очень близкими к ним, следующих ингредиентов: Fe_{общ}, органических веществ (по ХПК и БПК₅), аммонийного азота (верховье), нитритов (верховье), сульфатов (особенно в низовье), меди, фосфатов (в районах распространения фосфоритов), марганца. Озерные воды лесостепи и степи обогащены органическим веществом, отличаются повышенными содержаниями фосфора, меди, ванадия (выше ПДК_{рх}), но очень низкими (по сравнению с ПДК) уровнями лития, рубидия, цезия, серебра, бериллия, олова, титана, висмута, сурьмы, вольфрама, кобальта, урана, циркония. Озерные воды сухих степей и полупустыни отличаются высокими (выше ПДК) концентрациями сульфатов, хлоридов, кальция, магния, натрия, фосфора, меди, алюминия, стронция, цинка, ванадия, молибдена, марганца, брома, железа, но низкими – кремния, серебра, бериллия, кадмия, олова, циркония, висмута, вольфрама.

В подземных водах верхней и средней части бассейна Дона содержания Fe, иногда Mn, F, Sr и Si часто превышают ПДК_{хп}, в пределах бассейна Нижнего Дона распространены подземные воды, которые относятся к сульфатно-хлоридным гидрогеохимическим провинциям и не соответствуют нормам для хозяйственного водоснабжения по величине минерализации, жесткости, содержаниям сульфатов и хлоридов. Встречаются также подземные воды с повышенными концентрациями Fe, Mn, B, As, Cd и др. Оценка регионального распределения широкой группы химических элементов и их соединений в подземных водах лесостепных и степных ландшафтов провинции умеренновлажного климата в пределах России свидетельствует о том, что средние концентрации нитритов, Fe, Al, Br, Mn, Zn, Cu, Mo, V, Hg заметно превышают ПДК_{рх}.

Здесь необходимо особо отметить, что оценку состояния водных объектов, состав воды которых в природных условиях изначально имеет сульфатный или хлоридный характер (как правило, при минерализации всегда заметно больше 1 г/л), следует осуществлять на основании специально для них разработанных нормативов. Использование для оценки состояния и качества воды подобных водных объектов существующих систем ПДК_{рх} и ПДК_{хп} совершенно неоправданно. В пределах Донского БО природные водные объекты с минерализацией воды существенно более 1 г/л распространены на водосборах, характеризующихся наличием сульфатного засоления почв и грунтов (водосборы рек Егорлык, Средний Егорлык, Ташла, Тузлов, Большой Несветай). Вода этих рек в течение всего года характеризуется высокой минерализацией (до 6 г/л) и сульфатно-натриевым или сульфатно-кальциевым составом. Сульфатно-хлоридное засоление почвенной и грунтовой толщи характерно для водосбора р. Сал, в которой минерализация поверхностной воды в течение всего года высокая (1–4,5 г/л), а по химическому составу вода реки относится в сульфатно-хлоридному классу группы натрия.

Кубанский бассейновый округ. Минерализация воды рек бассейна Кубани повышается от 30 мг/л в верховьях до 300 мг/л в среднем течении реки, затем снижается в устье до 150–250 мг/л. Наиболее низкие значения минерализации характерны для весеннего половодья. На значительной территории бассейна доминируют гидрокарбонатные кальциевые воды. Для верховьев р. Кубани характерно повышенные концентрации в поверхностных водах сульфатов, уровни которых могут превышать ПДК_{рх}. Для отдельных участков р. Кубани и для некоторых ее притоков наблюдаются повышенные (до 0,5–0,8 ПДК_{рх}) концентрации ионов кальция и (очень редко) ионов магния.

Поверхностные воды в пределах данного бассейнового округа отличаются природными повышенными и (в реках Теберда, Уруп, Псекупс) высокими (выше нормативов) содержаниями органических веществ (по значениям ХПК и перманганатной окисляемости – ПО). Для вод р. Белой характерны высокие концентрации (выше ПДК) легкоокисляемых ОВ (по БПК₅). Содержание фосфатов во всех реках бассейнового округа изменяются от 0,001 до 0,074 мг/л (т. е. максимальные значения превышают ПДК_{рх}), кремния – от 0,7 до 14,9 мг/л (максимальные значения выше ПДК_{хп}). Исследованиями в пределах эталонных (фоновых) участков гидросети установлено, что фоновые содержания марганца и меди (для всех рек), железа (для большинства рек), цинка (для ряда рек) превышают ПДК_{рх}. Кроме того, фоновые концентрации БПК₅, аммонийного азота, нефтепродуктов в воде р. Белой превышают значения ПДК_{рх}. В ряде случаев отмечены содержания нитритов, приближающиеся к уровню ПДК_{рх}. Обращают также на себя внимание достаточно высокие содержания общего фосфора в воде многих рек.

Поверхностные воды бассейна Азовского моря в пределах междуречья Кубани и Дона отличаются высокой минерализацией (1,3–5,6 г/л) и сульфатно-натриевым составом (концентрации сульфатов в речных водах достигают 0,7–2,6 г/л, хлоридов – 0,9 г/л, Na+K – 238–1130 мг/л). Это всецело обусловлено природным фактором – выщелачиванием солей из засоленных сульфатами четвертичных отложений, слагающих водосборы рек. Как уже отмечалось, оценку состояния водных объектов, состав воды которых в природных условиях изначально имеет сульфатный или хлоридный характер (при минерализации всегда заметно больше 1 г/л), следует осуществлять на основании специально для них разработанных нормативов.

Западно-Каспийский бассейновый округ. В поверхностных водах в пределах территории на юг от бассейна Терека до Государственной границы РФ повышенные концентрации сульфатов, магния, марганца, железа и высокие значения жесткости явно обусловлены природными факторами. Кроме того, в пределах данной части БО распространены реки с природно обусловленным сульфатным классом воды и высокой (> 1 г/л) минерализацией. В поверхностных водах междуречья Терека и Волги повышенные и высокие концентрации главных ионов и некоторых химических элементов (марганец, фосфаты) обусловлены природными факторами. Для речных вод практически всей территории бассейна Терека характерны природные концентрации алюминия, железа, меди и марганца, превышающие уровень ПДК_{рх}. В воде некоторых рек отмечается превышение нормативных значений молибденом, вольфрамом, сульфатами, магнием, натрием, кальцием, нитратами, фосфатами, органическими веществами (по ХПК и ПО), кремнием. Расчетные фоновые концентрации Fe, Al, Cu, Mn, иногда фосфатов, сульфатов и вольфрама (для Баксана) также превышает существующие ПДК_{рх}.

В бессточных районах междуречья Терека, Дона и Волги большая часть водных объектов характеризуется водой хлоридно-натриевого или (в несколько меньшей степени) сульфатно-натриевого состава и очень высокой минерализацией (соответственно, высокими уровнями главных ионов, обычно выше существующих нормативов), что является следствием природных условий их формирования. Поверхностные (и подземные) воды отличаются также повышенными концентрациями ряда химических элементов, что, безусловно, также отражает природную специфику данного региона.

Верхневолжский бассейновый округ. В пределах территории БО расположены водные объекты, характеризующиеся заметным разнообразием гидрохимических параметров воды. Тем не менее минерализация и распределение главных

ионов в речных водах его большей части не выходят за пределы существующих нормативных величин. В районах развития карстовых процессов минерализация речных вод во все сезоны года превышает 1 г/л и отличается высокими (выше ПДК_{рх}) концентрация сульфатов, магния и кальция (например, р. Пьяна). Повышенной минерализацией и высокими концентрациями сульфатов и хлоридов отличаются также реки, в долинах которых имеются источники хлоридно-сульфатных минеральных вод (например, р. Солоница). Некоторые малые реки болотных территорий обладают водой с pH менее 6,5.

Поверхностные воды на большей части данного бассейнового округа характеризуются природными содержаниями органических веществ (по ХПК, ПО и БПК₅), приближающимися и (в большинстве случаев) превышающими существующие нормативы. Наибольшие значения указанных показателей для многих водных объектов отмечаются в период весеннего половодья и летне-осенних паводков. Есть все основания считать, что здесь природные (фоновые) уровни фенолов в природных поверхностных водах также превышают ПДК_{рх}, а природные содержания нефтепродуктов в ряде регионов приближаются к указанному нормативу.

Характерной природной особенностью речных вод БО является практически повсеместное высокое фоновое содержание (выше ПДК_{рх}, нередко существенно) в них общего железа, меди, марганца, цинка, фосфатов (особенно зимой), в некоторых случаях – аммонийного азота и нитритов. Обычно наибольшее количество NO₂⁻ наблюдается в конце зимней межени, а наименьшее – соответствует периоду летней межени.

Большинство озер территории БО являются проточными с различной степенью обмена водной массы в течение года и по условиям питания мало отличаются от речных вод, что определяет близость их солевого состава к речным водам. На отдельных водоемах в летний период наблюдается преобладание сульфатов от хорошо до неявно выраженного (например, озера Алатырско-Горьковского карстового района).

Для сточных озер лесной зоны характерны воды с очень малой и малой минерализацией, низкой концентрацией главных ионов (на один-два порядка ниже ПДК_{рх}) и высоким содержанием растворенных органических веществ. Воды указанных озер отличаются также низкими значениями pH (4,2–6,5), очень высокими концентрациями железа (существенно выше ПДК_{рх}) и (иногда) концентрации аммонийного азота и фосфатов, превышающие ПДК_{рх}. Все это отражает высокую степень заболоченности водосборов, наличие в их пределах мощных торфяников, изолирующих озера от подстилающих горных пород, и высокую промытость верхнего слоя почв.

Для фоновых (природных) озерных вод рассматриваемого БО характерны стабильно высокие (выше ПДК_{рх}) концентрации железа, марганца, в отдельные сезоны года – аммонийного азота и фосфатов.

Оценка региональных средних содержаний химических элементов в подземных водах различных ландшафтов провинции умеренновлажного климата свидетельствует о повышенном содержании в них целого ряда химических элементов и соединений, уровни которых превышают ПДК_{рх} (нитриты, аммонийный азот, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Hg, в водах смешанно-лесных ландшафтов – Mo, V).

Окский бассейновый округ. По химическому составу вод водотоки рассматриваемой территории относятся к валдайскому подтипу рек с преобладанием кальция в катионном составе (иногда магния, очень редко натрия, что зависит от гидрологического сезона) и гидрокарбонат-иона среди анионов, т. е. к гидрокарбонатному классу кальциевой (реже магниевой) группе с минерализацией (в ме-

женный период) воды порядка 300–400 мг/л. Общий химический состав воды рек Окского бассейна укладывается в известные региональные гидрохимические параметры и существующие нормативы. Исключение составляют реки карстовых районов, где формируются речные воды с высокой минерализацией (более 1 г/л) и концентрациями сульфатов, кальция и магния, превышающими ПДК_{рх} (например, бассейны рек Тешы, Упы, Цны).

Для поверхностных вод БО характерны повышенные содержания растворенных органических веществ, характеристики которых (цветность, ПО, БПК₅, ХПК) часто превышают существующие нормативы. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в поверхностных водах рассматриваемого региона (фоновые) уровни нитритов, фосфатов, аммонийного азота, ванадия, марганца, железа, меди, цинка, ртути и, возможно, молибдена превышают существующие ПДК_{рх}. Максимальные фоновые концентрации кремния в речных водах могут превышать ПДК_{хп}.

Для сточных озёр лесной зоны данного БО характерны воды с очень малой минерализацией, низкой концентрацией главных ионов (на один-два порядка ниже ПДК_{рх}) и высоким содержанием растворенных органических веществ (значения ПО и ХПК превышают существующие нормативы). Воды указанных озёр отличаются концентрациями аммонийного азота, меди, цинка, марганца, железа и ртути, которые превышают (нередко существенно) ПДК_{рх} во всей водной озёрной массе. Это является отражением поступления в озеро богатых гумусовыми веществами болотных вод и поверхностно-почвенных вод с территории окружающих лесов.

Оценка региональных средних содержаний химических элементов в подземных водах различных ландшафтов провинции умеренновлажного климата свидетельствует о повышенном содержании в них целого ряда химических элементов и соединений, уровни которых превышают ПДК_{рх} (нитриты, аммонийный азот, Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Hg, в водах смешанно-лесных ландшафтов – Mo, V).

Камский бассейновый округ. По химическому составу речные воды данного БО в основном относятся к гидрокарбонатному классу кальциевого типа с «нормальной» минерализацией и содержаниями главных ионов, не выходящих за нормативные пределы. Повышенной и высокой минерализацией (до 1000–1500 мг/л, иногда больше) отличаются воды карстовых рек (особенно в районах развития гипсового и соляного карста), нередко имеющие сульфатный характер. К таким водотокам, например, относятся реки бассейна Сылвы (Барда, Ирень, Кисертка и др.), бассейна Яйвы, бассейна Чусовой (Лысьва), бассейна Косьвы, бассейна Белой (Дёма, Бирь, Быстрый Танып, Тюй, Бирь и др.), бассейна Вишерки и др. Воды этих рек отличаются также высокими концентрациями сульфатов, кальция, магния, часто превышающих уровень ПДК_{рх}. Водотоки южных засушливых районов территории БО также могут характеризоваться повышенной минерализацией воды и высокими концентрациями сульфатов.

Поверхностные водные объекты БО отличаются высокими природными содержаниями (выше нормативов) в воде органических веществ (по ХПК, ПО и БПК₅) и, в ряде районов, фенолов. Имеющиеся данные указывают также на то, что природные концентрации нитритов (зимой и весной) и фосфатов могут превышать ПДК_{рх}. Для большей части поверхностных вод рассматриваемой территории характерны повышенные (выше ПДК_{рх}) содержания железа, что обусловлено влиянием болотных вод, наличием горных пород с высокими концентрациями железа, зон минерализации, месторождений и рудопроявлений железных руд. Для поверхностных вод БО отмечаются высокие (выше нормативов) концентрации меди, марганца и цинка, что обусловлено естественными условиями формирования

их формирование, в первую очередь влиянием литолого-петрографического и минерального состава слагающих водосбор пород и почв, климатическими (достаточно высокая увлажненность) и металлогеническими (наличие разнообразных месторождений полезных ископаемых и в первую очередь рудных месторождений и рудопоявлений). Единичные сведения указывают на повышенные природные уровни в поверхностных водах алюминия, стронция и молибдена, концентрации которых достигают и даже превышают ПДК_{рх}.

Химический состав вод озер, расположенных в пределах БО, разнообразен, что обусловлено сложностью структурно-геологического строения, гидрогеологических и общих физико-географических условий территории. В типичных зональных условиях формируются озера с маломинерализованными (100–200 мг/л) гидрокарбонатными кальциево-натриевыми водами. Достаточно широко распространены карстовые озера, которые отличаются высокой минерализацией воды (нередко > 1 г/л) и концентрациями в ней ионов кальция, магния и сульфатов, приближающимися к ПДК_{рх} и превышающими их значения.

В ряде районов Башкортостана подземные воды отличаются высокими (выше нормативов) концентрациями Fe, Sr, Mn, значений минерализации и жесткости. Практически повсеместно в питьевых водах наблюдается недостаток J и F. В Предуралье в зоне свободного водообмена (в зоне гипергенеза) распространены гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые подземные воды с минерализацией от 300 до 10000 мг/л, в которых установлены высокие содержания Al, V, Fe, Ni, Cu, Zn стабильно превышающие уровень ПДК_{рх}. Установленные максимальные концентрации Al, Si, Ti, V, Mn, Pb, Mo также превышают существующие нормативы. Родниковые воды Татарстана, развитые в пределах распространения сульфатных пород (гипсы), отличаются высокой минерализацией (от 1 до 2,5 г/л), высокими концентрациями сульфатов и магния, которые зачастую превосходят нормативные значения.

Нижневожский бассейновый округ. Здесь многие реки отличаются гидрокарбонатной кальциевой водой со средней и чаще всего с повышенной минерализацией. Для целого ряда рек рассматриваемой территории (особенно ниже Куйбышевского водохранилища) характерно формирование вод повышенной минерализации при соответственном увеличении относительного содержания сульфатных ионов, удельные концентрации которых (наряду с магнием) превышают ПДК_{рх}, что в основном характерно для рек карстовых районов (Свияга и ее притоки, Б. Черемшан, Чапаевка и др., водотоки Жигулей) и для водотоков южной и юго-восточной части территории, особенно в пределах прикаспийских равнин, где развиты солонцеватые черноземы, светло-каштановые солонцеватые почвы и солонцы, а грунтовые воды залегают в линзах песка и супесей среди толщи глины на глубине 0–5 м на равнине и от 0 до 20 м на участках эоловыми формами рельефа, отличаются высокой минерализацией (до 3–100 г/л) и имеют хлоридный и сульфатный характер.

В южных районах БО распространены озера, вода которых имеет минерализацию свыше 1 г/л. Воды минеральных озер имеют различный химический состав, в районе Прикаспийской синеклизы озера по составу хлоридные натриевые (оз. Баскунчак), магниевые (оз. Эльтон) с минерализацией до 300 г/л и более.

Имеющиеся данные указывают на то, что для поверхностных вод территории данного БО в целом характерны природные содержания меди, железа и марганца, превышающие ПДК_{рх}.

Оценочные расчеты так называемых региональных допустимых концентраций (РДК для Нижней Волги) свидетельствуют о том, что природные содержания

хлоридов, сульфатов, аммонийного азота, нитритов, органических вещества (по БПК₅ и ХПК), меди и цинка превышают их ПДК_{рх}.

Уральский бассейновый округ. Речные воды в пределах западного участка данного БО в многоводные годы при минерализации 100–300 мг/л характеризуется преобладанием гидрокарбонатов и ионов кальция. В маловодные годы она отличается более высокой минерализацией (200–500 мг/л) и преобладанием хлоридов и натрия. В летнюю и зимнюю межень при минимальных расходах минерализация воды существенно возрастает. Имеющиеся данные не позволяют в полной мере охарактеризовать особенности природного распределения в поверхностных водах данного региона различных химических элементов и их соединений. Можно предположить, что речные воды здесь отличаются повышенными природными содержаниями хлоридов и железа. В бассейне р. Урала формируются преимущественно гидрокарбонатные воды, которые в течение всего года отличаются минерализацией не более 500 мг/л, часто в пределах 50–150 мг/л. Весной отмечается некоторое повышение содержания сульфатов. В случае развития в пределах водосборов типичных черноземов минерализация речных вод в течение года изменяется в пределах от 100 до 450 мг/л. В воде рек, дренирующих районы распространения солонцово-солончаковые почвенных комплексов вместе с солонцеватыми чернозёмами, природные концентрации сульфатов и хлоридов превышают ПДК_{рх}.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что воды водотоков бассейна р. Урала в целом отличаются повышенными концентрациями органических веществ (по значениям ХПК и ПО), превышающими существующие нормативы. Наблюдаемые максимальные природные концентрации нитритов и фосфатов в воде многих водных объектов превышают ПДК_{рх}. Наличие в пределах восточного участка Уральского БО природных геохимических аномалий, связанных с месторождениями рудных полезных ископаемых, рудопроявлениями и зонами минерализации, обусловило формирование повышенного природного (фоновое) содержания металлов (Cu, Zn, Fe, Mn) и сульфатов в поверхностных водах, уровни которых превышают ПДК_{рх}. Концентрации Fe_{общ} в поверхностных (особенно речных) водах на значительной части данной территории достаточно стабильно находятся на уровне указанного норматива и часто заметно превышают его.

По химическому составу воды пресные озера восточного участка Уральского БО разделяются на две подгруппы. Вода озёр, приуроченных к верхнему течению р. Урал, характеризуется гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом; минерализация её обычно не более 0,46 г/л. Озёра второй подгруппы (Карагайское, Култубан, Чебачье и др.) имеют более сложный катионный состав: магниевое-натриевый, кальциево-натриево-магниевый, натриево-магниевый-кальциевый, а минерализация их воды несколько повышена (до 0,65–0,77 г/л). Особую группу составляют солончатые и солёные озера (Мулдакуль, Атавды, Юж. Улянды, Сухое), которые имеют хлоридный, хлоридно-гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный состав воды, минерализация их воды колеблется от 2,2 до 23,5 г/л. Многие озера с минерализацией порядка 1–4 мг/л и концентрациями сульфатов, хлоридов, магния, натрия и калия часто существенно выше ПДК_{рх} являются высокопроизводительными рыбопромысловыми водоемами. Для воды многих озёр, особенно горнорудных районов, характерны высокие (часто выше ПДК_{рх}) концентрации Cu и Zn, иногда других металлов.

Региональная оценка среднего химического состава подземных вод аридной зоны Юж-ного Урала и Зауралья свидетельствует о том, что природные содержания в них сульфатов, хлоридов, натрия, калия, магния, марганца, цинка, меди,

молибдена, ванадия заметно выше ПДК_{рх}. Подземные воды характеризуются высокой минерализацией. С другой стороны, обращают на себя внимание очень низкие (на один-два порядка ниже ПДК) концентрации бора, бария, иода, хрома, рубидия, цезия.

Верхнеобский бассейновый округ. Речные воды территории БО, имеющие преимущественно выраженный гидрокарбонатный кальциевый характер, в основном характеризуются малой (100–200 мг/л) и средней (200–500 мг/л) минерализацией, в высокогорных районах (особенно в период весенне-летнего половодья) они обладают очень малой минерализацией (< 100 мг/л), что в существенной мере обусловлено притоком талых вод высокогорных снегов и ледников. В межженный период минерализация вод заметно увеличивается (до 700 мг/л в равнинных реках и до 300–400 в горных реках). По величине pH речные воды обычно относятся к категориям от слабокислых до нейтральных. Общая жесткость поверхностных вод в целом изменяется от 1 до 19,6 мг-экв/л; наиболее часто встречаются воды средней жесткости (3–6 мг-экв/л) и жесткие (6–9 мг-экв/л).

В левобережных притоках р. Оби (Шегарка, Чая, Парабель), в бассейнах которых обнаруживаются породы неогена, представленные глинами с известняковыми конкрециями, железисто-марганцевыми включениями и гипсом, минерализация вод может превышать 900 мг/л. В районах распространения черноземов обыкновенных, выщелочных и солонцеватых формируются преимущественно речные воды повышенной минерализации, имеющие неявно выраженный хлоридно-натриевый характер. Реки бессточного соленого оз. Чаны имеют воду высокой минерализации с повышенными концентрациями сульфатов, магния, натрия и калия.

На большей части территории БО поверхностные воды отличаются повышенными и высокими содержаниями органических веществ, причем средние и особенно максимальные значения показателей ХПК, ПО и БПК₅ обычно превышают существующие нормативы. Для многих территорий в поверхностных водах наблюдаются высокие (на уровне или выше ПДК_{рх}) природные концентрации фенолов и нефтепродуктов (веществ, идентифицируемых как нефтяные углеводороды), а также аммонийного азота, нитритов и фосфатов. В речных водах Алтая природные концентрации железа, меди и цинка практически во всех реках превышающие уровень ПДК_{рх}. Во многих реках фиксируются содержания никеля и ванадия, превышающие указанный норматив. В воде некоторых рек отмечаются аномальные концентрации ванадия. В речных водах бассейна р. Катунь концентрации общего железа, ртути, меди, цинка и алюминия стабильно превышают установленные ПДК_{рх}. Имеющиеся многочисленные сведения позволяют с высокой степенью достоверности утверждать, что в речных водах равнинной части БО природные концентрации железа, марганца, меди, алюминия и (часто) ртути превышают существующие ПДК_{рх}.

Минерализация воды озер Горного Алтая не превышает 100 мг/л (обычно 60–90 мг/л), а природные (фоновые) концентрации (особенно максимальные) Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Hg в озерной воде превышают ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, что отражает геохимическую специализацию геологических образований, развитых на водосборных площадях. В водах (обычно очень малой, реже малой минерализации) озер равнинной части БО, химический состав которых отражается влияние преимущественно природных факторов, постоянно фиксируются превышения установленных нормативов качества воды в объектах рыбохозяйственного назначения по pH (обычно характерна слабокислая среда), со-

держанию NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Hg, органических веществ (по ХПК, ПО и БПК₅), фенолов, веществ, идентифицируемых как нефтяные углеводороды.

Вода в основных рыбохозяйственных водоемах Новосибирской области по своему ион-ному составу (содержанию главных ионов и минерализации) соответствует требованиям, не-обходимым для нагула и размножения аборигенной ихтио-фауны, а также для товарного выращивания перспективных рыбоводных объек-тов (сазан, карп, пелядь, белый амур, толсто-лобики), но полностью не отвечает требованиям ПДК_{рх}.

Воды многих болот БО, являющиеся источниками питания водных объектов, отли-чаются малой или (реже) средней минерализацией и содержат большое (выше существую-щих нормативов и ПДК_{рх}) количество органических веществ (по ХПК и БПК₅), фенолов, аммонийного азота, нитритов, фосфатов, железа, мар-ганца, меди, цинка, иногда нефтепродуктов, ртути.

В подземных водах Колывань-Томской складчатой зоны средние концентрации железа, марганца, цинка, меди, ртути практически во всех водовмещающих породах и во всех ландшафтах заметно превышают существующие ПДК_{рх}. В некоторых случаях превышения нормативов наблюдаются для ванадия, аммонийного азота, нитритов и магния. В подземных водах горных областей фиксируются превышения ПДК_{рх} для нитритов, железа, алюминия, марганца, цинка, меди и ртути, для территории Алтая – бериллия, для лесостепных районов Салаира – аммонийного азота. В то же время в подземных водах всех указанных территорий наблюдаются очень низкие concentra-ции (на один-два порядка ниже ПДК_{рх}) бария, титана, хрома, циркония, олова. На территории Алтайского края ряд районов характеризуется природный состав подзем-ных вод высокой минерализацией (сухой остаток 1100–1800 мг/л), высокими концен-трациями хлоридов (300–400 мг/л), сульфатов (400–700 мг/л), железа (0,7 – 2,0 мг/л), высокой жесткостью (9–15 мг/л).

Иртышский бассейновый округ. Минерализация воды в р. Иртыше колеблет-ся в зависимости от сезона от 136 до 253 мг/л в половодье до 300–324 мг/л в зим-ний период, увеличиваясь по длине реки с юга на север до Усть-Ишима, за преде-лами Омской области несколько снижается до впадения в р. Обь. Солевой состав вод р. Иртыша преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, реже натрие-вый. Наличие в бассейне Нижнего Иртыша и в юго-восточной части бассейна Тобола (в полуаридных районах) разной степени засоленности почв определяют высокую природную минерализацию (больше 1 г/л) и сульфатно-натриевый или хлоридно-натриевый состав вод целого ряда рек. Уровни природного содержания в воде таких рек сульфатов, хлоридов, натрия, калия, магния заметно превышают ПДК_{рх}. На формирование химического состава многих рек бассейна Тобола большое влияние оказывают карстовые явления (Сосьва, Реж, Увелька, Нейва, Пышма, Миасс, Синара, Теча и их притоки), вода которых на отдельных участках (включая р. Тобол) может отличаться повышенной и даже высокой минерализа-цией и концентрациями главных ионов, превышающими нормативы.

Вода рек лесной территории рассматриваемого БО характеризуется содержа-ниями органических веществ (по значениям ХПК и ПО), практически во все се-зона постоянно превышающими существующие нормативы. Природные концен-трации нитритов и фосфатов могут превышать ПДК_{рх} в воде рек, питающихся болотными водами.

Оценка фоновых (природных) концентраций в речных водах железа, марганца, меди, нефтепродуктов и фенолов свидетельствует о том, что они даль большей части водотоков находятся на уровне или превышают ПДК_{рх}. Для некоторых рек

фоновые концентрации аммонийного азота и цинка в воде достигают или превышают установленный норматив.

Природная минерализация воды озер территории БО колеблется в весьма широких пределах и имеет тенденцию к увеличению от лесной к степной (полуаридной) зоне, где распространены озера с минерализованной водой (минеральные озера). Вода озер с повышенной и высокой минерализацией отличается концентрациями главных ионов, превышающими ПДК_{рх}. Как уже отмечалось, для оценки состояния (качества воды) подобных водных объектов должны быть разработаны специальные нормативы и показатели. Природные концентрации органических веществ (по ХПК и, в меньшей степени, по значению перманганатной окисляемости), железа, марганца, меди, аммонийного азота в воде озер (с минерализацией до 1 г/л) лесостепных районов превышают существующие нормативы ПДК_{рх}. Вода некоторых из таких озер отличается высокими (выше нормативов ПДК_{рх}) природными уровнями натрия и калия.

Нижеобский бассейновый округ. Особенности почвенного и растительного покрова в пределах большей части БО предопределяют формирование здесь поверхностных вод гидрокарбонатно-натриево-кальциевого характера преимущественно с малой (100–200 мг/л) и (реже) средней (200–300 мг/л) минерализацией и с высоким содержанием органических веществ. На состав воды рек тундры и лесотундры оказывает влияние вечная мерзлота, что обуславливает их очень малую минерализацию (от 10–20 до 80–90 мг/л в течение практически всего года). Для большинства рек минимальные значения минерализации воды (9–20 мг/л) наблюдаются во время весенних половодий, максимальные (60–73 мг/л) – в меженные периоды. Вода большинства рек является нейтральной или слабокислой (рН = 5,7–6,8). Для р. Оби в нижнем течении характерны маломинерализованные (127 мг/л), нейтральные и слабокислые (рН = 6,4–7,0), мягкие (1–3 градуса жесткости) воды гидрокарбонатно-кальциевого состава, с высоким содержанием органического вещества (цветность 65 град., ХПК 22 мгО/л). Для подавляющего большинства водных объектов характерны концентрации главных ионов на уровне порядка ниже ПДК_{рх}.

На подавляющей части территории Округа поверхностные (речные и озерные) воды характеризуются содержаниями органических веществ (по ХПК, БПК₅, ПО, цветности), достаточно стабильно превышающими нормативы ПДК_{рх}. Имеющиеся данные указывают на высокие природные концентрации в поверхностных водах фенолов и нефтепродуктов, уровни которых очень часто (на протяжении практически всего года) достигают и превышают ПДК_{рх}.

Своеобразие климатических условий, специфика почвенного и растительного покрова, наличие болот и многолетнемерзлых пород определяют на значительной части территории (можно считать, очевидно, что на всей) БО природные концентрации целого ряда химических элементов и соединений в поверхностных водах, достаточно стабильно превышающие ПДК_{рх}. Это, прежде всего, аммонийный азот, фосфаты, общее железо, медь, цинк, марганец, алюминий, нередко ртуть. Обращают на себя внимание достаточно высокие концентрации хрома, никеля и (иногда) свинца в речных водах, что может быть обусловлено природными факторами, но требует проверки. Природные воды восточного склона Полярного Урала отличаются накоплением в растворе поверхностных вод таких элементов-гидролизатов, как Fe, Mn, Al, Ni, Co, которые здесь достигают значительных концентраций, часто превышающих ПДК_{рх}. Концентрации кремния в речных водах в зимнюю межень достигают уровня ПДК_{хп}.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что воды озер БО в природных условиях характеризуются в основном кислой реакцией, а также природными содержаниями алюминия, железа, марганца и часто цинка, превышающими ПДК_{рх}. Для озерных вод п-ова Ямал, кроме того, характерны природные концентрации ОВ (по ПО и БПК₅), превышающие существующие нормативы. Для воды озер тундры, лесотундры и средней тайги фиксируются природные концентрации свинца, превышающие ПДК_{рх}, для озерных вод тундры, лесотундры и северной тайги – природные концентрации нефтепродуктов, превышающие указанный норматив.

Ангаро-Байкальский бассейновый округ. Формирование химического состава воды и гидрохимический режим рек, впадающих в оз. Байкал происходит в основном среди слабо выщелачиваемых изверженных или метаморфических пород архея и протерозоя, что определяет чаще всего очень малую (50–100 мг/л) и малую (100–200 мг/л) минерализацию речных вод и гидрокарбонатный кальциевый состав последних. В свою очередь, данный факт обуславливает очень малую минерализацию воды оз. Байкал (45–85 мг/л) и вытекающей из него р. Ангары (в истоке не более 97 мг/л). Содержания главных ионов на один-два порядка меньше ПДК_{рх}. Наличие в пределах водосбора некоторых рек (особенно Приангарья – например, р. Куда) осадочных пород, содержащих гипсы и поваренную соль, обуславливает формирование в реках вод повышенной и высокой минерализацией и концентрациями сульфатов, кальция и магния выше ПДК_{рх}.

В очень маломинерализованных водах оз. Байкал концентрации алюминия и меди не превышают ПДК_{рх}, а концентрации молибдена, никеля и ванадия составляют 0,5–0,9 долей от соответствующих нормативных значений.

Имеющиеся данные позволяют считать, что для поверхностных вод рассматриваемого региона характерны природные содержания органических веществ (по величине ХПК, БПК₅, ПО), фенолов и (иногда) нефтепродуктов, уровни которых достигают и даже превышают существующие нормативы на значительной его территории.

Для поверхностных вод большей части бассейна р. Ангары характерны повышенные природные концентрации железа, меди, марганца, иногда цинка, аммонийного азота, нитритов, фосфатов.

В зонах влияния рудных месторождений Забайкалья в воде водных объектов формируются достаточно протяженные и значительные по площади природные геохимические аномалии, отличающихся высокими содержаниями химических элементов и соединений, уровни которых превышают ПДК_{рх} (вольфрам, молибден, фтор, медь, цинк, сульфаты, железо, свинец, ванадий и др.) или приближаются к ним (кальций и др.). Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что концентрации меди и цинка в речных и озерных водах Забайкалья стабильно превышают уровень ПДК_{рх}. Не исключено, что такой особенностью могут отличаться и другие химические элементы.

Енисейский бассейновый округ. Большая часть поверхностных вод Енисейского бассейнового округа, включая воды р. Енисей, характеризуется минерализацией 90–160 мг/л в летне-осеннюю межень и 110–230 мг/л в зимнюю межень. Водотоки южной части территории характеризуются в целом более высокой минерализацией воды (до 300–500 мг/л). Водотоки самой северной части округа отличаются водой с очень малой минерализацией (нередко до 50 мг/л в летне-осеннюю межень). В реках, бассейны которых расположены в котловинах с засоленными почвами, минерализация воды увеличивается до 800–950 мг/л (не исключено, что на отдельных участках выше), а концентрации сульфатов и магния

превышают уровень ПДК_{рх} (реки Биря, Ерба и др.). Особенности химического состава поверхностных вод и его пространственная неоднородность во многом обусловлены сложностью и разнообразием геологического строения водосборных территорий. Так, бассейн р. Нижней Тунгуски, особенно в пределах Катанского района, имеет сложное геологическое строение, что определяет высокую пространственную изменчивость состава речных вод. Минерализация вод здесь варьируется от 300 до 1400 мг/л, что связано с выходами грунтовых вод на дневную поверхность, разгрузкой рассолов и соленых вод (в том числе, выходящих на дневную поверхность грунтовых вод, промывающих Непский свод калийных солей). Все это определяет высокие (выше ПДК_{рх}) концентрации в воде натрия, хлоридов, сульфатов и соответственно повышенную и высокую минерализацию речных вод.

Значения показателя ХПК в речных водах изменяется в пределах рассматриваемой территории от 2 до 69 мгО₂/л, перманганатной окисляемости – от 1 до 42 мгО₂/л, т. е. максимальные значения превышают нормативные величины. Воды с повышенными и высокими концентрациями органических веществ характерны главным образом для заболоченных бассейнов рек Западно-Сибирской низменности (реки Ка, Кемь, Сым, Елогуй, Турухан), некоторых облесенных водосборов рек Среднесибирского плоскогорья (бассейны Подкаменной Тунгуски и Нижней Тунгуски), Минусинской котловины (Минусинка, Биря и др.). Внутригодовой ход распределения этих величин характеризуется ясно выраженным максимумом в период прохождения весеннего половодья и обильных летне-осенних паводков. В период устойчивой низкой межени с уменьшением поверхностного и увеличением грунтового питания рек окисляемость достигает минимальной величины. В реках Минусинской котловины концентрации нитритов могут превышать ПДК_{рх}. Концентрации аммонийного азота в период весеннего половодья могут превышать ПДК_{рх}.

Содержание общего железа в речных водах территории Енисейского бассейнового округа в течение года изменяется от 0,01 до 1,28 мг/л, при этом наибольшие его концентрации (0,50–1,28 мг/л, т. е. существенно выше ПДК_{рх}) характерны для заболоченных водосборов рек Западно-Сибирской низменности (Белая, Кемь, Кас, Сым, Елогуй, Турухан), особенно в зимний период. Концентрации порядка 2–2,5 мг/л наблюдаются в воде рек Каса, Малого Ка-са. Вода Енисей в среднем течении характеризуются концентрациями железа в основном около и выше ПДК_{рх} (0,09 – 0,17 мг/л), а в районе г. Игарки увеличивается до 0,35–0,51 мг/л (т. е. заметно выше ПДК_{рх}).

В водах рек бассейна Пясины природные концентрации органических веществ (по БПК₃), азота аммонийного, нитритов, фосфатов, общего железа, меди, никеля, цинка, нефтепродуктов и фенолов могут превышать ПДК_{рх}. В водах рек Приенисейского Заполярья природные концентрации меди стабильно и заметно превышают ПДК_{рх}. Имеются оценки, согласно которым в водах р. Нижней Таймыры фоновые (природные) концентрации аммонийного азота, фосфатов, алюминия, железа общего, меди и ОВ (по БПК_{полн}) находятся на уровне ПДК_{рх}. Аналогичная оценка для р. Енисей указывает на то, что так называемые природные показатели качества его вод, полученные для железа, марганца, цинка, меди, фенолов и нефтепродуктов, превышают существующие ПДК_{рх}.

На территории Енисейского БО находится большое количество озер, в которых встречаются самые различные по степени минерализации воды (пресные, солоноватые, соляные) и химическому составу (гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные). В северной части территории Округа в условиях избыточной увлажнен-

ности, как правило, распространены пресные озера. В верхней и средней части бассейна р. Енисей в различных физико-географических условиях формируются озерные воды разного химического состава. Наряду с пресными здесь встречаются соленоватые и соляные озера (карбонатно-натриевые, сульфатно-натриевые, хлоридно-натриевые). Пресные озера обычно являются проточными или сточными, реже бессточными. Основное наполнение озерных котловин осуществляется маломинерализованными снеговыми водами в период весеннего половодья. В таких озерах обычно формируются воды малой и средней минерализации с преобладанием гидрокарбонатных, реже сульфатных или хлоридных ионов. В общем случае воды пресных озер по минерализации и химическому составу мало отличаются от вод местного стока. Минерализация воды пресных озер (Чагытай, Красное, Ойское, Тиберкуль, Някшингда, Советское, Мелкое, Лама, Глубокое, Кета, Кыллах-Кюель) составляет 19–542 мг/л. Резких сезонных колебаний минерализации не наблюдается.

В верхней части бассейна р. Енисей встречаются пресные озера, имеющие хлоридную натриевую воду (Мешкен-Куль). Пресные озерные воды достаточно насыщены кислородом (63–125%). Удельное содержание кислорода составляет 8,54–11,90 мгО₂/л. Величина рН воды колеблется от 6,8 до 9,2. Для озер северной части бассейна характерны наименьшие значения рН (6,88–7,35). Количество железа составляет 0,00–0,40 мг/л (т. е. может превышать ПДК_{рх}). Величина перманганатной окисляемости колеблется в пределах 1,9–26,5 мгО₂/л (т. е. может превышать ПДК_{рх}).

В озерных водах бассейна р. Пясины природные концентрации общего железа, меди, нефтепродуктов и фенолов могут превышать ПДК_{рх}. В водах озер Приенисейского Заполярья природные концентрации меди стабильно и заметно превышают ПДК_{рх}.

В подземных вод зоны интенсивного водообмена провинции с развитием многолетней мерзлоты в пределах Сибирской платформы уровни железа, алюминия, марганца, меди и ванадия, в в тех же водах Енисейского кряжа уровни железа, алюминия и (практически) меди превышают ПДК_{рх}.

В подземных водах Канско-Тасеевской впадины отмечаются высокие (по сравнению с существующими нормативами) концентрации нитритов, аммонийного азота, кремния, железа, стронция, брома, марганца, цинка, меди, ванадия. В подземных водах Назаровской и Рыбинской впадин для вод зоны выщелачивания характерны повышенные содержания марганца, цинка, меди, молибдена и ванадия, для вод зоны континентального засоления – вполне закономерная высокая минерализация и повышенные концентрации ранее указанных химических элементов.

В подземных водах зоны выщелачивания Рыбинской впадины отмечаются повышенные концентрации аммонийного азота, железа, марганца, цинка, меди, ванадия. В подземных водах Тувинской межгорной впадины отмечаются повышенные (больше ПДК_{рх}) концентрации железа, алюминия, стронция, марганца, меди, ванадия. В подземных водах Саянских гор фиксируются повышенные (выше ПДК_{рх}) концентрации железа, алюминия, марганца, цинка, меди и ванадия. Таким образом, подземные воды являются потенциальными источниками повышенной поставки в поверхностные водные объекты достаточно широкой группы химических элементов. В то же время обращают на себя внимание содержания в подземных водах целого ряда элементов, которые существенно (на порядок и более) ниже ПДК_{рх} (свинец, титан, хром, барий, мышьяк, олово, кадмий, кобальт).

Ленский бассейновый округ. Значительное разнообразие природных условий на водосборе р. Лены обуславливает неоднородность химического состава ее воды на различных участках. В геологическом строении бассейна верхнего течения р. Лены принимают участие породы различного состава, из которых наиболее существенное влияние на формирование химического состава воды оказывают карбонатные (известняки, доломиты и др.), сульфатные (гипсы, ангидриты) и галогенные (каменная соль) породы. Благодаря наличию тектонических нарушений в районе и значительной закарстованности перечисленных пород в бассейне верхнего течения р. Лены отмечаются многочисленные источники, выводящие на поверхность воды весьма различного химического состава и различной степени минерализации. Минерализация речных вод (в основном гидрокарбонатно-кальциевого, иногда сульфатно-кальциевого характера) в пределах БО в целом варьируется в пределах от менее 70–90 мг/л (чаще всего) до (реже) 400–500 мг/л. Невысокая минерализация вод предопределяет концентрации главных ионов существенно ниже существующих нормативов. В воде р. Лены наибольших значений минерализация достигает у г. Ленска, где колеблется от 130–190 до 825–1000 мг/л, что обусловлено влиянием притоков.

Для воды некоторых рек в силу геологического строения, наличия соляных пород, выходов минеральных источников и т. п. характерна высокая минерализация (более 1 г/л, иногда до 3 г/л и даже больше) и концентрации сульфатов, хлоридов, калия, натрия выше ПДК_{рх}, а также высокие уровни кальция (близкие нормативу). Например, в бассейне Кемпендяй (Кэмпэндээйи) расположено месторождение каменной соли и связанные с ним выходы соляных источников. В бассейнах рек Нюя, Бирюк, Большой Черепанихи и других известны выходы сульфатных источников, в долинах рек Пеледуй и Намана – хлоридных источников и т. д. В этих реках формируются соответственно сульфатные кальциевые воды и хлоридные натриевые воды. Высокими концентрациями сульфатов отличаются воды некоторых притоков р. Вилуя. В некоторых реках (Анабар, Алдан, Алазая и др.) в отдельные периоды может наблюдаться слабоокислая среда, в некоторых водотоках – слабощелочная среда.

Для подавляющей части речных вод БО природные концентрации органических веществ (по ХПК, ПО, цветности, редко по БПК₅) практически повсеместно и в течение большей части года превышают существующие нормативы. Поверхностные воды многих районов БО обогащены фенолами (особенно растительного происхождения), концентрации которых могут превышать ПДК в 2–20 раз. Поступление фенолов обусловлено естественными особенностями биохимических процессов, а также сведением древесной растительности, разложением закоренных остатков древесины и т. п. Нередко повышенные уровни нефтепродуктов могут быть обусловлены наличием природных углеводородов.

Природные концентрации фосфатов (особенно зимой), нитритов (особенно максимальные) и аммонийного азота в воде многих рек рассматриваемой территории превышают существующие ПДК_{рх}. Наблюдаемые максимальные содержания кремния в речных водах в период зимней межени превышают ПДК_{хл}. Природные уровни железа общего в поверхностных водах практически на всей территории БО стабильно и нередко значительно превышают уровень ПДК_{рх}. Установлено также, что для фоновых участков многих рек (ручьи и малые реки на участке бассейна р. Лены от г. Якутска до впадения р. Вилуя, Анабар, Оленек, Алдан с многочисленными притоками, Яна, Бытангай, Вилуя, Витим с многочисленными притоками, Олекма с многочисленными притоками) природные уровни меди, цинка, алюминия и марганца в речных водах превышают ПДК_{рх}.

Минерализация воды оз. Тырка в период открытого водоема составляет 170–240 мг/л., в период ледостава – 700–1400 мг/л (за счет роста концентраций гидрокарбонат-иона и кальций-иона). Концентрации железа общего варьируются в пределах 0,07–0,38 мг/л (т. е. может превышать ПДК_{рх}), значения перманганатной окисляемости изменяются в пределах – 16,9–31,6 мгО₂/л (существенно выше норматива). Вода других озер (Большое Леприндо, Неджели, Чаингда и др.) характеризуются незначительной минерализацией, обычно не превышающей 100 мг/л. Встречаются и озера с более высокой минерализацией воды, например, Ытык-Кёль и Улахан-Кёль (270–460 и 140–1910 мг/л соответственно). В ионном составе воды преобладают гидрокарбонаты и кальций. Характерной особенностью большинства озер является незначительное содержание в их водах соединений азота и фосфора. В воде озер дельты р. Лена содержания легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) обычно выше нормативных, а в воде некоторых озер установлены концентрации цинка и марганца, достигающие и даже превышающие ПДК_{рх}. Вода озер, расположенных в бассейне р. Алазеи, отличается очень малой (менее 100 мг/л) или малой (100–200 мг/л) минерализацией, содержанием органических веществ (по ХПК и показателю цветности) выше нормативов, а также концентрациями железа общего и азота аммонийного, превышающими ПДК_{рх}.

Анадыро-Колымский бассейновый округ. Воды р. Колымы отличаются гидрокарбонатным кальциевым составом, очень малой минерализацией (44,8–93,3 мг/л) и соответственно концентрациями главных ионов существенно ниже (на один-три порядка) значений ПДК_{рх}. Имеющиеся данные позволяют считать, что природные (фоновые) содержания общего железа, меди, фенолов, цинка и трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) в речных водах рассматриваемой территории превышают существующие ПДК_{рх}. Не исключено также, что в природных условиях в поверхностных водах присутствуют нефтяные углеводороды, которые при анализах интерпретируются как нефтепродукты.

Химический (солевой) состав речных вод п-ва Камчатки довольно однообразен. Речные воды здесь обладают в основном очень малой (меньше 100 мг/л, часто существенно меньше) и (очень редко) малой минерализацией (несколько больше 100 мг/л). Во время крупных извержений вулканов минерализация воды в окружающих пресных потоках может увеличиваться до 2,5 г/л, в течение года уменьшаясь до 1,1 г/л. Содержание общего железа, меди и цинка в поверхностных водах Камчатки, судя по имеющимся данным, достаточно стабильно и на всей территории превышают уровень ПДК_{рх}. Максимальные содержания нитритов, фосфатов и значений ПО для воды многих рек также могут превышать нормативы (они обычно характерны для периода нереста рыбы). В поверхностных водах бассейнов рек Камчатки, Авачи и Паратунки природные (фоновые) концентрации нитритов стабильно превышают ПДК_{рх}. Для рек Камчатки характерно также высокие содержания кремнекислоты (до 43 мг/л).

Своеобразным составом характеризуются поверхностные воды рудных районов данного БО. Аномальные воды, связанные с проявлением рудной минерализации, имеют сульфатный и гидрокарбонатно-сульфатный состав, повышенную и высокую минерализацию (нередко более 1 г/л, особенно за счет роста концентрации сульфатов), pH 4,0–6,6 (кислые), отличаются высокими содержаниями тяжелых металлов (медь, цинк, свинец), химических элементов (сурьма) и сульфатов. Их концентрации обычно существенно превышают ПДК_{рх}. Протяженность геохимических аномалий (водных потоков рассеяния) в поверхностных водных объектов обычно составляет несколько километров.

Амурский бассейновый округ. Поверхностные воды Амурского бассейнового округа в природных условиях характеризуются преимущественно очень малой и малой минерализацией, низкой жесткостью, концентрациями главных ионов существенно ниже ПДК_{рх} и в основном гидрокарбонатным кальциевым характером. Средняя минерализация свойственна водам рек Курильских островов (до 250–400 мг/л), которые дренируют склоны действующих вулканов или расположены в области интенсивной разгрузки минеральных вод. Повышенная (0,5–1 г/л) и высокая (более 1 г/л) минерализация вод наблюдается в устьевых частях большинства рек БО во время приливов (что сопровождается формированием вод хлоридно-натриевого характера). Для воды некоторых водотоков, особенно дренирующих болотные массивы, нередко фиксируется слабокислая среда.

Для речных вод Дальневосточного региона, включая о. Сахалин и Курильские о-ва, и особенно для водных объектов бассейна Амура практически повсеместно характерны высокие природные (фоновые) содержания органических веществ (по ХПК, иногда по ПО, реже по БПК₅), которые превышают существующие нормативы, а также фенолов, для которых характерно практически повсеместное превышение ПДК_{рх}, являющееся следствием природных факторов и явлений и не нарушающее санитарный и гидробиологический режим водных объектов. В отдельных случаях в речных водах наблюдаются высокие концентрации нефтяных углеводородов, обусловленные естественными процессами их продуцирования. Для поверхностных вод на значительной части рассматриваемой территории фиксируются природные концентрации аммонийного азота, фосфатов, иногда нитритов, превышающие ПДК_{рх}. Особенно высокие концентрации указанных компонентов, прежде всего фосфатов, наблюдаются в воде рек осенью после нереста лососевых пород рыб.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что для поверхностных вод территории БО характерны практически повсеместно и круглый год концентрации общего железа, меди, цинка, реже марганца (типичен для о. Сахалин), иногда стронция (Верхний Амур), превышающие уровень ПДК_{рх}. В воде р. Пунчи), в бассейне которой расположено месторождение холодных углекислых минеральных вод, концентрации железа, марганца, ванадия, меди, цинка превышают ПДК_{рх}. Для вод рек Забайкальского края характерно повышенное содержание марганца, цинка, меди, молибдена и др., что обусловлено влиянием соответствующих месторождений. Некоторые реки Восточного Забайкалья отличаются высокими концентрациями в воде мышьяка (до 0,6–0,7 ПДК_{рх}). В воде рек, дренирующих болотные массивы, концентрации кремния нередко превышают ПДК_{хл}. Высокими концентрациями кремния отличаются также воды некоторых рек о. Сахалина.

Итоговые результаты обобщения данных систематизированы в таблице 14, из которой следует, что уже сейчас с большой степенью достоверности можно утверждать, что распределение многих химических элементов и соединений, которые используются в оценках степени загрязнения и качества поверхностных вод определяется природными условиями и природными факторами. Без учета данного факта имеющиеся оценки состояния поверхностных вод и степени их техногенного загрязнения не отражают реальной ситуации, существующей в пределах нашей страны.

Таблица 14

Природный состав воды поверхностных водных объектов в пределах бассейновых округов и ПДК_{рвс} требующие пересмотра

Бассейновый округ (БО)	Общая характеристика состава поверхностных вод, требующая учета при нормировании качества вод, оценках состояния водных объектов и таксации водных объектов рыбохозяйственного значения	Показатели, требующие пересмотра ПДК для БО в целом	Показатели, требующие пересмотра нормативов ПДК для отдельных районов и(или) водных объектов БО	Показатели, требующие уточнений	Характерные загрязняющие вещества для БО, обычно используемые при расчетах УКИЗВ
Балтийский	Воды (за исключением Калининградской обл.) отличаются очень малой (< 100 мг/л, нередко $< 40-50$ мг/л) и малой (100–200 мг/л) минерализацией, уровнем главных ионов на один-два порядка ниже ПДК _{рвс} .	цветность, ПО, ХПК, БПК ₅ , Fe _{общ}	Mn, Cu, NO ₂ ⁻ , фенолы, pH	Al, Zn, NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻	XПК, БПК ₅ , Fe _{общ} , Cu, Mn
Баренцево-Беломорский	Воды отличаются очень малой (< 100 мг/л, часто $< 40-50$ мг/л, иногда < 20 мг/л) и (реже) малой (100–200 мг/л) минерализацией, содержаниями главных ионов на один-два порядка ниже ПДК _{рвс} . Для озерных вод региона характерны очень низкие (существенно ниже ПДК, нередко многократно) содержания Li, Rb, Cs, Ag, Ba, Sr, Zr, Sn, As, Bi, Cr, J	цветность, ПО, ХПК, БПК ₅ , фенолы, Fe _{общ} , Cu, Al, Mn	PO ₄ ³⁻	-	XПК, БПК ₅ , Fe _{общ} , Cu, Mn, фенолы
Двинско-Печерский	Воды характеризуются минерализацией в пределах от 50–100 до 300–500 мг/л. Наименьшие значения минерализации характерны для бассейна Печоры (50–80 мг/л) и для водных объектов Большеземельской тундры (6–96 мг/л). Воды региона отличаются низкими содержаниями фтора (не более 0,05 мг/л). Есть районы, в водах которых в результате проявления различных природных факторов минерализация и соответственно содержания главных ионов могут существенно увеличиваться (район месторождений Варандей-Адзьвинской зоны, карстовые районы, лесная зона). Для некоторых водотоков и водоемов характерно формирование кислой среды.	Fe _{общ} , ПО, БПК ₅ , ХПК, Cu, Zn, Mn, Al,	SO ₄ ²⁻ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻	Pb, Mo,	Cu, Zn, Fe _{общ} , ХПК, БПК ₅ , нередко Mn, Al, фенолы, нефтепродукты, NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻

Днепропровский	В пределах фоновых участков рек в водах наблюдаются достаточно высокие уровни (до 0,6 ПДК _{рек}) нефтепродуктов. Целый ряд химических элементов в озерных водах характеризуется концентрациями, которые многократно ниже установленных нормативов (Cs, Rb, Ba, B, Sn, Ti, Co, W, Cr).	Fe _{общ} , Cu, ХПК, БПК ₅ , фенолы,	Al, Mn	ХПК, БПК ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , Fe _{общ} , Cu, фенолы, нефтепродукты.
Донской	Минерализация вод в пределах БО изменяется от 100 до 7000 мг/л, а химический состав – от гидрокарбонатных на северо-западе территории до хлоридных и сульфатных – на юго-востоке. Среднегодовое значения минерализации речной воды в пределах верхнего и среднего течения Дона (незарегулированный участок) изменяются в диапазоне 410–590 мг/л, среднегодовые – 370–620 мг/л, что вполне может считаться современным «нормальным» значением. Природные водные объекты с минерализацией воды существенно более 1 г/л распространены на водосборах, характеризующихся наличием сульфатного засоления почв и грунтов (водосборы рек Егорлык, Средний Егорлык, Ташла, Тузлов, Большой Несветай). Вода этих рек характеризуется высокой минерализацией (до 6 г/л), сульфно-натриевым или сульфатно-кальциевым составом. Сульфатно-хлоридное засоление почвогрунтовой толщи характерно для водосбора р. Сал, в которой минерализация речной воды в течение всего года высокая (1–4,5 г/л), а по химическому составу вода реки относится к сульфатно-хлоридному классу группы натрия. Озерные воды сухих степей и полупустыни отличаются высокими (выше ПДК) концентрациями сульфатов, хлоридов, кальция, магния, натрия, фосфора, Cu, Al, Sr, Zn, V, Mo, Mn, Br, Fe. Оценку состояния водных объектов, состав воды которых в природных условиях изначально имеет сульфатный или хлоридный характер (при минерализации всегда заметно больше 1 г/л), следует осуществлять на основании специально для них разработанных нормативов.	Fe _{общ} , ХПК, БПК ₅ , Cu, Mn	NH ₄ ⁺ (верховые), NO ₂ ⁻ (верховые), SO ₄ ²⁻ (низовые), PO ₄ ³⁻ (в районах распространения фосфоритов, озера лесостепи и степи), V (озера лесостепи и степи)	Ниже Цимлянского водохранилища – ХПК, БПК ₅ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe _{общ} , NO ₂ ⁻ , нефтепродукты, PO ₄ ³⁻ , Mn, Zn, Cu. Низовые бассейны Дона – Cu, нефтепродукты, SO ₄ ²⁻ , NO ₂ ⁻ , БПК ₅ , Fe _{общ} , NH ₄ ⁺ , иногда Mn, Co, Ni, As, F, Hg

Кубанский	Минерализация воды рек бассейна Кубани составляет в верховьях 30 мг/л, среднем течении – до 300 мг/л, в устье – 150–250 мг/л. На значительной территории бассейна доминируют гидрокарбонатные кальциевые воды. Для отдельных участков Кубани и для некоторых ее притоков наблюдаются повышенные (до 0,5–0,8 ПДК _{рек}) концентрации ионов кальция и (редко) ионов магния. Воды в пределах междуречья Кубани и Дона отличаются высокой минерализацией (1,3–5,6 г/л) и сульфатно-натриевым составом; концентрации главных ионов существенно превышают ПДК, что в целом обусловлено природным фактором.	Mn, Cu, Fe, ХПК, ПО	SO ₄ ²⁻ (верховья бассейна Кубани), Zn, БПК ₅ , PO ₄ ³⁻	Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, SO ₄ ²⁻ , БПК ₅ , фенолы, нефтепродукты, NO ₂ ⁻
Западно-Каспийский	В пределах территории на юг от бассейна Терсека до Государственной границы РФ распространены реки с природно обусловленным сульфатным классом воды и высокой (> 1 г/л) минерализацией. В бессточных районах междуречья Терсека, Дона и Волги большая часть водных объектов характеризуется водой хлоридно-натриевого или (в несколько меньшей степени) сульфатно-натриевого состава, очень высокой минерализацией, высокими уровнями главных ионов, что является следствием природных условий их формирования.	SO ₄ ²⁻ , Mg, Mn, Fe _{общ} (территория на юг от бассейна Терсека до Государственной границы РФ); главные ионы, Mn, PO ₄ ³⁻ (междуречье Терсека и Волги); Al, Fe _{общ} , Cu, Mn (бассейн р. Терсека); Mo, W, SO ₄ ²⁻ , Mg, Na, Ca, NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , ХПК, ПО (воды отдельных рек, особенно в рудных районах)		нефтепродукты, Cu, Al, Fe _{общ} , SO ₄ ²⁻
Верхневолжский	Здесь расположены водные объекты, характеризующиеся заметным разнообразием гидрохимических параметров воды, но минерализация и распределение главных ионов в речных водах его большей части не выходят за пределы существующих нормативных величин. В районах развития карста минерализация речных вод во все сезоны года превышает 1 г/л и отличается высокими (выше ПДК _{рек}) концентрация сульфатов, магния и кальция. Повышенной минерализацией и высокими концентрациями сульфатов и хлоридов отличаются также реки, в долинах которых имеются источники хлоридно-сульфатных минеральных вод. Некоторые малые реки болотных территорий обладают водой с pH менее 6,5. Большинство озер по условиям питания мало отличаются от речных вод, что определяет близость их солевого состава к речным водам. На отдельных водоемах (карстовые районы) в летний период наблюдается преобладание сульфатов.	ХПК, ПО, БПК ₅ , Fe _{общ} , Cu, Mn, Zn, SO ₄ ²⁻ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ (карстовые районы), NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ (сточные озера лесной зоны)	фенолы, нефтепродукты, NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻	ХПК, БПК ₅ , Cu, Mn, Zn, Fe, иногда NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , фенолы, нефтепродукты

Продолжение таблицы 14

Окский	Минерализация (в меженный период) воды составляет порядка 300–400 мг/л. Общий химический состав воды рек Окского бассейна укладывается в известные региональные гидрохимические параметры и существующие нормативы. Исключение составляют реки карстовых районов, где формируются речные воды с высокой минерализацией (более 1 г/л) и концентрациями сульфатов, кальция и магния, превышающими ПДК _{рек} (например, бассейн рек Тешы, Упы, Цны). Озера лесной зоны отличаются водой с очень малой минерализацией и низкими концентрациями главных ионов.	цветность, ПО, БПК ₅ , ХПК, NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , V, Mn, Fe _{общ} , Cu, Zn, Hg	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (карстовые районы)	Mo, Al	XПК, БПК ₅ , Cu, Mn, Zn, Fe, фенолы, нефтепродукты, NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , NH ₄ ⁺ , ионно-гидратные для некоторых объектов Al, SO ₄ ²⁻
Камский	По составу речные воды в основном относятся к гидрокарбонатному классу кальциевого типа с «нормальной» минерализацией и содержаниями главных ионов, не выходящих за нормативные пределы. Повышенной и высокой минерализацией (до 1000–1500 мг/л) отличаются воды карстовых рек (особенно в районах развития гипсового и соляного карста), нередко имеющие сульфатный характер. Воды этих рек отличаются также высокими концентрациями сульфатов, кальция, магния, часто превышающих уровень ПДК _{рек} . Водотоки южных засушливых районов также отличаются повышенной минерализацией воды и высокими концентрациями сульфатов. В типичных зональных условиях формируются озера с маломинерализованными (100–200 мг/л) гидрокарбонатными водами. Достаточно широко распространены карстовые озера, которые отличаются высокой минерализацией воды (нередко > 1 г/л).	ХПК, ПО, БПК ₅ , Fe _{общ} , Cu, Mn, Zn	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (карстовые районы), SO ₄ ²⁻ (южные засушливые районы), фенолы	NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Al, Sr, Mo	XПК, БПК ₅ , Fe, Cu, Mn, фенолы, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , нефтепродукты, ионно-гидратные для некоторых объектов Zn, Ni, SO ₄ ²⁻
Нижневолжский	Многие реки отличаются гидрокарбонатной кальциевой водой со средней и чаще всего с повышенной минерализацией. Для ряда рек (особенно ниже Куйбышевского водохранилища) характерно формирование вод повышенной минерализации при соответственном увеличении относительного содержания сульфатных ионов, удельные концентрации которых (наряду с магнием) превышают ПДК _{рек} , что в основном характерно для рек карстовых районов и для водотоков южной и юго-восточной части территории. В южных районах есть озера с минерализацией воды свыше 1 г/л. В районе Прикаспийской синеклизы озера по составу воды хлоридные натриевые и хлоридные магнелие с минерализацией до 300 г/л и более.	Cu, Fe _{общ} , Mn	SO ₄ ²⁻ (карстовые районы, южные и юго-восточные районы)	Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , БПК ₅ , ХПК, Hg	Cu, Fe, Mn, БПК ₅ , ХПК, фенолы, NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , нефтепродукты, Hg

Уральский	Речные воды в пределах западного участка БО в многоводные годы имеют минерализацию 100–300 мг/л, характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым составом; в маловодные годы отличаются более высокой минерализацией (200–500 мг/л) и преобладанием хлоридов и натрия. В летнюю и зимнюю межень при минимальных расходах минерализация воды возрастает. В бассейне Урала формируются в основном гидрокарбонатные воды, которые имеют минерализацию не более 500 мг/л, часто в пределах 50–150 мг/л. При развитии на водосборах типичных черноземов минерализация вод составляет 100–450 мг/л. Вода озёр, приуроченных к верхнему течению Урала, характеризуется гидрокарбонатным кальциево-магнелиевым составом; минерализация её не более 0,46 г/л. Другие озера имеют сложный катионный состав воды и её минерализацию до 0,65–0,77 г/л. Особую группу составляют солоноватые и солёные озера, минерализация воды которых от 2,2 до 23,5 г/л. Многие озера с минерализацией 1–4 мг/л и концентрациями сульфатов, хлоридов, магния, натрия и калия выше ПДК_{кр} являются рыбопромысловыми водоёмами.	ХПК, ПО, NO₂³⁻, PO₄³⁻, Cu, Zn, Fe_{общ}, Mn (бассейн р. Урала), Cl⁻, Fe_{общ} (западный участок БО), SO₄²⁻, Cl⁻ (районы развития солонцово-солончаковых почвенных комплексов; Cu, Zn (озера горнорудных районов)		ХПК, БПК₅, NO₂⁻, Fe_{общ}, NH₄⁺, редко Cu и Zn (западный участок); Cu, Zn, Fe, Mn, NH₄⁺, NO₂⁻, SO₄²⁻, нефтепродукты, БПК₅, ХПК, в меньшей степени фенолы и PO₄³⁻ (восточный участок)
Верхнеоб-ский	Речные воды, имеющие преимущественно гидрокарбонатный кальциевый характер, характеризуются малой (100–200 мг/л) и средней (200–500 мг/л) минерализацией, в высокогорных районах они обладают очень малой минерализацией (< 100 мг/л). В меженный период минерализация вод заметно увеличивается (до 700 мг/л в равнинных реках и до 300–400 в горных реках). По величине pH речные воды обычно относятся к категории от слабых до нейтральных. Минерализация воды озера Горного Алтая не превышает 100 мг/л (обычно 60–90 мг/л). В левобережных притоках р. Оби, в бассейнах которых обнаруживаются породы неогена, представленные глинами с известняковыми конкрециями, железисто-марганцевыми включениями и гипсом, минерализация вод может превышать 900 мг/л. В районах распространения черноземов обыкновенных, выщелочных и солонцеватых формируются воды повышенной минерализации, имеющие неявно выраженный хлоридно-натриевый характер. Реки бессточного солёного оз. Чаны имеют воду высокой минерализации с высокими концентрациями сульфатов, магния, натрия и калия.	ХПК, ПО, БПК₅, фенолы, нефтепродукты, NH₄⁺, NO₂⁻, PO₄³⁻, Fe_{общ}, Cu, Zn, Ni, V (некоторые реки Алтая), Fe_{общ}, Cu, Zn, Hg, Al (бассейн р. Катунь), Fe_{общ}, Mn, Cu, Al (реки равнинной части), Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Hg (озера Горного Алтая), NH₄⁺, PO₄³⁻, Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Hg, ХПК, ПО, БПК₅, нефтепродукты (озера равнинной части)	Hg	нефтепродукты, СПАВ, фенолы, NH₄⁺, NO₂⁻, Fe, Cu, Zn, Mn, ХПК, БПК₅, иногда Hg.

Ангаро-Байкальский	Формирование химического состава воды и гидрохимический режим рек, впадающих в оз. Байкал происходит в основном среди слабо выщелачиваемых изверженных или метаморфических пород архея и протерозоя, что определяет чаще всего очень малую (50–100 мг/л) и малую (100–200 мг/л) минерализацию речных вод и гидрокарбонатный кальциевый состав последних. Данный факт обуславливает очень малую минерализацию воды оз. Байкал (45–85 мг/л) и выделение из него р. Ангары (в истоке не более 97 мг/л). Содержание главных ионов на один-два порядка меньше ПДК _{грк} . Наличие в пределах водосбора некоторых рек (особенно Приангарья) осадочных пород, содержащих гипсы и повзрнувшую соль, обуславливает формирование в реках вод повышенной и высокой минерализацией с высокими концентрациями сульфатов, кальция и магния.	ХПК, БПК ₅ , ПО, фенолы	Al, Cu (оз. Байкал), SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (районы карста), Fe _{обш} , Cu, Mn (бассейн Ангары), Zn, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ (некоторые объекты бассейна Ангары) Cu, Zn (Забайкалье) W, Mo, F, Cu, Zn, SO ₄ ²⁻ , Fe _{обш} , Pb, V (рудные зоны)	нефтепродукты, Mo, Ni, V	нефтепродукты, Hg, Cu, органические и азотсодержащие вещества, литинин, формальдегид (бассейн Ангары), фенолы, нефтепродукты, Fe _{обш} , Cu, Zn (бассейн Селенги)
Енисейский	Большая часть вод, включая воды Енисея, характеризуются минерализацией 90–160 мг/л в летне-осеннюю и 110–230 мг/л в зимнюю межень. Водотоки южной части БО отличаются более высокой минерализацией воды (до 300–500 мг/л). Водотоки самой северной части БО имеют воду с очень малой минерализацией (до 50 мг/л в летне-осеннюю межень). В реках, бассейны которых расположены в котловинах с засоленными почвами, минерализация воды увеличивается до 800–950 мг/л и более, концентрации сульфатов и магния превышают ПДК _{грк} . В бассейне р. Ниж. Тунгуски минерализация вод варьируется от 300 до 1400 мг/л, что связано с выходами грунтовых вод на дневную поверхность, разрушкой рассолов и солевых вод. На территории БО находится много озер, в которых встречаются различные по минерализации воды (пресные, солоноватые, соляные) и химическому составу (гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные). В северных районах в условиях избыточной увлажненности распространены пресные озера. В верхней и средней части бассейна Енисея формируются озерные воды разного химического состава (пресные, солоноватые, соляные озера). Обычно воды пресных озер по минерализации и химическому составу мало отличаются от вод местного стока.	SO ₄ ²⁻ , Mg (реки в котловинах с засоленными почвами), Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Mg (реки в районах выхода рассолов и солевых вод), ХПК, ПО (заболоченные бассейны рек Западно-Сибирской низменности, некоторые обесленные водосборы рек Среднесибирского плоскогорья и Минусинской котловины), Fe _{обш} (заболоченные бассейны рек Западно-Сибирской низменности), БПК ₅ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Fe _{обш} , Cu, Ni, Zn, нефтепродукты, фенолы (бассейн р. Пясины), Cu (реки Приенисейского Заполярья), БПК _{кальц} , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ³⁻ , Fe _{обш} , Cu, Al, Zn (р. Нижняя Таймыра), Fe _{обш} , Cu, Mn, Zn, нефтепродукты, фенолы (р. Енисей)		нефтепродукты, NH ₄ ⁺ , Fe _{обш} , Cu, Ni, Zn, Al, Mn, ХПК, PO ₄ ³⁻ , фенолы, NO ₂ ⁻	

Ленский	Разнообразие природных условий на водосборе Лены обуславливает пространственную неоднородность химического состава вод. В геологическом строении бассейна верхнего течения Лены принимают участие породы различного состава, из которых наиболее существенное влияние на формирование химического состава воды оказывают карбонатные, сульфатные и галогенные породы. Благодаря наличию тектонических нарушений в районе и значительной закарстованности пересеченных пород в бассейне верхнего течения Лены есть источники, выводящие на поверхность вод различного химического состава и разной степени минерализации. Минерализация речных вод (гидрокарбонатно-кальциевого, иногда сульфатно-кальциевого состава) варьируется в пределах от $< 70-90$ мг/л (чаще всего) до (реже) $400-500$ мг/л. Невысокая минерализация вод предопределяет концентрации главных ионов существенно ниже ПДК. В воде Лены наибольших значений минерализация достигает у г. Ленска (от $130-190$ до $825-1000$ мг/л), что обусловлено влиянием притоков. Для воды некоторых рек в силу геологического строения, наличия соляных пород, выходов минеральных источников характерна минерализация > 1 г/л, иногда до 3 г/л и больше, уровни сульфатов, хлоридов, калия, натрия выше ПДК_{рк} и кальция (близкие нормативу).	ХПК, ПО, цветность, фенолы, NH_4^+, NO_2^-, PO_4^{3-}, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn, Al, Mn		БПК ₅ , нефтепродукты	ХПК, БПК ₅ , $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn, Mn, NH_4^+ , фенолы, взвешенные вещества, нефтепродукты.
Анадыро-Кольмский	Воды р. Колымы отличаются гидрокарбонатным кальциевым составом, очень малой минерализацией ($44,8-93,3$ мг/л) и соответственно концентрациями главных ионов существенно ниже (на один-три порядка) значений ПДК_{рк}. Химический (солевой) состав речных вод Камчатки довольно однороден. Речные воды обладают в основном очень малой (меньше 100 мг/л, часто существенно меньше) и (очень редко) малой минерализацией (несколько больше 100 мг/л). Во время крупных извержений вулканов минерализация воды в окружающих пресных потоках может увеличиваться до $2,5$ г/л, в течение года уменьшаясь до $1,1$ г/л.	$\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn, фенолы, ХПК (бассейн Колымы и других рек Северо-Востока), $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn (реки п-ова Камчатки), PO_4^{3-}, NO_2^-, PO_4^{3-} (нерестовые реки п-ова Камчатки), NO_2^- (бассейны рек Камчатки, Авачи и Паратунки), SO_4^{2-}, Cu, Zn Pb, Sb (рудные районы)		нефтепродукты	Cu, Zn, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, фенолы, ХПК, БПК ₅ , для п-ова Камчатки, кроме того, нефтепродукты, иногда Cd, Pb

Продолжение таблицы 14

Амурский	Воды в природных условиях характеризуются преимущественно очень малой и малой минерализацией, низкой жесткостью, концентрациями главных ионов существенно ниже ПДК_{грх} и в основном гидрокарбонатным кальциевым характером. Средняя минерализация свойственна водам рек Курильских островов (до 250–400 мг/л), которые дренируют склоны действующих вулканов или расположены в области интенсивной разгрузки минеральных вод. Повышенная (0,5–1 г/л) и высокая (более 1 г/л) минерализация вод наблюдается в устьевых частях большинства рек БО во время приливов (что сопровождается формированием вод хлоридно-натриевого характера). Для воды некоторых водотоков, особенно дренирующих болотные массивы, нередко фиксируется слабокислая среда.	ХПК, фенолы, NH_4^+, PO_4^{3-}, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn	NO_2^- (для ряда нерестовых рек) Mn (о. Сахалин, ряд водных объектов бассейна Амура), Sr (Верхний Амур), V, Mn (р. Пунчи), Mo (реки Забайкальского края в рудных зонах)	ШО, БАК₅, As (некоторые реки Вост. Забайкалья)	ХПК, (реже БПК₃), NH_4^+, NO_2^-, общее $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Cu, Zn, фенолы, нефтепродукты, в меньшей степени Ni, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Mn, Al
----------	--	--	--	--	--

Таким образом, полученные результаты однозначно указывают на необходимость учета региональных природных особенностей химического состава природных вод при оценках состояния и степени техногенного загрязнения поверхностных вод, а также при разработке природоохранных нормативов их качества.

Литература

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: ГИМИЗ, 1956. – 296 с.
2. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
3. *Алексеевский Н.И.* Генетический анализ качества воды // География. Вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1993, с. 224–228.
4. *Андреев В.В.* Региональные проблемы нормирования качества воды // Современное состояние водных ресурсов Нижней Волги и проблемы их управления: материалы научно-практической конференции. – Астрахань, 2009, с. 12–15.
5. *Баранов Э.Н.* Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. – М.: Наука, 1987. – 296 с.
6. *Бушев А.Г., Гаврилов А.И., Поленов Ю.А., Черкашина Н.А.* Токсичные органические соединения в пегматитовом сырье // Разведка и охрана недр, 1994, № 2, с. 35–37.
7. *Вернадский В.И.* Биосфера. Ч. 1–2. – Л.: Научхимтехиздат, 1926. – 146 с.
8. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 2001. – 376 с.
9. *Вернадский В.И.* История природных вод. – М.: Наука, 2003. – 750 с.
10. *Виноградов А.П.* Биогеохимические провинции и эндемии // ДАН СССР, 1938, т. 18, № 4/5, с. 283–286.
11. Водная стратегия РФ на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р.
12. Водный кодекс Российской Федерации от 12.04.2006 г. (в ред. Федеральных законов от 04.12.2006 № 201-ФЗ, 19.06.2007 № 102-ФЗ, 14.07.2008 № 118-ФЗ, 23.07.2008 № 160-ФЗ, 24.07.2009 № 209-ФЗ, 27.12.2009 № 365-ФЗ, 28.12.2010 № 420-ФЗ, 11.07.2011 № 190-ФЗ, 18.07.2011 № 242-ФЗ, 19.07.2011 № 246-ФЗ, 19.07.2011 № 248-ФЗ, 21.07.2011 № 257-ФЗ, 21.11.2011 № 331-ФЗ, 06.12.2011 № 401-ФЗ, 07.12.2011 № 417-ФЗ, 25.06.2012 № 93-ФЗ, 28.07.2012 № 133-ФЗ, 07.05.2013 № 87-ФЗ).
13. Воды нефтяных и газовых месторождений СССР. – М.: Недра, 1989. – 382 с.
14. *Волков И.В., Заличева И.Н., Ганина В.С. и др.* О принципах регламентирования антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Водные ресурсы, 1993, № 6, с. 707–713.
15. *Воронков П.П.* Гидрохимия местного стока европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – 188 с.
16. *Гвоздецкий Н.А.* Карст. – М.: Мысль, 1981. – 214 с.
17. Геохимические провинции // Горная энциклопедия. Т. 1. – М.: Сов. энциклопедия, 1986, с. 17.
18. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 192 с.
19. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. – СПб.: ВВМ, 2009. – 536 с.
20. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.

21. ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

22. ГН 2.1.5.2280-07. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03.

23. ГН 2.1.5.2307-07. Гигиенические нормативы. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

24. ГН 2.1.5.2702-10. Гигиенические нормативы. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнение № 3 к ГН 2.1.5.2307-07

25. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Средний химический состав взвесей рек Мира и питание океанов речным осадочным материалом // ДАН СССР, 1978, 238, № 1, с. 225–228.

26. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. (Содержат требования к качеству воды, характеризуемого показателями трофо-сапробности, солёности и жесткости; водородным показателем (рН); содержаниями некоторых вредных веществ.)

27. Грабовников В.А., Рубейкин В.З., Самсонов В.Г., Самсонова Л.М. Формирование и строение ореолов рассеяния вещества в подземных водах. – М.: Недра, 1977. – 136 с.

28. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведки рудных месторождений. – М.: Недра, 1987. – 408 с.

29. Данилов-Данильян В.И., Пряхинская В.Г. Водные ресурсы России: состояние и качество // Водные ресурсы и качество вод: состояние и проблемы управления. – М.: РАСХН, 2010, с. 13– 35.

30. Данилов-Данильян В.И., Пряхинская В.Г., Веницианов Е.В. и др. Аналитический обзор «Управление водными ресурсами в Российской Федерации» // <http://ru.scribd.com>.

31. Данилов-Данильян В.И., Розенталь О.М. Парадоксы экологического нормирования // Стандарты и качество, 2007, № 5, с. 42–44.

32. Динамика качества поверхностных вод Советского Союза в 1981–1985 годах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 335 с.

33. Днепровский бассейновый совет рассмотрел перспективы охраны водных ресурсов // <http://www.mpirtver.ru/index.php/ru/news/566-2013-11-05-11-33-12>.

34. Ермаков В.В. Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка // Основные направления геохимии. – М.: Наука, 1995, с. 183–196.

35. ЕС – Россия. Программа Сотрудничества. Гармонизация экологических стандартов II (ГЭС II). Заключительный технический отчет. Блок деятельности 10. Нормативы качества окружающей среды. Август 2009 г. – 231 с.

36. ЕС – Россия. Программа Сотрудничества. Гармонизация экологических стандартов II (ГЭС II). Промежуточный отчет. Блок деятельности 10. Нормативы качества окружающей среды. 10.8 – Нормирование качества вод в Российской Федерации. Москва, 2009. – 43 с.

37. *Закутин В.П.* Региональные геохимические провинции пресных подземных вод, некондиционных по содержаниям микроэлементов // Разведка и охрана недр, 2005, № 11, с. 10–13.
38. Заседание Бассейнового совета // <http://vmurmanske.ru/news/1588731>.
39. Засоленные почвы России. – М.: Наука, 2006. – 854 с.
40. Институт экологии Волжского бассейна РАН и город Тольятти. Экологические инновации для устойчивого развития города. Аналитический доклад. – Тольятти: Кассандра, 2012. – 87 с.
41. *Каменский Г.Н.* Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны // Тр. Лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Ф. П. Саваренского, 1949, т. 6, с. 15–35.
42. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
43. *Колотов Б.А.* Гидрогеохимия рудных месторождений. – М.: Недра, 1992. – 234 с.
44. *Колотов Б.А., Крайнов С.Р., Рубейкин В.З. и др.* Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 199 с.
45. *Короновский Н.В.* Геология России и сопредельных территорий. – М.: Академия, 2011. – 264 с.
46. *Крайнов С.Р., Закутин В.П.* Геохимико-экологическое состояние подземных вод России (причины и тенденции изменения химического состава подземных вод) // Геохимия, 1994, № 3, с. 312–319.
47. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677с.
48. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
49. *Криночкин Л.А.* Прогнозная оценка территории России по региональным аномальным геохимическим полям: Автореф. дис. ... док. г.-м.н. – М., 2011. – 46 с.
50. *Кузьмич В.Н.* О совершенствовании системы природоохранного нормирования // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Мат-лы Объедин. Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиол. Об-ва при РАН и Межведом. ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011, с. 143–150.
51. *Лебедев И.П., Стрик Ю.Н.* Региональная металлогения. – Воронеж: ВГУ, 2007. – 89 с.
52. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н.* Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. – М.: НИА-Природа, 2004. – 271 с.
53. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Рисник Д.В.* «In situ» – технология установления локальных экологических норм // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Мат-лы Объедин. Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиол. Об-ва при РАН и Межвед. ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011, с. 30–55.
54. *Леман В.Н., Лошкарева А.А., Чебанова В.В., Логачев А.Р.* Состояние среды обитания лососевых рыб в условиях природной геохимической аномалии (бассейн р. Ича) // Исследование водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Сб. научн. тр. Вып. 7 – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2004, с. 131–141.

55. *Львович М.И.* Элементы режима рек земного шара. – М.: Гидрометеиздат, 1945. – 126 с.
56. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. – М.: Мысль, 1974. – 274 с.
57. *Магакьян И.Г.* Металлогения (главные рудные пояса). – М.: Недра, 1974. – 304 с.
58. *Мальцева А.В., Тарасов М.Н., Смирнов М.П.* Сток органических веществ с территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 119 с.)
59. *Маслов Б.С.* Гидрология торфяных болот. – Томск: Изд-во Томского гос. пед. ун-та, 2008. – 424 с.
60. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (утв. Приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695).
61. *Мусихина Т.А.* Региональные нормативы содержания химических элементов в поверхностных водах // Экология и промышленность России, май 2001, с. 26–28.
62. Недра России. В 2 т. Т. 1. Полезные ископаемые. – СПб.-М., 2001. – 547 с.
63. Недра России. В 2 т. Т. 2. Экология геологической среды. – СПб.-М., 2002. – 662 с.
65. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
65. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения (утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству РФ № 20 от 18 января 2010 г.).
66. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990. – 247 с.
67. *Овчинников Л.Н.* Прогноз рудных месторождений. – М.: Недра, 1992. – 308 с.
68. ОСТ 155.372-87. Охрана природы. Гидросфера. Вода для рыбоводных хозяйств. Общие требования и нормы.
69. Отчет о научно-исследовательской работе по базовому проекту 12фцп-М2-01: «Разработка системы природоохранного нормирования качества поверхностных вод» (промежуточный). Этап 1 Аналитический обзор и оценка применения показателей качества вод в России и странах Европейского союза (ЕС) и Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА). – М.: НИИ «Природные ресурсы», 2013. – 151 с.
70. *Патин С.А.* Мифы и реалии эколого-рыбохозяйственного нормирования качества водной среды // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Мат-лы Объедин. Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиол. Об-ва при РАН и Межвед. ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011, с. 151–155.
71. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 342 с.
72. *Перельман А.И.* Взаимосвязь учения о биогеохимических провинциях и геохимии ландшафта // Тр. Биогеохимической лаборатории, 1999, т. 23, с. 115–133.
73. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
74. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение

(утв. Приказом Госкомрыболовства от 28 апреля 1999 г. № 96 «О рыбохозяйственных нормативах»). – М.: ВНИРО, 1999. – 304 с.

75. *Петров О.В., Морозов А.Ф., Беляев Г.М. и др.* Геохимическая карта России – принципы составления и металлогенические следствия // Региональная геология и металлогения, 2013, № 55, с. 55–66.

76. *Пиковский Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.

77. *Поликарпочкин В.В.* Вторичные ореолы и потоки рассеяния. – Новосибирск: Наука, 1976. – 407 с.

78. Протокол заседания Бассейнового совета Нижневолжского бассейнового округа, 31 марта 2011 г., № 5 // www.vvbvu.ru/upload/files/protokol_bs1.doc.

79. *Пьявченко Н.И.* Лесное болотоведение (основные вопросы). – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 192 с.

80. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.

81. *Розенберг Г.С.* «Норма» и «патология» для водных объектов: теория и методы измерения // Успехи современного естествознания, 2012, № 11, с. 15–17.

82. *Розенберг Г.С., Дунин Д.П., Костина Н.В. и др.* Информационные технологии для оценки экологического состояния крупного региона (на примере Волжского бассейна и Самарской области) // Проблемы региональной экологии, вып. 8. – Томск: СО РАН, 2000, с. 213–216.

83. *Розенберг Г.С., Евланов И.А., Селезнёв В.А. и др.* Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги) // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Мат-лы Объедин. Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиол. сб-ва при РАН и Межведом. ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011, с. 5–29.

84. Россия: речные бассейны. – Екатеринбург: Изд-во «Аэрокосмозология», 1999. – 520 с.

85. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. – М.: Научный мир, 1997. – 454 с.

86. Руководство по интегрированному управлению водными ресурсами в бассейнах. Под рук. Ж.Ф. Донзиера и М. Уолша // [http://www.gwp.org/Global/ToolBox/References/A%20Handbook%20for%20Integrated%20Water%20Resources%20Management%20in%20Basins%20\(INBO,%20GWP,%202009\)%20RUSSIAN.pdf](http://www.gwp.org/Global/ToolBox/References/A%20Handbook%20for%20Integrated%20Water%20Resources%20Management%20in%20Basins%20(INBO,%20GWP,%202009)%20RUSSIAN.pdf)

87. *Сает Ю.Е.* Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. – М.: Наука, 1982. – 168 с.

88. *Сает Ю.Е., Онищенко Т.Л., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1987. – 100 с.

89. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

90. *Сает Ю.Е., Янин Е.П.* О комплексном составе техногенных гидрохимических аномалий // Водные ресурсы, 1991, № 2, с. 135–140.

91. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

92. СанПиН 2.1.4.1175-03. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения.

93. Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. – Л.: Недра, 1971. – 216 с.

94. Селезнева А.В., Селезнев В.А. Опыт экологического нормирования биогеной нагрузки на примере Саратовского водохранилища // Изв. Самарского НЦ РАН, 2011, т. 13, № 5, с. 26 – 31.

95. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Беспалова К.В. Разработка бассейновых нормативов качества воды (на примере водных объектов Нижней Волги) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2013, № 2, с. 42–53.

96. Соколова С.А. Анализ практических аспектов установления ПДК для воды и их применение в системе выдачи разрешений // www.vniro.ru/pages/news/sokolova_doklad.doc.

97. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 20 декабря 2001 г. (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 N 122-ФЗ, 29.12.2004 N 199-ФЗ, 09.05.2005 № 45-ФЗ, 31.12.2005 № 199-ФЗ, 18.12.2006 № 232-ФЗ, 05.02.2007 № 13-ФЗ, 26.06.2007 № 118-ФЗ, от 24.06.2008 № 93-ФЗ, от 14.07.2008 № 118-ФЗ, 23.07.2008 № 160-ФЗ, 30.12.2008 № 309-ФЗ, 14.03.2009 № 32-ФЗ, 27.12.2009 № 374-ФЗ, 29.12.2010 № 442-ФЗ, 11.07.2011 № 190-ФЗ, 18.07.2011 № 242-ФЗ, 18.07.2011 № 243-ФЗ, 19.07.2011 № 248-ФЗ, 21.11.2011 № 331-ФЗ, 07.12.2011 № 417-ФЗ, 25.06.2012 № 93-ФЗ, 02.07.2013 № 185-ФЗ, 23.07.2013 № 226-ФЗ, 28.12.2013 № 406-ФЗ, 28.12.2013 № 409-ФЗ, с изменениями, внесенными Постановлением Конституционного Суда РФ от 05.03.2013 № 5-П).

98. Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга // Биол. науки, 1974, № 10, с. 7–17.

99. Хитров Н.Б., Рухович Д.И., Калинина Н.В. и др. Оценка площадей засоленных почв на территории Европейской части России (по электронной версии карты засоления почв масштаба 1:2,5 млн.) // Почвоведение, 2009, № 6, с. 627–637.

100. Цыцарин Г.В. Введение в гидрохимию. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 104 с.

101. Чеботарев Г.Н., Моисеенко Т.И., Бородач М.В. и др. Обоснование региональных нормативов качества вод и правовых механизмов их установления на уровне субъектов Российской Федерации // Вестник Тюменского ун-та, 2012, № 12, с. 227–237.

102. Чекваидзе В.Б., Мияев С.А. Вторичные ореолы рассеяния аммония на золоторудных месторождениях // Руды и металлы, 1993, № 1–2, с. 60–68.

103. Черняев А.М., Дальков М.П., Шахов И.С., Прохорова Н.Б. Бассейн. Эколого-водохозяйственные проблемы, рациональное водопользование. – Екатеринбург: Изд-во «Виктор», 1995. – 366 с.

104. Черняев А.М., Прохорова Н.Б., Дальков М.П., Шахов И.С. Бассейн II. Стратегия управления устойчивым водопользованием. – Екатеринбург: Изд-во «Виктор», 1995. – 236 с.

105. Шаронов Н.М., Бадмацыбенов Ю.Б. К вопросу определения природной составляющей содержания веществ и соединений в поверхностных водных объектах // Сборник мат-лов XI Междунар. науч.-практ. симп. и выставки «Чистая вода России», 18–20 мая 2011 года, г. Екатеринбург. – Екатеринбург, 2011, с. 151–155.

106. Шаронов Н.М., Заслоновский В.Н. Об относительности показателей в системе нормирования качества природных вод // Водные ресурсы и водопользование: Сб. науч. трудов. Вып. 3. – Екатеринбург–Чита: Изд-во РосНИИВХ, 2007, с. 133–145.

107. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
108. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. – М.: Наука, 1985. – 400 с.
109. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
110. Эдельштейн К.К., Смахтина О.Ю. Генетическая структура речного стока и химико-статистический метод выделения ее элементов // Вод. ресурсы, 1991, № 5, с. 5–20.
111. Экогеология России. Т. 1. Европейская часть. – М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. – 300 с.
112. Яроцкий Г.П. Камчатский край. Перспективы и направления развития территории и охраны природы. – Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2011. – 339 с.
113. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформмарк, 1993. – 50 с.
114. Янин Е.П. Тяжелые металлы в малой реке в зоне влияния промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 2003. – 89 с.
115. Янин Е.П. Источники и особенности загрязнения речных систем в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2005, № 1, с. 2–33.
116. Янин Е.П. Биогеохимические провинции // Новая Российская энциклопедия: В 12 т. Том 3 (1). – М.: ООО «Изд-во «Энциклопедия»: ИД «ИНФРА-М», 2007, с. 205–206.
117. Янин Е.П. Возможные подходы к оценке техногенного загрязнения при интерпретации геохимических аномалий в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2008, № 4, с. 58–87.
118. Янин Е.П. Биогеохимическая провинция // Российская геологическая энциклопедия: В трех томах. Т. 1 (А–И). – М. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010, с. 133–134.
119. Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М. Определение природной региональной неоднородности химического состава поверхностных вод при установлении нормируемых показателей качества воды // Тр. 4-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов», г. Москва, 15–18 сентября 2015 г. – М.: ИВП РАН, 2015, с. 222–224.
120. Berillium and Berillium Compounds. CICAD № 32. – Geneva: WHO, 2001. – 71 p.
121. Livingstone D.A. Chemical composition of rivers and lakes: Date of geochemistry // U.S. Geol. Survey Profess., 1963, Paper 440 G, p. G1–G64.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

К.г.-м.н. **Е.П. Янин**

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва,
yanin@geokhi.ru

Среди природных, которые могут оказывать долговременное и даже необратимое влияние на химический состав поверхностных вод, обычно называют кислотные дожди и глобальное потепление.

Проблема кислотных дождей (кислотных выпадений), по меткому замечанию американских исследователей [13], в настоящее время из любопытного научного факта превратилась в проблему, вызывающую значительную тревогу общества и широкое обсуждение, поскольку уже относится не к отдельным ограниченным территориям, а имеет региональный и даже глобальный характер. Выражение «кислотный дождь» впервые использовал британский исследователь Роберт Ангус Смит в 1872 г. Обычно кислотными считаются атмосферные осадки, имеющие рН менее 5,7. За последние 40–50 лет в мире наблюдается резкое увеличение числа случаев выпадения кислотных дождей, что сопровождается постепенным понижением рН почвы, а также воды различных водных объектов, в первую очередь, озер. Последствия выпадения кислотных дождей наблюдаются во многих странах мира. Кислотный дождь оказывает отрицательное воздействие на поверхностные водные объекты (особенно на озера), повышая их кислотность до такого уровня, что в них может погибать флора и фауна. При рН воды менее 4,5 в водном объекте погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых. Повышенная кислотность воды способствует более высокой растворимости различных тяжелых металлов из почв и отложений и интенсифицирует их поставку в водные объекты.

Источником кислотных выпадений в атмосфере в основном являются следовые газы, содержащие серу и азот, в меньшей степени летучие органические соединения и органические кислоты [9, 13, 25]. В настоящее время техногенные потоки серы и азота сопоставимы с их природными источниками, а по некоторым оценкам даже превышают последние (табл. 1, 2).

Таблица 1

Источники образования атмосферных соединений серы [25]

Источники	Количество выбросов	
	млн. т серы в год	%
Естественные:		
процессы разрушения биосферы	30–40	29–39
вулканическая деятельность	2	2
поверхность океана*	(50–200)	-
Антропогенные	60–70	59–69
Всего	92–112	100

* Выделяемая океанами морская соль не влияет на кислотные дожди.

Таблица 2

Источники соединений азота, содержащихся в атмосфере [25]

Источники	Количество выбросов	
	млн. т серы в год	%
Естественные:		
- почвенная эмиссия	8	14
- грозовые разряды	8	14
- горение биомассы (частично антропогенное)	12	21
- прочие	2-12	4-21
Антропогенные:		
-сжигание топлива	12	21
- транспорт	8	14
- промышленность	1	2
Всего	51-61	100

Достаточно надежно установлена тесная связь между образованием кислотных дождей и интенсивностью атмосферной эмиссии соединений серы и азота в промышленных районах [6, 9, 13, 25]. Если соединения серы достаточно долго находятся в атмосфере, то под действием содержащихся в воздухе окислителей они соответственно превращаются в серную кислоту и(или) сульфаты, а оксид азота при взаимодействии с кислородом образует диоксид азота, который в результате реакции с радикалом гидроксида превращается в азотную кислоту. В конечном счете в результате влажного или сухого осаждения образовавшиеся соединения осаждаются в виде кислотных выпадений настилающую поверхность. Обычно сухие осадки содержат больше поллютантов, чем влажные [23, 25] (табл. 3). Тем не менее соотношение сухих и влажных выпадений изменяется в зависимости от степени техногенной нагрузки, характерной для конкретного района. Как правило, в силу разных скоростей осаждения газообразных и аэрозольных примесей в атмосфере соотношение между влажными и сухими осадками по мере приближения к менее загрязненным территориям растет в сторону влажных осадков [700]. В отдаленных районах влажные осадки могут содержать большее количество примесей, чем сухие.

Таблица 3

Содержание соединений серы и азота в сухих и влажных выпадениях (Венгрия) [25]

Соединения	Выпадения, мг-экв/(м ² х год)		
	Сухие	Влажные	Всего
Серосодержащие	73	69	142
Азотсодержащие	46	24	70
Всего	119	93	212

Закисление поверхностных вод вызывают сильные кислоты, главным образом серная, которая в настоящее время считается основным кислотным агентом. А. Хендриксен (1980) определяет закисление водоемов как процесс, аналогичный

титрованию раствора бикарбонатов серной кислотой, и выделяет 3 стадии ацидификации в соответствии со степенью деградации бикарбонатной буферной системы и замещения бикарбонатов сульфатами. Согласно Л. Хорвату [25], процесс закисления поверхностных вод состоит из следующих фаз: 1) Убыль ионов гидрокарбоната, т. е. уменьшение способности вод к нейтрализации при не изменяющемся значении pH; 2) уменьшение pH при снижении количества ионов гидрокарбонатов; значения pH падают ниже 5,5; 3) при pH=4,5 кислотность раствора стабилизируется. В этих условиях кислотность раствора регулируется реакцией гидролиза соединений алюминия. Мобильность алюминия и ряда тяжелых металлов, количество питательных веществ (например, фосфора) начинают уменьшаться, т. к. в растворе ион алюминия образует с ионами ортофосфата нерастворимый фосфат алюминия, который осаждается в осадок.

Дж. Крамер и соавт. [13] при оценках тенденции изменения химического состава воды в водотоках исходят из предположения, согласно которому вызываемые поступлением серы изменения состава поверхностных вод происходят следующим образом: 1) увеличение выпадения серы из атмосферы; 2) в поверхностных водах увеличиваются концентрации сульфатов; 3) в водах увеличиваются концентрации протолитических (H^+ , Al^{3+}) и непротолитических (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) катионов; 4) увеличение концентрации протолитических катионов ведет к уменьшению щелочности поверхностных вод.

Особенно интенсивно происходит закисление озер, причем в тех районах, где водоемы имеют гранитное или бедное известняками ложе, что обуславливает меньшую способность воды к нейтрализации кислот (так называемая кислотной-нейтрализующая способность воды). Антропогенная ацидификация атмосферных осадков имеет место на всей Европейской территории России. Ее влиянию наиболее подвержены маломинерализованные озера, базирующиеся на кристаллических породах (гранитах, гнейсах, базальтах), песках и верховых болотах [23]. Нейтрализация катионов H^+ максимальна при контакте атмосферных осадков с карбонатными породами, медленной фильтрации через тяжелые почвы, при контакте с почвами с высокой катионообменной способностью. Согласно современным представлениям, окончательно закисленными считаются озера с кислотной-нейтрализующей способностью ниже нуля, что соответствует уровню pH 4,9–5,3. Такие водоемы большую часть года характеризуются сульфатным типом воды (Хенриксен, 1980). В настоящее время считается возможным закисление поверхностных вод при уровне выпадения сульфатов (сульфатной серы), превышающем 1,5(0,5) г/(м²/год), что соответствует среднему значению pH дождя и снеговой воды в странах Северной Европы около 4,7 [19]. Для характеристики кислотного потенциала атмосферных осадков наряду с pH и плотностью выпадения сульфатов (сульфатной серы) используют также определенные соотношения некоторых ионов. В основе так называемой концепции кислотных выпадений лежит образование ионов водорода на водосборе и в водоеме за счет биологического потребления аммония или защелачивания при потреблении нитратов (Dillon, 1983, цит. по [12]). Исходным положением является полная утилизация нитратов, причем закисление водоемов будет происходить интенсивнее в случае преобладания в дожде аммония над нитратами. Установлено также, что удвоение концентрации сульфатов в поверхностных водах может в некоторых случаях снизить показатель pH до 0,7–1,0 (Haus, Steinar, 1985, цит. по [27]).

В настоящее время прогрессирующая ацидификация наиболее характерна для озер Северной Америки, Северной Европы, Британских островов. Тем не менее

установлены многочисленные факты закисления речных вод, обусловленного осаждением кислотных выпадений, когда значения pH речной воды достигали 4,0–5,0 [14]. Следствием закисления поверхностных вод являются серьезные гидрохимические и экологические нарушения в водных экосистемах. В частности, в подкисленных водах снижается скорость разложения ряда органических веществ, возрастает токсическое действие некоторых металлов, существенно меняется видовой состав продуцентов, сокращается биомасса, интенсифицируется бионакопление металлов водными организмами. Антропогенная ацидификация ведет к замещению гуминовых кислот в поверхностных водах минеральными. Воздействие кислотных дождей на почвы и горные породы существенно активизирует новейшие процессы выветривания [10], что способствует более активному выносу различных веществ в поверхностные водотоки. В результате воздействия кислотных дождей увеличивается выщелачивание из почв питательных элементов (основных катионов) и увеличивается подвижность многих микроэлементов. В кислых средах при усиленном воздействии кислотных агентов разрушаются устойчивые в обычных условиях минералы, происходит активный переход многих химических элементов из донных отложений и горных пород в раствор, например алюминия [16], который, как показывают исследования последних лет, чрезвычайно токсичен для водных организмов. Воздействие кислотных дождей способствует активной миграции из почв в водотоки ртути и ряда других тяжелых металлов [13, 24].

В России особенности закисления почв и поверхностных вод достаточно подробно установлены в пределах Кольского региона, включающего материковую часть и собственно полуостров. Для остальных регионов страны данные очень ограничены или отсутствуют. Установлено, что закисление почв является сложным процессом, обусловленным как прямым, так и опосредованным действием сильных кислот [7]. Выпадения кислот на подстилающую поверхность приводят к следующим эффектам: а) потери основных катионов из почвы, вызывающие дефицит этих элементов питания для лесных деревьев, особенно магния; б) высвобождение растворимого токсичного алюминия, оказывающего отрицательное влияние на рост тонких корней, ингибирующее поглощение основных катионов; в) снижение pH, что может влиять на процессы минерализации и, следовательно, на доступность элементов питания. В процессе техногенной сукцессии северо-таежных лесов, вызванной воздушным промышленным загрязнением медно-никелевых производств, в почвах происходит увеличение кислотности вод и возрастание концентраций в них органического вещества, интенсивный вынос соединений алюминия и железа с органическим веществом, а также основных катионов и анионов минеральных кислот, что приводит к обеднению почв обменными основаниями и формированию токсичных свойств. Изменения кислотности твердых и жидких фаз Al-Fe-гумусовых подзолов носят зачастую нелинейный характер по отношению к количеству кислотообразующих веществ, выпадающих из атмосферы. Это обусловлено формированием веществ кислой природы в биогенных зонах, т. е. аутогенным кислотообразованием, наиболее ярко выраженным на стадии интенсивной дефолиации лесов (20–100 км от источника выбросов SO_2).

Закисление вод зависит от сложных биогеохимических процессов и баланса процессов продуцирования и поглощения водородных ионов в наземных и водных экосистемах [7]. Закислению подвержены преимущественно малые озера и ручьи, водосборы которых формируются на кислых коренных породах с тонким почвенным слоем, которые широко распространены в Арктической зоне России.

Исследования 2005 г. показали, что в тундрово-таежном регионе на Кольском Севере доля сильно закисленных озер с pH менее 5 и цветностью менее 30°Pt-Co шкалы была 3,9% от 100 обследованных. В целом 10,6% озер в тундрово-таежном приарктическом регионе в настоящее время можно отнести к антропогенно-закисленным озерам, тогда как в 1995 г. этот процент был выше – озера с pH<6 составили 26%, 11% имели значения pH<5 из 460 обследованных озер. Это свидетельствует о снижении количества антропогеннозакисленных озер, которое может быть обусловлено снижением выбросов SO₂ медно-никелевыми производствами на Кольском Севере России. Серьезные экологические последствия может иметь резкое кратковременное снижение pH вод на ручьях в периоды дождей паводков и весеннего половодья, когда накопленные на водосборе в период полярной длительной зимы кислотообразующие агенты стремительно поступают в водосборные бассейны. Этот феномен получил название «pH-шок» вследствие крайне негативного влияния на водную фауну. Общей закономерностью сопряженного с закислением поведения металлов является увеличение их содержания, перераспределение в наиболее токсичную ионную форму, появление феномена «пульса» металлов в периоды гидрологических событий и развитие эпизодического закисления. Для Кольского Севера в период половодья объем поступления металлов с водосбора в озера в течение снеготаяния (2-3 недели) может достигать 70% от годового, что усиливает стресс для водной фауны в сочетании с резким снижением pH.

Механизм развития кислотного эпизода определяется комбинацией нескольких факторов, которые взаимно могут усиливать действие друг друга [7]. Среди факторов, контролирующих кратковременное снижение кислотонейтрализующей способности вод, выделяются основные: разбавление более кислыми атмосферными осадками в период дождевого паводка или весеннего половодья; поступление серной кислоты из природных и антропогенных источников (приоритет последних очевиден), включая потоки из атмосферы и их аккумуляцию на водосборе; поступление азотной кислоты с осадками или высвобождение ее из верхнего органогенного слоя почв; поступление органических кислот (наиболее подвижной фракции) из почв и болот, расположенных на водосборе; высвобождение соляной кислоты вследствие ионно-обменных превращений морских аэрозолей на прибрежных арктических водосборах.

На всех уровнях водных экосистем отмечается снижение биоразнообразия сообществ вследствие элиминации наиболее чувствительных к низким значениям pH видов [7]. Отмечается подавление численности микробных организмов, снижение деструкционных процессов и развитие грибковых, накопление грубого детрита в донных отложениях. Преимущества в развитии получают кислотоустойчивые водные мхи. Изменение продукционных процессов неоднозначно, в одних случаях в сильно закисленных водах происходит их угнетение, но часто увеличивается продукция сообществ, состоящих из pH-устойчивых видов вследствие снижения пресса рыб, ослабления конкуренции с чувствительными видами. Для рыб характерно снижение численности. Главной причиной деградации популяций рыб является непосредственное воздействие низких pH и Al³⁺ на гидробионтов, вызывающие биохимические и физиологические нарушения в их организме. Функциями-мишенями у рыб в закисленных водах являются жабры и сенсорные органы. Наиболее уязвимы стадии личинки и малька. Для анадромных видов рыб серьезную опасность представляют зоны смешения кислых речных вод

с морскими водами, когда растворенный алюминий коагулируется на жабрах, вызывая гибель взрослых особей.

Основные особенности негативного влияния переноса кислотообразующих газов и выпадения кислых осадков в арктических регионах сводятся к следующему [7]:

- появление арктического тумана с высоким содержанием сульфатов, нитратов, органического вещества и других микрочастиц, которое приводит к изменению альбеда в высотной Арктике и формированию локального закисления;

- изменение биогеохимических циклов в наземных экосистемах, приводящие к усилению аутогенного закисления почв, обеднению их питательными элементами и формированию токсичности вследствие кислотного выщелачивания алюминия, что в совокупности приводит к деградации наземных экосистем;

- формирование кислотного импульса в сочетании с резким повышением содержаний лабильных форм металлов в период весеннего половодья, приводящее к формированию «ударной» дозы токсичного воздействия на ослабленную водную фауну после полярной зимы;

- гибель проходных арктических видов рыб в зонах смешения низкоминерализованных кислых речных вод с морскими вследствие осаждения Al на жабрах рыб и нарушения дыхательного аппарата;

- снижение биоразнообразия и численности наземных и водных организмов, нарушения их воспроизводства в закисленных условиях с высокими содержаниями токсичного алюминия и других металлов.

Для условия севера Западной Сибири показано [22], что совокупность природных факторов (длительность изоляции наземной поверхности снежным покровом, снеговой режим питания озер и рек, малая роль процессов выщелачивания подстилающих пород) способствует их постоянному закислению. С этим связаны повышенная водная миграция ряда тяжелых металлов и повышенная доля их токсичных (ионных) форм. Зачисление водных объектов может приводить к интенсификации иммобилизации металлов из донных отложений и подстилающих пород.

В общем случае зачисление природных поверхностных вод сопровождается целым рядом и других негативных последствий [15]. В кислых водах присутствуют токсичные для гидробионтов недиссоциированные формы H_2S , наблюдается снижение содержания фосфора и общих показателей биомассы, наблюдается нарушение процесса самоочищения вод (прежде всего, из-за снижения скорости разложения некоторых органических веществ и осложнения процессов сорбции и седиментации). Большие концентрации CO_2 , преобладающего в кислой среде, вредны для растительных и животных организмов. Негативное воздействие процессы закисления оказывают и на гидротехнические сооружения.

Следует особо отметить, что резкие (как правило, кратковременные) изменения кислотно-щелочных условий могут быть вызваны, судя по всему, не только кислотными дождями, а, если можно так сказать, нормальным функционированием водных систем. Так, изучение кислотно-щелочных условий в озере Глубоком, расположенном в Рузском районе Московской области в пределах средней части сильно заболоченной Глубоко-Истринской ложбины, которая занимает центральное положение на плоско-холмистой возвышенности, позволило установить очень необычное их изменение летом 1983 г. [11, 28]. На озере выполнялись достаточно детальные гидрохимические исследования. В частности, на водоеме было организовано 10 стационарных вертикалей наблюдения, на которых пробы воды отбирались до глубины озера в 10 м через 1–2 м, на глубинах от 10 до 20 м через 3–4 м, на глубинах более 20 м через 4–5 м. таким образом, например, при едино-

временном опробовании воды отбиралось в 1–2 дня до 60–70 проб, характеризующих озерную толщу воды. Результаты наблюдений прошлым лет за активной реакции воды показывают, что во время летней стагнации в эпилимнионе в результате фотосинтеза за счет уменьшения свободной углекислоты величина pH увеличивается, находясь в пределах 7–8. В мета- и гипolimнионе в течение лета в результате накопления углекислоты pH снижается, достигая у дна 6,5. Наши данные показали, что начиная с первых чисел июля и по 26 июля включительно отмечалось примерно аналогичное распределение значений pH озерной воды [11, 28]. Наблюдения, выполненные 27 июля, показали резкое изменение кислотно-щелочных условий: вся водная толща характеризовалась значениями pH менее 7, причем в эпилимнионе они находились в пределах 4,5–5,5. Аналогичное распределение значений данного показателя (с небольшими колебаниями) отмечалось до 18 августа 1983 г. Следующий день – 19 августа – характеризовался значениями pH уже типичными для озера. Таким образом, менее чем за сутки кислотно-щелочные условия в озере резко изменились, и также менее чем за сутки пришли «в норму». За указанный период каких-либо аномальных изменений в значениях общих гидрохимических показателей не наблюдалось. По данным сотрудников гидробиологической станции, кардинального изменения в планктонных сообществах в этот период также не произошло. Тем не менее следует отметить, что по данным Н.Н. Смирнова (личное сообщение), 13–15 августа 1983 г. в планктоне и фитобентосе оз. Глубокого были отмечены многочисленные десмидиевые водоросли, характерные для водоемов с кислой средой. В частности, у дна в зарослях в биостанции наблюдались многочисленные *Cosmoecium pulchellum* Breb., а также *Micrasterias crux-melitensis*, *Xanthidium*, *Closterium*, зигнемовая нитчатка. В планктоне наблюдались нитчатые десмидиевые водоросли, а также синезеленые и протокочковые. Измерение pH атмосферных осадков, выпавших в это время слабых дождей, не показало отклонения от нормы (6,8–7,0). Во избежание аналитических ошибок в течение всего периода постоянно велась корректировка прибора (иономер ЭВ-4) с помощью стандартных растворов. Анализ сохранившихся проб воды, отобранных до 26 июля, показал значение pH в пределах 7–8. Столь резкое изменение кислотно-щелочных условий для озер такого типа в известной нам литературе еще не было описано и однозначно не может быть объяснено. По всей видимости, в силу очень низкой буферной емкости водной массы оз. Глубокого чутко реагирует на любые изменения окружающей среды, обусловленные как внешними, так и внутренними факторами. Не исключено, что столь резкое изменение значений pH может быть связано с жизнедеятельностью планктона, прежде всего бактериопланктона, и с возможным поступлением в озеро органических кислот, а также с увеличением в силу каких-либо причин количества свободной углекислоты в водах. Вполне возможно и одновременное действие перечисленных факторов, хотя убедительных свидетельств этому пока не имеется. Тем не менее отмеченное явление представляет большой интерес и требует дальнейшего изучения. Не являются ли некоторые данные по кислым озерам, относимые к воздействию кислотных дождей, следствием аналогичных процессов?

Глобальным потеплением, как известно, называют процесс постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли. Считается, что потепление климатической системы Земли – есть неоспоримый факт, что очевидно из наблюдений за повышением глобальной средней температуры воздуха и океана, широко распространенным таянием снега и льда, повышением глобального среднего уровня моря [8]. Оценить потенциальные последствия глобального измене-

ния климата на состояния природных вод очень сложно. Во-первых, ещё не ясен механизм причинно-следственных связей климатических изменений, во-вторых, изменения, вызываемые антропогенным климатическим фактором, накладываются как на естественные вариации абиотических и биотических параметров водных экосистем, так и на негативные процессы, вызванные прямым влиянием человека на состояние водных объектов.

Высказываются предположения, что глобальное потепление закономерно приведет к необратимым (или, по крайней мере, долгосрочным) изменениям химического состава поверхностных вод, хотя, по известным причинам, точные масштабы таких изменений на современном этапе вряд ли могут быть точно предсказаны. Тем не менее данные наблюдений и модельных расчетов показывают, что климат территории России более чувствителен к глобальному потеплению, чем климат многих других регионов земного шара [18]. Так, за последние 100 лет (1907–2006 гг.), по данным сети Росгидромета, потепление в целом по России составило 1,29°C при среднем глобальном потеплении, согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК, 0,74°C. За период 1976–2006 гг. среднее потепление по России достигло 1,33°C. На большей части территории России в этот период годовые минимумы и максимумы суточной температуры приземного воздуха увеличивались, разность между ними уменьшалась (минимумы увеличивались быстрее максимумов), число дней с морозом уменьшалось. Наибольшее увеличение минимальной и максимальной суточной температуры наблюдалось в холодный сезон. Анализ годового стока рек за 1978–2005 гг. показал, что по отношению к стоку за период 1946–1977 гг. на реках западной части ЕТР, левобережных притоках Волги произошло увеличение годового стока на 15–40%. Оно было больше среднего (на 10–15%) в верхней части бассейна Северной Двины, в верховьях Днепра, на левобережных притоках Дона. На Азиатской территории России (АТР) увеличение стока (на 20–40%) отмечалось на левых притоках Тобола и Иртыша. Увеличение водности наблюдалось также в бассейне Енисея (8%) и на значительной части бассейна Лены, особенно в последнее десятилетие XX века. Сток в бассейнах рек северо-востока АТР увеличился на 5–15%. Важно отметить, что во второй половине XX в., особенно в его последней четверти, на многих участках зоны многолетней мерзлоты происходило увеличение температуры верхнего слоя многолетнемерзлых пород, в отдельных регионах отмечалось увеличение глубины сезонного протаивания. В частности, температура многолетней мерзлоты на севере Западной Сибири увеличилась в среднем на 1,0°C, на северо-востоке ЕТР на 0,8–1,0°C.

Считается, что большая часть территории России находится в области значительного наблюдаемого и прогнозируемого изменения климата [18]. При этом вследствие значительных природно обусловленных особенностей изменения климата на территории России проявляются и будут проявляться в дальнейшем крайне неравномерно. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата могут приводить как к благоприятным, так и к негативным последствиям. С одной стороны, изменение климата будет способствовать смещению к северу зоны комфортного проживания людей, уменьшению продолжительности отопительного периода и увеличению возможностей сельскохозяйственного производства в регионах с достаточным увлажнением. Глобальное потепление благоприятно повлияет на ледовую обстановку в арктических морях, способствуя расширению возможностей морского транспорта и облегчению освоения арктического шельфа. С другой стороны, прогнозируется уменьшение водных ресурсов в регионах,

где уже сейчас наблюдается их дефицит. Усиление сезонного протаивания многолетней мерзлоты (особенно на ее южной границе) создает угрозу объектам инфраструктуры, коммуникациям, зданиям и техническим сооружениям, включая нефте- и газопроводы [18]. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата могут увеличивать вероятность экстремальных гидрометеорологических явлений, в том числе наводнений, селей и лавин в горных районах, засух, усиления пожароопасности в лесах, которые могут вызвать значительные негативные последствия для населения и хозяйственной деятельности и природного комплекса. Как видим, многие из названных выше последствий возможного потепления климата способны оказывать непосредственное влияние на формирование и количественные характеристики поверхностного стока и гидрологию водных объектов и, хотя бы опосредованно, оказывать влияние на формирование химического состава поверхностных вод.

По мнению [5], основной чертой потенциальных парниковых изменений речного стока в XXI в. может быть усиление контраста между увлажненностью юго-западных и южных регионов страны с одной стороны и северо-восточных и северных с другой стороны. Это может привести к понижению слоя стока в Предкавказье и юго-западе ЕТР, к повышению – на крайнем севере ЕТР, в северо-восточной части Зап. Сибири, центральных и северных регионах Вост. Сибири и Дальнего Востока. Значимость парникового эффекта при прочих равных условиях меньше для рек с малой площадью водосборного бассейна и для рек с небольшим модулем стока. Однако, как отмечает автор цитируемой работы, все выводы находятся на полукачественном или качественном уровне.

Анализ многолетних колебаний естественного режима годового, сезонного и среднемесячного стока рек ЕЧР позволил авторам сделать следующие выводы [4]. Так, положительные изменения средних годовых и особенно зимних температур воздуха, а также атмосферных осадков оказали значительное влияние на водность рек и режим их стока. На значительной части средней полосы ЕЧР годовое количество стока рек в последние десятилетия превысило норму 1940–1969 гг. Однако к северу и югу от этой полосы происходящие изменения годового стока находятся в пределах естественной его изменчивости. Для большинства рек ЕЧР произошли изменения в режиме стока и источниках питания. С конца XX в. многие реки имеют смешанное питание с преобладанием подземного. Это привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока, по своему масштабу сопоставимому с влиянием «водохранилищ сезонного регулирования». Основная особенность современного водного режима рек – существенное изменение внутригодового режима с увеличением меженного стока, особенно зимнего. В пределах крупных регионов для большинства рассмотренных рек отмечаются значимые (при уровне значимости 95%) положительные тренды увеличения стока зимней и летне-осенней межени. Рост меженного стока в последние 25–30 лет обусловил увеличение естественных ресурсов подземных вод даже в бассейнах рек, где произошло снижение стока весеннего половодья. Такая ситуация сложилась впервые, так как ранее основные маловодные и многоводные фазы определялись величиной стока весеннего половодья. На большей части территории России ожидается увеличение удельной водообеспеченности на 10–25%. Только ряд субъектов, расположенных в Центральном, Поволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах России, имеют низкую водообеспеченность.

Анализ основных тенденций в изменении годового и меженного стока рек бассейна Волги; характера внутригодового распределения стока и оценка современ-

ных естественных ресурсов поверхностных и подземных вод позволили авторам [1] сделать вывод, что гидроклиматические условия на Русской равнине в последней четверти XX в. характеризуются повышенным увлажнением территории и увеличением регионального стока. При этом изменение циркуляционных и связанных с ними других климатообразующих процессов в последней четверти XX в. привело к существенному улучшению условий формирования стока на Восточно-Европейской равнине. Отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения в бассейне Волги, несомненно, влияют на особенности водного режима рек, величину их годового и меженного стока, объем и высоту весеннего половодья.

По данным [20], потепление в зимний период и сезонное перераспределение осадков в бассейне Верхней Оки обусловили увеличение доли подземного питания рек и минимального стока, снижение максимальных расходов и стока наносов, изменение концентраций некоторых ионов в воде. Увеличение питания рек подземными водами, отличающимися от поверхностных повышенной минерализацией (особенно более высоким содержанием хлорид- и сульфат-ионов), сказывается на химическом составе воды рек. Авторы цитируемой работы считают, что для рек данного района характерно увеличение в XXI столетии концентрации в воде хлорид-ионов (на 200–300%). Для рек северной части территории (Угра и Протва) отмечается увеличение и концентрации сульфат-ионов. Начало изменений естественного гидрохимического режима рек по этим ионам можно отнести к концу 1960-х – началу 1970-х годов. Для хлорид-ионов эта тенденция сохраняется и по настоящее время, а для сульфат-ионов в последнее десятилетие XX в. она уже четко не прослеживается. Данные по HCO_3^- и Ca^{2+} , которые определяют тип воды рек данной территории, показывают, что в конце XX столетия наметилась тенденция к снижению их концентрации, особенно в период зимней межени, когда речные воды являются наиболее минерализованными. Наблюдается также снижение суммарной минерализации в зимний период и ее увеличение в период летней межени. Это, вероятно, связано с увеличением поступления талых мало-минерализованных вод во время оттепелей в зимний период, а в летний – с увеличением поступления в реки подземных вод, для которых характерны более высокое содержание хлорид- и сульфат-ионов (в 2–3 раза) и более высокая минерализация. Полученные данные свидетельствуют, что до 1970-х гг. основное влияние на формирование режима главных ионов в реках оказывал поверхностный сток, а далее – хозяйственная деятельность, так как на этот период приходится активное вовлечение пойменных земель в сельскохозяйственный оборот и развитие промышленности, и увеличение доли подземных вод в питании рек, как это было показано выше. Отмечается также, что повышение антропогенной нагрузки на бассейны рек компенсируется благоприятным внутригодовым перераспределением стока воды. По имеющемуся прогнозу [26], при потеплении климата ожидаемый рост суммы ионов (примерно на 25%) будет только в поверхностных водах средней и южной частях ЕТР при росте температур на 2°C . Значительное увеличение общего фосфора (примерно на 50%) будет наблюдаться повсеместно, за исключением тундры и лесотундры, при повышении среднесуточных температур на $0,5^\circ\text{C}$.

Авторы [17] считают, что климатические вариации могут существенно влиять на химический состав вод. Это, по их мнению, возможно через изменение температурного режима, и опосредованно – через изменение гидрологического цикла, геохимических процессов на водосборе. Анализ данных позволил им разработать

предварительный прогноз влияния возможного потепления климата на качество природных вод Зап. Сибири. Выявлен отчетливый тренд к достаточно резкому нарастанию температуры воздуха и увеличению количества атмосферных осадков в арктической и субарктической частях региона, менее отчетливое повышение температуры и тенденция к снижению количества осадков в лесостепи. Учитывая вероятность растепления мерзлых горных пород Крайнего Севера и выделения больших объемов воды, существует опасность нарастания заболоченности территории и дальнейшего снижения минерализации поверхностных вод тундры и тайги. Растепление мерзлых торфяников может привести к росту эмиссии метана и других парниковых газов в атмосферу, воды рек и озёр. Усиление заболачивания территорий может вызвать дальнейший рост цветности воды, нарастание количества взвешенных веществ в поверхностных водах тайги. В южных регионах Западной Сибири по аналогии с прогнозом по ЕТР предполагается рост суммарного содержания ионов на 20–25% при повышении температуры всего на 1°C. На это указывают расчеты, полученные с применением трехпараметрической зависимости общей суммы ионов от годовой суммы среднесуточных температур выше 10°C и коэффициента, отражающего насыщенность горных пород водосбора основными оксидами и интенсивность их химического выветривания. С потеплением придет и сезонная разнородность показателей минерализации лесостепных водоемов и водотоков. В условиях повышения летних температур активизация химического выветривания на относительно сухих участках таежной зоны будет способствовать интенсификации подзолистого процесса, суть которого состоит в кислотном выщелачивании горных пород. Это в итоге приведет к повышению содержания в водах таких микроэлементов как Ti, Zr, Sc, Mn, Ba, Sr, местами Сг и V. Повышение температуры активизирует процессы евтрофирования за счет усиления выноса фосфора, азота и растворенной органики во всех природных зонах за исключением тундры. В целом изменение климата в сторону увеличения температур и роста увлажнения в гумидных зонах, уменьшения увлажнения в субаридных и аридных зонах приведет к росту различий в гидрохимических характеристиках между южной и северной частями Западной Сибири, вызывая так же внутризональную разнородность показателей минерализации из-за роста зависимости от химизма слагающих водосбор горных пород.

По сведениям [3], в течение последних десятилетий в Восточной Сибири происходит заметное потепление, которое сопровождается ростом температуры приповерхностного воздуха и в меньшей степени увеличением атмосферных осадков. Происходит существенное изменение годовых и сезонных величин речного и подземного стока. Изменение климата Вост. Сибири сопровождается сокращением мощности ледового покрова на малых и средних реках, большей глубиной протаивания многолетнемерзлых пород и болотных массивов. При этом наблюдается рост эмиссии парниковых газов, что может сказываться на локальном повышении приповерхностной температуры. Основная особенность современных изменений речного стока проявляется в увеличении в последние десятилетия годового и межennaleго стока. Для ряда створов были установлены статистически значимые возрастающие тренды. На большей части исследуемых территорий водность рек в период межени (подземный сток) за 1970–2005 гг. была выше на 25–40 %, чем за предшествующий многолетний период.

По мнению [21], с середины 1990-х гг. климатические изменения в Байкальском регионе способствовали снижению водного стока р. Селенги и выноса ей растворенных веществ. Последнее обстоятельство из-за ухудшения питания оз.

Байкал биогенными элементами, сток которых в условиях маловодья снижается наиболее существенно, может негативно отразиться на функционировании экосистемы озера и в особенности в районе селенгинского мелководья. Неблагоприятная ситуация, очевидно, может продолжаться в случае сохранения сформировавшихся тенденций климата в регионе и водности реки. При смене их фаз на противоположные, т. е. с ростом осадков и водного стока, вынос химических компонентов селенгинскими водами увеличится. Увеличение поступления биогенных элементов при повышении температуры воздуха и прогреве вод будет обеспечивать развитие водорослей в Байкале и способствовать повышению продуктивности как приустьевой области р. Селенги (селенгинское мелководье), так и районов открытого озера. Таким образом, изменение водности является одним из основных факторов, определяющих динамику содержания химических компонентов в воде р. Селенги и их поступления в оз. Байкал. В условиях низкой водности рост концентраций главных ионов несколько сдерживает снижение ионного стока реки, тогда как уменьшение поступления биогенных элементов в озеро, наоборот, усугубляется за счет их потребления фитопланктоном в нижнем течении Селенги и на мелководье.

С.К. Аржакова [2], обобщив результаты исследований различных авторов, касающихся особенностей формирования стока рек криолитозоны России в современных условиях, сделала следующие выводы. Прежде всего, в настоящее время на большинстве рек мерзлой зоны тенденция к смягчению их ледового режима не наблюдается. Только на реках севера ЕТР и Зап. Сибири отмечается статистически значимый тренд смягчения, т. е. замерзание происходит позже, вскрытие – раньше, в результате продолжительность ледового периода сократилась. В многолетних колебаниях сроков ледовых явлений не выявлена статистически значимая цикличность. Долгопериодные колебания сроков в большинстве случаев (кроме сроков вскрытия) не синхронны колебаниям средних месячных температур воздуха над северным полушарием. В результате глобального потепления климата ожидается сокращение продолжительности периода с ледовыми явлениями и продолжительности зимней межени. Есть сведения, что продолжительность зимней межени на р. Енисее сократится на два месяца за счет смещения в сторону более ранних сроков дат наступления весеннего половодья. Влияние повышения водности рек в осенне-зимний период, связанное с потеплением климата, на сроки появления льда будет заметным лишь на крупных реках, на которых период охлаждения водной массы является значительным. На малых и средних реках влияние осенне-зимней водности будет значительно меньшим и не будет превышать 1–2 сут., т. е. остается в пределах точности расчетов. Следует отметить, что полученный вывод не относится к рекам мерзлой зоны. Однако можно полагать, что отмеченная закономерность справедлива и для рек исследуемого региона, так как суровые климатические условия нивелируют влияние водности на сроки появления льда на малых и средних реках, значительным оно может быть лишь на крупных реках. Антропогенные изменения характеристик стока зимой отмечены не только на малых, но и на средних реках и связаны с разработкой полезных ископаемых, созданием водохранилищ и эксплуатацией подземных вод. Полученные выводы по влиянию антропогенных факторов носят предварительный характер из-за ограниченности сетевых данных за режимом рек, подверженных влиянию хозяйственной деятельности. Однако результаты исследований по оценке и учету влияния рассмотренных видов хозяйственной деятельности могут быть учтены при решении практических задач рационального

использования и охраны водных ресурсов региона. В результате потепления климата увеличится разгрузка подземных вод в реки. Отсюда следует, что увеличение подземного питания рек может вызвать повышение зимнего стока рек региона. Наиболее интенсивно такие процессы будут происходить в южных районах криолитозоны из-за смещения ее границы к северу. Таким образом, ожидаемое глобальное потепление климата будет играть весьма важную роль в формировании стока рек зимой. На зарегулированных реках, в бассейнах которых ожидается совместное влияние хозяйственной деятельности и глобального потепления климата, доля стока, формирующегося за счет потепления, будет незначительной. Зимний сток этих рек увеличится главным образом за счет антропогенного воздействия. Можно предположить, что для территории сплошного распространения многолетнемерзлых пород ожидаемое повышение зимних температур воздуха не снизит суровость климатических условий региона. В связи с этим не ожидается изменений сроков появления и разрушения ледовых явлений на большинстве рек региона, за исключением северных рек ЕТР и Зап. Сибири.

Следует отметить, что целенаправленные и полномасштабные исследования возможного влияния потепления климата на химический состав поверхностных вод Российской Федерации практически отсутствуют. Можно сказать, что такие исследования находятся на самой предварительной стадии своего становления. Есть все основания считать, что в дальнейшем они могут занять особое место в оценке возможного влияния изменения климата на окружающую среду.

Таким образом, в настоящее время на формирование химического состава поверхностных вод потенциально могут оказывать такие долговременные (и даже, как считают некоторые специалисты, необратимые) явления, как кислотные дожди и глобальное потепление. Степень изученности указанных явлений с рассматриваемой точки зрения различна, но в целом чрезвычайно неполная и разрозненная.

Установлено, что особенно интенсивно происходит закисление озер, причем в тех районах, где водоемы имеют гранитное или бедное известняками ложе, что обуславливает меньшую способность воды к нейтрализации кислот (так называемая кислотно-нейтрализующая способность воды). Закисление вод зависит от сложных биогеохимических процессов и баланса процессов продуцирования и поглощения водородных ионов в наземных и водных экосистемах. Закислению подвержены преимущественно малые озера и ручьи, водосборы которых формируются на кислых коренных породах с тонким почвенным слоем, которые широко распространены в Арктической зоне России. Выпадения кислот на подстилающую поверхность приводят к следующим эффектам: а) потери основных катионов из почвы; б) высвобождение растворимого токсичного алюминия; в) снижение pH. Все это способствует изменению химического состава вод поверхностных водных объектов.

Считается, что большая часть территории России находится в области значительного наблюдаемого и прогнозируемого изменения климата. При этом вследствие значительных природно обусловленных особенностей изменения климата на территории России проявляются и будут проявляться в дальнейшем крайне неравномерно. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата могут приводить как определенным негативным последствиям для поверхностных вод. В частности, прогнозируется уменьшение водных ресурсов в регионах, где уже сейчас наблюдается их дефицит. Усиление сезонного протаивания многолетней мерзлоты (особенно на ее южной границе) приведет к изменению источников питания водных объектов. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата могут

увеличивать вероятность экстремальных гидрометеорологических явлений, в том числе наводнений, селей и лавин в горных районах, засух, усиления пожароопасности в лесах, которые могут вызвать негативные последствия для водных объектов.

Многие из названных выше последствий возможного потепления способны оказывать непосредственное влияние на формирование и количественные характеристики поверхностного стока и гидрологию водных объектов и, хотя бы опосредованно, оказывать влияние на формирование химического состава поверхностных вод. Предполагается, что изменение циркуляционных и связанных с ними других климатообразующих процессов в последней четверти XX в. привело к существенному улучшению условий формирования стока на Восточно-Европейской равнине. Отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения в бассейне Волги, несомненно, влияют на особенности водного режима рек, величину их годового и меженного стока, объем и высоту весеннего половодья. Прогнозируется, что при потеплении климата достаточно ощутимый рост суммы ионов (примерно на 25%) будет только в поверхностных водах средней и южной частях ЕТР при росте температур на 2°C. Значительное увеличение общего фосфора (на 50%) будет наблюдаться повсеместно, за исключением тундры и лесотундры, при повышении среднесуточных температур на 0,5°C.

Долговременные целенаправленные исследования возможного влияния потепления климата на химический состав поверхностных вод Российской Федерации практически отсутствуют, а многие выводы, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, находятся преимущественно на качественном уровне или даже на уровне предположений.

Есть все основания считать, что так рассмотренные долговременные явления в ближайшие десятилетия не приведут к таким изменениям химического состава поверхностных вод, которые потребуют кардинального пересмотра нормативной базы оценки состояния последних.

Литература

1. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: Химия и экология, 2013, № 4, с. 3–12.
2. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России. – СПб.: РГГМУ, 2001. – 209 с.
3. Джамалов Р.Г., Потехина Е.В. Природно-климатические и антропогенные причины изменения подземного стока бассейна Лены // ГЕОразрез. Электронное научное издание // www.georazrez.ru.
4. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н. и др. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы, 2012, № 6, с. 571–589.
5. Добровольский С.Г. Проблема глобального потепления и изменений стока российских рек // Водные ресурсы, 2007, № 6, с. 643–655.
6. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
7. Закисление в Арктической зоне Российской Федерации // http://npa-arctic.iwlearn.org/Documents/da_full/section_4.3.5.pdf.
8. Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад. Доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. ВМО, ЮНЕП. – Женева, 2008. – 104 с.

9. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. Кислотные дожди. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 206 с.

10. Кашик С.А., Мазилев В.Н. Физико-химические модели новейших процессов выветривания. – Новосибирск: Наука, 1987. – 93 с.

11. Кашина Л.И., Янин Е.П. Изменение кислотно-щелочных условий в озере Глубоком // Разведка и охрана недр, 1995, № 6, с. 36–38.

12. Кашина Л.И., Янин Е.П. Техногенная метаморфизация общего состава речных вод (особенности и причины) // Прикладная геохимия. Вып. 6. Экологическая геохимия Москвы и Подмосковья. – М.: ИМГРЭ, 2004, с. 177–196.

13. Кислотные выпадения: Долговременные тенденции: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 439 с.

14. Козицкая В.Н. Ацидификация водоемов и ее экологические последствия (обзор) // Гидробиологический журнал, 1992, 28, № 3, с. 3-13.

25. Латыпова В.З. Факторы формирования кислотно-основных свойств природной среды // Соровский образовательный журнал, 2000, № 6, с. 47–52.

16. Матвеева Л.А., Соколова Е.И., Рождественская З.С. Экспериментальное изучение выноса алюминия в зоне гипергенеза. – М.: Наука, 1975. – 168 с.

17. Отчет о научном исследовании № 11.G34.31.0036 от 25 ноября 2010 г. (промежуточный – 2 этап) «Качество вод в условиях антропогенных нагрузок и изменения климата в регионах Западной Сибири». – Тюмень, 2011. – 235 с.

18. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: РОСГИДРОМЕТ, 2008. – 29 с.

19. Розенберг Г.С., Евланов И.А., Селезнёв В.А. и др. Опыт экологического нормирования антропогенного воздействия на качество воды (на примере водохранилищ Средней и Нижней Волги) // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Мат-лы Объедин. Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиол. об-ва при РАН и Межведом. ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. – М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011, с. 5–29.

20. Семенов В.А., Семенова И.В. Антропогенные и климатические изменения гидрологического и гидрохимического режимов рек бассейна Верхней Оки // Метеорология и гидрология, 2003, № 10, с. 76–85.

21. Синюкович В.Н., Сорокивикова Л.М., Томберг И.В., Тулохонов А.К. Изменения климата и химический сток реки Селенги // Доклады РАН, 2010, т. 433, № 6, с. 817–821.

22. Смоляков Б.С. Проблема кислотных выпадений на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2000, № 1, с. 21–30.

23. Структура и функционирование экосистем кислотных озер. – СПб.: Наука, 1994. – 250 с.

24. Флоринский М.А., Седова Е.В. Влияние кислотных осадков на агрономические свойства почв и растений // Агрохимия, 1992, № 2, с. 149-158.

25. Хорват Л. Кислотный дождь: Пер. с венг. – М.: Стройиздат, 1990. – 80 с.

26. Хублярян М.Г., Моисеенко Т.И. Качество воды // Вестник РАН, 2009, № 5, с. 403–410.

27. Янин Е.П. Изменение химического состава и техногенная метаморфизация речных вод в промышленно-урбанизированных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006, № 3, с. 2–27.

28. Yanin E.P., Sayet Y.E., Kashina L.I. Hydrochemistry of Lake Glubokoe // Hydrobiologia, 1986, 141, № 1–2, p. 11–23.

ОЦЕНКА СОСТАВА И ЕМКОСТИ ОБМЕНА КАТИОНОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

К.г.-м.н. **Е.П. Янин**

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Важным свойством различных осадочных (в том числе аллювиальных) отложений является их физико-химическая поглотительная (обменная) способность (обменная адсорбция), которая заключается в том, что отложения способны обменивать некоторую часть содержащихся в их твердой фазе ионов (главным образом катионов) на эквивалентное количество ионов, находящихся в соприкасающемся с нею растворе (например, с иловыми водами) [4]. Между катионами твердой фазы отложений и катионами водного (илового) раствора устанавливается равновесие. Поглощаемый из раствора при этом катион (или катионы, если их в растворе несколько), в том или другом количестве исчезают из раствора и становятся в соединения твердой фазы отложений, а вместо них в раствор переходит из твердой фазы эквивалентное количество другого или других катионов. Подобный обмен катионов может в зависимости от рода катионов в той или другой степени повлиять на физические и химические свойства отложений, так как те и другие находятся в тесной зависимости от рода катионов, входящих в поглощенном состоянии в твердую фазу отложений. Сумма всех поглощенных (обменных) катионов, могущих быть вытесненными из отложений, называется емкостью поглощения (емкостью обмена). Величина емкости обмена катионов зависит от гранулометрического состава, минералогических особенностей (особенно илистой фракции), содержания аморфных и органических веществ и природы последних, реакции среды [4–6, 9].

В техногенных ландшафтах в аллювиальном седиментогенезе участвуют значительные массы материала, появление которого в осадочном цикле связано с хозяйственной деятельностью человека (с техногенезом). Это обуславливает образование и широкое распространение в реках таких районов особой разновидности современных русловых отложений – техногенных речных илов, до недавнего времени в природе не существовавших, которые, как установлено, резко отличаются от типичного (фонового) руслового аллювия морфологическим обликом, вещественным составом, физико-химическими свойствами и геохимическими характеристиками [17–19, 24–27]. Техногенные илы, концентрируют значительные количества различных химических элементов и органических соединений, являются мощным источником вторичного загрязнения водной массы и биоты [29]. Степень закрепления различных поллютантов в илах и интенсивность их перехода в водную толщу зависят от многих факторов [11, 28]. Особое значение в этих процессах имеет такое свойство осадочных образований, как их физико-химическая поглотительная (обменная) способность. В то же время сведения о емкости обмена катионов и о составе обменных катионов техногенных илов в доступной литературе практически отсутствуют. Автором был изучен состав обменного комплекса природного (фонового) аллювия, осадков городских сточных вод (ОСВ) и техногенных речных илов.

Исследования были выполнены в 2008 г. в пределах Московской области в бассейне р. Пахры (правом притоке р. Москвы). Пробы осадков сточных вод отобраны из иловых карт очистных сооружений г. Подольска, фонового аллювия (раз-

нозернистые русловые пески) отбирались в верховьях р. Пахры вне зон прямого техногенного воздействия, техногенных илов – на реках Мураниха и Петрица. Небольшая, частично зарегулированная (в верхнем течении прудом-отстойником, в среднем – дамбой) речка Мураниха впадает в р. Жданку (правый приток р. Пахры). В Мураниху длительное время поступает поверхностный сток и сточные воды аэропорта Домодедово (его производственных подразделений). В русле Муранихи развиты типичные техногенные илы, отличающиеся высокими (многократно выше фоновых) концентрациями широкой группы химических элементов, особенно тяжелых металлов (Ag, Hg, Bi, P, Cu, Mo, Zn, Cr и др.), и значениями суммарного показателя загрязнения (до 150–200), отвечающих преимущественно очень высокому уровню загрязнения [21, 22, 28]. Речка Петрица имеет длину порядка 10 км, впадает (справа) в один из главных притоков р. Пахры – р. Мочу. Она имеет 3 притока, ее русло зарегулировано несколькими прудами (особенно в пределах г. Климовска); является одним из наиболее загрязненных водотоков бассейна Пахры. Особенно значительной степенью техногенного воздействия на водную систему Петрицы была в прошлые годы, когда в речку осуществлялся сброс сточных и ливневых вод завода «Вторцветмет» (пос. Львовский). В настоящее время в р. Петрице и в существующих на ней прудах широко распространены техногенные илы. Илы, мощность которых колеблется от 0,2 до 1 м, содержат очень высокие концентрации широкой группы химических элементов (Hg, Ag, Pb, Bi, P, Cu, Zn, Sb, Sn, Ba, Cd, F, Co и др.) и органических веществ (нефтепродукты, бенз-а-пирен и др.); отличаются значениями суммарного показателя загрязнения (до 400–500), отвечающими чрезвычайно высокому уровню загрязнения [21].

Пробы фонового аллювия отбирались пластиковым совком, пробы техногенных илов и осадков сточных вод (ОСВ) – буром ТБГ-1. Пробы высушивались на воздухе в тени в хорошо проветриваемом помещении (с периодическим – 2–3 раза в день – размятием каждой пробы). Затем они просеивались через сито (капроновое) с диаметром отверстий 1 мм, квартовались и помещались в пакеты из кальки. Химико-аналитические исследования (компоненты петрохимического состава, сухой остаток, обменные ионы, pH) отобранных проб выполнены по стандартным методикам [2, 13–15]. Результаты анализов даются на сухую массу образца.

Важнейшей особенностью техногенных образований является очень высокое содержание в них аморфных (рентгеноаморфных) веществ и повышенное содержание глинистых минералов (рис. 1). Так, если в фоновом русловом аллювии доля аморфной фазы составляет около 11%, то в техногенных речных илах она увеличивается до 30% и более. Высокая доля аморфных веществ в осадках городских сточных вод свидетельствует о том, что сточные воды (техногенная взвесь) являются основным источником их поступления в водотоки. Аморфное вещество, присутствующее в илах, играет важную геохимическую роль, в существенной мере определяя их значимость, с одной стороны, как концентраторов многих загрязняющих веществ, с другой – как потенциальных источников вторичного загрязнения водной массы при диагенетических преобразованиях отложений. Наличие в отложениях значительного количества рентгеноаморфного вещества существенно увеличивает их коллоидальную активность, набухание, водопроницаемость, липкость, гидрофильность. В фоновом аллювии из глинистых минералов идентифицирован иллит, в ОСВ обнаружены иллит, каолинит, смектит и хлорит, в техногенных илах практически повсеместно присутствует иллит, достаточно часто встречаются каолинит и хлорит.

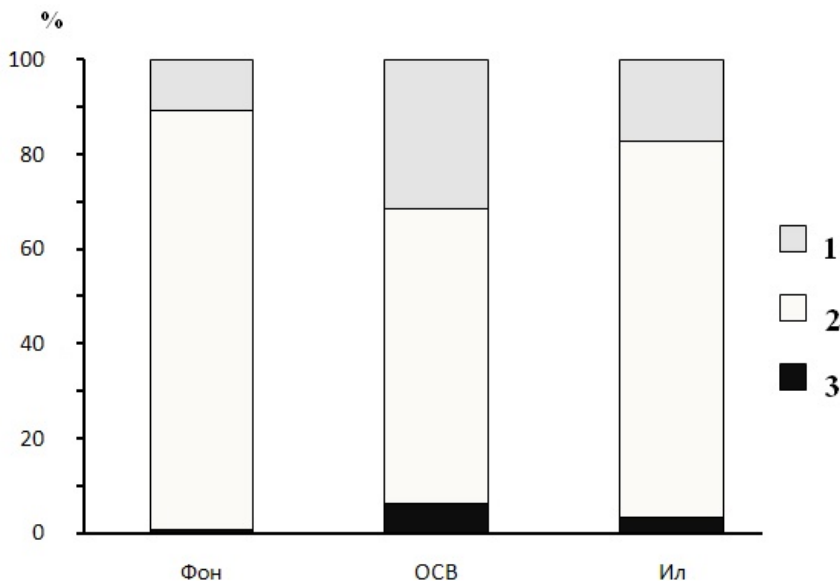


Рис. 1. Состав фоновго аллювия, ОСВ г. Подольска и техногенных речных илов р. Пахры [28]:

1 – аморфное вещество, 2 – неглинистые минералы, 3 – глинистые минералы.

Фоновый русловой аллювий, развитый в реках бассейна Пахры, характеризуется высокими содержаниями кремнезема и глинозема, что является следствием минерального состава (преобладание кварца, присутствие полевых шпатов [24, 26]). Содержание в аллювии других петрогенных оксидов в целом невелико. Обычно химический состав фоновго руслового аллювия закономерно близок составу природных почв (в фоновых условиях) и четвертичных отложений Русской равнины, являющихся основными природными источниками поставки осадочного материала в речную сеть. Техногенные илы по своему петрохимическому составу резко отличаются от фоновго аллювия, что обусловлено спецификой поступающего с освоенных территорий осадочного материала (в составе поверхностного стока и сточных вод) и своеобразием геохимических условий среды техногенного осадконакопления. Они чаще всего характеризуются пониженными содержаниями кремнезема, высокими содержаниями глинозема, оксидов железа, органических веществ и ряда других соединений (табл. 1). Важнейшая их особенность – очень высокие содержания широкой группы химических элементов, особенно тяжелых металлов, и органических веществ техногенного происхождения [22, 23].

Таблица 1

Химический состав фонового аллювия и техногенных илов, %

Компоненты	Фоновый аллювий	Техногенные илы	
		р. Мураниха	р. Петрица
SiO ₂	87,64	58,83	51,27
TiO ₂	0,20	0,72	0,547
Al ₂ O ₃	4,89	9,77	8,38
Fe ₂ O ₃	0,86	6,5	5,82
FeO	0,30	1,98	0,98
MnO	0,014	0,10	0,429
MgO	0,20	0,68	0,96
CaO	0,127	1,49	2,88
Na ₂ O	0,84	0,51	0,61
K ₂ O	1,36	1,72	1,69
P ₂ O ₅	0,153	1,15	1,809
SO ₃	0,028	1,15	0,83
Потери при прокаливании	3,26	20,56	24,77
Сумма	99,872	100,16	100,975
H ₂ O ⁺	1,73	7,78	4,16
H ₂ O ⁻	0,33	3,01	1,15
CO ₂	0,04	0,11	1,12
F	0,013	0,037	0,05

Результаты исследований свидетельствуют о том, что техногенные образования (илы и ОСВ) характеризуются (по сравнению с фоновым аллювием) чрезвычайно высокими значениями сухого остатка, высокой обменной кислотностью и значительными содержаниями обменных ионов (табл. 2, 3, рис. 2). Если емкость катионного обмена фонового руслового аллювия невысока – 4,84 мг-экв/100 г отложений, то емкость катионного обмена техногенных образований (ОСВ и техногенных речных илов) – возрастает в 3–10 раз, достигая в некоторых случаях 38–41 мг-экв/100 г для техногенных илов и 44,25 мг-экв/100 г для ОСВ. Наибольшие значения емкости обмена катионов закономерно характерны для отложений с низкими значениями pH. Как в фоновом аллювии, так и в техногенных отложениях в составе обменных катионов доминирует (68–81% от суммы) Са, доля обменного Mg также значительна (32–36% от суммы).

Таблица 2

**Обменные ионы в фоновом аллювии р. Пахры, техногенных илах
ее притоков и в осадках сточных вод г. Подольска**

Место отбора проб	pH	Сухой остаток, мг/100 г	мг-экв/100 г						Обменная кислотность, мг-экв/100 г
			NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
Фоновый аллювий									
Верховье р. Пахры	7,4	11,8	0,01	0,05	0,01	0,03	3,62	1,13	< 0,009
Осадки городских сточных вод									
г. Подольск	4,8	400,0	0,11	1,11	0,26	0,44	33,68	8,76	0,605
Техногенные илы									
р. Мураниха, аэр. Домодево	4,7	276,5	0,09	1,87	0,07	0,09	25,70	6,99	0,639
р. Петрица, верховье	4,6	396,3	0,04	1,53	0,19	0,43	27,45	9,01	0,675
р. Петрица, верховье	6,2	320,3	0,05	1,46	0,11	0,35	33,18	6,25	0,153
р. Петрица, г. Климовск	7,4	301,3	0,05	0,24	0,11	0,40	27,45	6,74	0,054
р. Петрица, г. Климовск	7,4	139,8	0,01	0,10	0,02	0,06	10,51	3,50	0,036
р. Петрица, г. Климовск	7,4	197,5	0,03	0,14	0,04	0,15	13,97	4,01	0,027
р. Петрица, г. Климовск	7,3	275,5	0,05	0,44	0,05	0,24	26,95	5,24	0,072
Устье р. Петрицы	6,6	186,5	0,02	0,36	0,04	0,14	16,72	6,99	0,087
Среднее	6,5	261,7	0,04	0,77	0,08	0,23	22,74	6,09	0,22

Таблица 3

**Обменные катионы в фоновом аллювии р. Пахры, техногенных илах
ее притоков и в осадках сточных вод г. Подольска**

Место отбора проб	Сумма катионов, мг-экв/100 г	В % от суммы				
		NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Фоновый аллювий						
Верховье р. Пахры	4,84	1,03	0,21	0,62	74,79	23,35
Осадки городских сточных вод						
г. Подольск	44,25	2,51	0,59	0,99	76,11	19,80
Техногенные илы						
р. Мураниха, аэр. Домодедово	34,72	5,39	0,20	0,26	74,02	20,13
р. Петрица, верховье	38,61	3,96	0,49	1,11	71,10	23,34
р. Петрица, верховье	41,35	3,53	0,27	0,85	80,24	15,11
р. Петрица, г. Климовск	34,94	0,69	0,32	1,14	78,56	19,29
р. Петрица, г. Климовск	14,19	0,70	0,14	0,42	74,07	24,67
р. Петрица, г. Климовск	18,31	0,76	0,22	0,82	76,30	21,90
р. Петрица, г. Климовск	32,92	1,33	0,15	0,73	81,87	15,92
Устье р. Петрицы	24,25	1,49	0,16	0,58	68,95	28,82
Среднее	29,91	2,23	0,24	0,74	75,63	21,15

Показательно, что количество обменного NH₄⁺ заметно превышает обменные Na и K (иногда на порядок). Техногенные образования отличаются также повышенными (в 2–10 раз) содержаниями NO₃⁻. Наблюдаемые колебания значений емкости поглощения обусловлены пространственными различиями вещественного (особенно гранулометрического и минерального) состава отложений, а также количества и группового состав органического вещества. Судя по всему, основ-

ными носителями адсорбционных свойств техногенных илов являются аморфное и органическое вещество, гидроксиды железа, карбонатные и (в некоторых случаях) глинистые минералы. Безусловно, обменные реакции играют важную роль в формировании химического состава иловых и придонных вод, способствуя появлению здесь речных вод специфического химического состава.

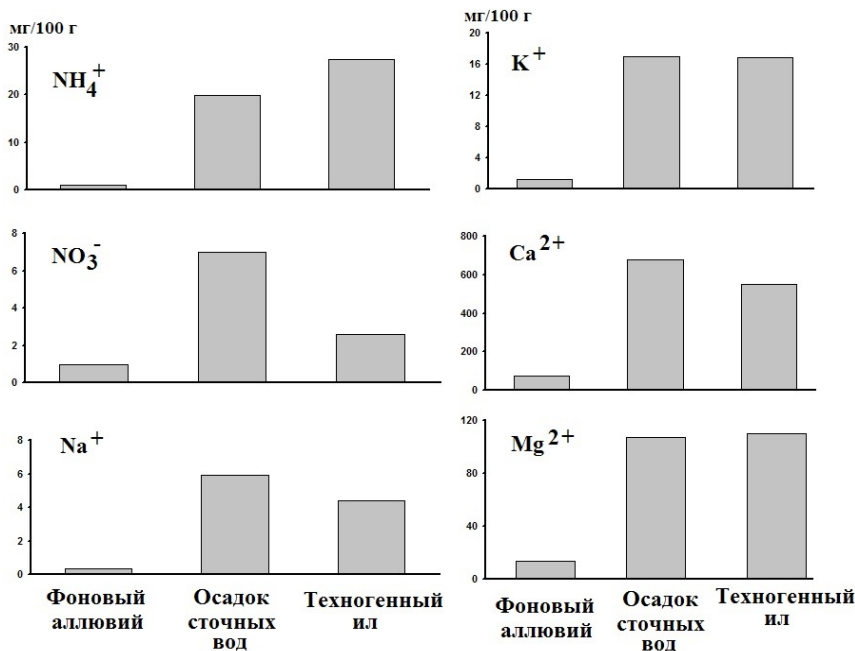


Рис. 2. Обменные ионы в различных отложениях.

В общем случае техногенные илы характеризуются достаточно высокой емкостью поглощения (обмена) катионов, изменяющейся от 14,19 до 41,36 мг-экв/100 г (среднее 29,91). Для сравнения, емкость поглощения катионов илистой фракции (< 0,001 мм) дерново-подзолистых почв, широко развитых в бассейне р. Пахры, находится в пределах 36–56 мг-экв/100 г фракции [5]. Емкость катионного обмена песка составляет – 2–4, супеси – 4–6, суглинков – 6–12, глина тяжелой – 10–15 мг-экв/100 г [10], каолинита – 3–15, монтмориллонита – 80–150, иллита – 10–40, вермикулита – 100–150, хлорита – 10–40, органического вещества – 150–500 мг-экв/100 г [6], аллювиальных почв нижней части р. Миссисипи – 21–34 м-экв/100 г (Ca – 12,4–28,8, Mg – 3,6–10,5, K – 0,4–0,7, Na – 0,1–0,3 м-экв/100 г) [30], донных отложений р. Дамодар (Индия) – 12,5, р. Гудзон (США) – 5,4–24,5 мг-экв/100 г [1], донных отложений оз. Ханка – 5–25 мг-экв/100 г [15], глубоководных глинистых илов северо-западной части Тихого океана колеблется в пределах 12,81–20,58 мг-экв/100 г [7]. Изучение обменного комплекса отложений Иваньковского водохранилища показало, что обменные катионы по среднему содержанию образуют ряд «Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺», причем доля обменных Ca и Mg достигает 95% от суммы всех катионов, т. е. является определяющей [3]. От песков к илам

сумма обменных катионов увеличивается, в илах она более чем в 10 раз превышает сумму для песков. Среднее значение суммы обменных катионов для песков составляет 3,77 мг-экв/100 г и увеличивается до 47,70 мг-экв/100 г для серых илов. Близкие данные получены для Рыбинского [8] и днепровских водохранилищ [12].

Таким образом, техногенные илы и ОСВ характеризуются (по сравнению с фоновым аллювием) высокими значениями сухого остатка, высокой обменной кислотностью и значительными содержаниями обменных ионов. Если емкость катионного обмена фонового аллювия составляет 4,84 мг-экв/100 г отложений, то техногенных образований возрастает в 3–10 раз, достигая 38–41 мг-экв/100 г для техногенных илов и 44,25 мг-экв/100 г для ОСВ. Наибольшие значения емкости обмена катионов закономерно характерны для отложений с низкими значениями pH. Во всех отложениях в составе обменных катионов доминирует (68–81% от суммы) Ca, доля обменного Mg также значительна (32–36%). Количество обменного NH_4^+ заметно превышает содержание обменных Na и K. Техногенные образования отличаются повышенными (в 2–10 раз) содержаниями NO_3^- . Наблюдаемые колебания значений емкости поглощения обусловлены местными пространственными различиями вещественного состава отложений, а также количества и группового состава органического вещества. Основными носителями адсорбционных свойств техногенных илов являются аморфное и органическое вещество, гидроксиды Fe, карбонатные и глинистые минералы, тонкодисперсные (илистого-глинистые) минеральные частицы. Повышенная емкость поглощения, свойственная техногенным илам (по сравнению с природным русловым аллювием), обуславливает их более высокую удерживающую способность по отношению к тяжелым металлам и другим химическим элементам, что, с одной стороны, отчасти снижает доступность последних для гидробиотов, с другой – свидетельствует о значимости илов как долговременного вторичного источника загрязнения речной системы.

Литература

1. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 356 с.
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
3. Бреховских В.Ф., Казмирук Т.Н., Казмирук В.Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища: состояние, состав, свойства. – М.: Наука, 2006. – 176 с.
4. Гедройц К.К. Избранные сочинения в трех томах. Т. 1. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 559 с.
5. Горбунов Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 302 с.
6. Грим Р. Минералогия и практическое использование глин: Пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 511 с.
7. Зайцева Е.Д. Емкость обмена катионов донных отложений северо-западной части Тихого океана // ДАН СССР, 1957, т. 113, № 5, с. 1106–1109.
8. Кудрявцева Д.Д. Физико-химические свойства донных (иловых) отложений Волжского отрога Рыбинского водохранилища // Тр. Биол. станции Борок, 1950, вып. 1, с. 97–104.
9. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. – М.: Госгеолтехиздат, 1957. – 448 с.

10. *Морозов А.Н.* Особенность концепции и особенности местных методик, используемых для вычисления водопотребления растений и графиков полива, ФАО в НИЦ МКВК, 1997 // http://water-salt.narod.ru/rosk_met.htm.
11. *Опекунов А.Ю.* Экологическая седиментология. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2012. – 224 с.
12. *Паламарчук И.К.* О составе обменных катионов в грунтах днепровских водохранилищ // Гидробиологический журнал, 1972, 8, № 5, с. 75–79.
13. Практикум по агрохимии. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
14. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
15. Практикум по агрохимии. – М.: Колос, 2008. – 599 с.
16. *Росликова В.И.* Современные представления о подводном почвообразовании // Тихоокеанская геология, 2006, № 4, с. 97–103.
17. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
18. *Янин Е.П.* Техногенные потоки рассеяния химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков // Советская геология, 1988, № 10, с. 101–109.
19. *Янин Е.П.* Геохимические особенности и экологическое значение техногенных илов // Разведка и охрана недр, 1994, № 5, с. 35–37.
20. *Янин Е.П.* Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 100 с.
21. *Янин Е.П.* Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2004. – 95 с.
22. *Янин Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек Московской области (состав, особенности, методы оценки) // Экологические системы и приборы, 2006, № 3, с. 24–33.
23. *Янин Е.П.* Органические поллютанты в техногенных речных илах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006, № 5, с. 2–26.
24. *Янин Е.П.* Особенности минерального состава русловых отложений реки Пахры (Московская область) в зонах техногенного воздействия // Бюлл. МОИП. Отдел Геол., 2007, 82, вып. 5, с. 48–55.
25. *Янин Е.П.* Особенности гранулометрического состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города // Изв. вузов. Геология и разведка, 2009, № 3, с. 69–74.
26. *Янин Е.П.* Техногенез и его роль в формировании минерального состава речных отложений // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 3–50.
27. *Янин Е.П.* Трансформация группового состава органического вещества русловых отложений малой реки в условиях техногенеза // Геохимия, 2013, № 9, с. 834–841.
28. *Янин Е.П.* Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка) // Экологическая экспертиза, 2013 № 1, с. 2–196.
29. *Янин Е.П.* Техногенные илы как вторичный источник загрязнения речных вод // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2015, № 9, с. 17–25.
30. *Driskell B.N.* Chemical, Physical, and Mineralogical Properties of Certain Soil Profiles in the Lower Mississippi Delta // Clays and Clay Minerals; 1954, v. 3; № 1; p. 384–388.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ПО РАЗМЕРАМ В СПЛОШНОЙ КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ КАНОПУС-V И ALOS

Д.ф.-м. н., проф. **Ю.М. Полищук**^{1,2}, магистр **М.А. Куприянов**²,
студент **И.Н. Муратов**², к.т.н. **В.Ю. Полищук**³

¹Институт химии нефти СО РАН, г. Томск

²Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий,
г. Ханты-Мансийск

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
г. Томск

E-mail: yupolishchuk@gmail.com

STUDYING THE SIZE-DISTRIBUTION OF SMALL THERMOKARST LAKES IN THE CONTINUOUS CRYOLITHOZONE OF WESTERN SIBERIA BY SATELLITE IMAGES KANOPUS-V AND ALOS

Y.M. Polishchuk, M.A. Kupriyanov, I.N. Muratov, V.Y. Polischuk

Ключевые слова: вечная мерзлота, геоинформационные системы, космические снимки, малые термокарстовые озёра, Западная Сибирь.

Представлены результаты дистанционного исследования распределения малых термокарстовых озер по площадям с использованием космических снимков Канопус-V и Alos высокого пространственного разрешения, полученных в летние месяцы 2008-2014 гг. Исследования проведены на 16 тестовых участках, выбранных в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты Западной Сибири. По результатам дешифрирования спутниковых снимков на каждом тестовом участке определены количество озер, их площади и степень заозеренности территории. Статистический анализ экспериментальных данных показал соответствие эмпирических гистограмм распределения озер по их площадям степенному закону. Работа выполнена по договору с Министерством образования и науки Российской Федерации № 14.B25.31.0001 от 24 июня 2013 г. (BIO-GEO-CLIM) и при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 14-01-31489 и № 15-45-00075).

Keywords: permafrost, geographic information systems, satellite imagery, small thermokarst lakes, Western Siberia.

The results of the remote study of distribution of small thermokarst lakes by sizes using satellite images from the Kanopus-V and Alos satellites with high spatial resolution, obtained in the summer months of 2008-2014 represented. Research have been conducted at 16 test sites selected in the zone of continuous permafrost in Western Siberia. As a result of decoding of satellite images at each test site determined number of lakes and their area and limnity of territory. Statistical analysis of experimental data has shown accordance the empirical distribution histograms of lakes by sizes to a power law.

Введение

Многолетняя мерзлота, являясь хранилищем законсервированного углерода в обширных мерзлых ландшафтах Северной Евразии и в некоторых частях Северной Америки, при потеплении климата может стать источником возникновения еще большего потепления при высвобождении метана и углекислого газа. Одним из природных источников эмиссии метана на северных территориях являются термокарстовые озера. Для оценки объемов метана, накопленного в термокарстово-озерных ландшафтах, необходимы знания о распределении озер по их размерам, получению которых и посвящена данная работа.

В настоящее время численность и пространственное распределение озер изучаются на глобальном и региональном уровнях. Исследованиям глобальной численности и распределения озер по площадям на глобальном уровне посвящены работы [9,13,16,18]. Наиболее часто используемая база данных по озерам и другим водным объектам [13], основанная на картографических материалах, не учитывает озера с размерами менее 10 км². Используемая для учета водных объектов меньших размеров статистическая экстраполяция степенного закона распределения озер по площадям, обнаруженного в этих исследованиях, не является обоснованной и приводит, как показано в [9,16], к завышению численности и суммарной площади озер. Это потребовало в последние годы привлечения спутниковых снимков для изучения числа и распределения озер по размерам. В [18] представлены результаты исследований распределения озер, выполненные с использованием спутниковых снимков среднего разрешения Landsat-7, полученных за период 1997-2003 гг., которые показали, что распределение озер по площадям соответствует степенному закону.

Исследования термокарстовых озер в зоне мерзлоты, проводившиеся в региональном масштабе (на Аляске, в Скандинавии, в Сибири), в основном были направлены на изучение изменений их размеров [5,12,15,17]. Работы по дистанционному исследованию численности и распределения озер по размерам в региональном масштабе относятся большей частью к территории Сибири и выполнены с использованием снимков среднего разрешения Landsat, Ресурс-О и др. [2,8,11,14].

Исследованиям малых озер (с площадями менее 0,2 - 0,5 га) в региональном масштабе посвящены немногочисленные работы, в частности, [7,10]. В статье [10] рассматриваются результаты исследований на трех участках в зоне сплошной мерзлоты Восточной Сибири с использованием космических снимков высокого (Spot-5) и сверхвысокого разрешения (Иконос-2), которые позволили выделить малые озера с минимальными площадями 30 м² на двух участках и 100 м² на третьем участке.

В [10] представлены графики распределения числа озер по площадям для трех исследованных тестовых участков. По мнению авторов статьи, графики распределения озер по их размерам могут быть описаны степенным законом распределения. Однако выводы авторов о степенном виде законов распределения озер следует принимать как предварительные, так как они сделаны на основе визуального анализа немногочисленных графиков.

Более последовательное изучение распределений малых озер в зоне мерзлоты Западной Сибири с использованием снимков сверхвысокого разрешения выполнено в [7]. Исследования проводились на 8 тестовых участках, выбранных в разных зонах мерзлоты Западной Сибири (в островной зоне - один участок, в прерывистой - два и в сплошной - пять). Площади озер определялись по космическим снимкам сверхвысокого разрешения, полученным со спутника QuickBird (разрешение 0,61 м). Анализ экспериментальных данных о численности и размерах термокарстовых озер показал, что гистограммы распределения озер по площадям допускают их аппроксимацию как степенными, так и экспоненциальными функциями (с достаточно высоким уровнем детерминации 0,95 и 0,90 соответственно), однако аппроксимирующая функция степенного вида дает более высокую досто-

верность. Заметим, что малое число исследовательских участков в разных зонах мерзлоты не позволяет считать полученные результаты достаточно обоснованными, что требует проведения дополнительных исследований.

В работах [11,14] представлены результаты исследования распределений озер по площадям, проведенные на территории Западной Сибири по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat за период 1973-2014 гг. Исследования [14], проведенные на 29 тестовых участках, расположенных в зонах сплошного, прерывистого и островного распространения многолетней мерзлоты, показали, что распределение озер по площадям, согласно критерию Пирсона, удовлетворяет экспоненциальному закону. А в статье [11], посвященной дистанционному изучению изменений площади термокарстовых озер и их числа в зоне прерывистой мерзлоты Западной Сибири отмечается, что распределение озер по площадям, по мнению авторов, соответствуют степенному закону. Заметим, что теоретическим путем в [4] обосновано логнормальное распределение озер по размерам в озерно-термокарстовых равнинах.

Противоречивость выводов о виде законов распределения озер, по нашему мнению, отражает недостаточную изученность вопроса о распределении термокарстовых озер по их размерам в региональном масштабе. Особенно это относится к слабоизученным малым озерам. Проведение дистанционных исследований распределения малых термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты требует применения космических снимков высокого пространственного разрешения. В связи с выше изложенным целью данной работы является дистанционное изучение закономерностей распределения малых термокарстовых озер по их размерам в криолитозоне Западной Сибири с использованием спутниковых снимков высокого разрешения.

Данные и объект исследования

Исследования проводились на территории зоны сплошного распространения многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков высокого разрешения Канопус-В (разрешение 2 м) и Alos (разрешение 2,5 м), коллекция которых включала 12 снимков. Выбор тестовых участков (ТУ) для проведения исследований по снимкам Канопус-В производился в границах сцен космических снимков в местах активного термокарста [3], определяемого по наибольшему сгущению озер. Общая характеристика выбранных тестовых участков дана в табл. 1, а их расположение показано на рис. 1.

Таблица 1

Характеристика тестовых участков и даты съемки

№ ТУ	Широта, град.	Долгота, град.	Дата снимка	Площадь ТУ, га
1	70,48	67,81	19.07.2014	3118
2	70,20	68,31	19.07.2014	3622
3	69,58	68,60	19.07.2014	3527
4	69,29	68,97	19.07.2014	3442
5	69,94	71,98	20.07.2014	3191
6	71,08	79,67	03.08.2015	2990
7	70,70	77,37	02.08.2015	3284
8	69,96	77,11	29.06.2014	2690
9	69,88	77,10	29.06.2014	3550
10	67,88	76,96	05.07.2008	2894
11	67,95	77,79	05.07.2008	3045
12	67,55	82,03	02.07.2008	2577
13	67,26	82,80	02.07.2008	3563
14	67,48	83,33	02.07.2008	2473
15	68,01	69,90	31.08.2015	2977
16	67,49	70,44	31.08.2015	2915

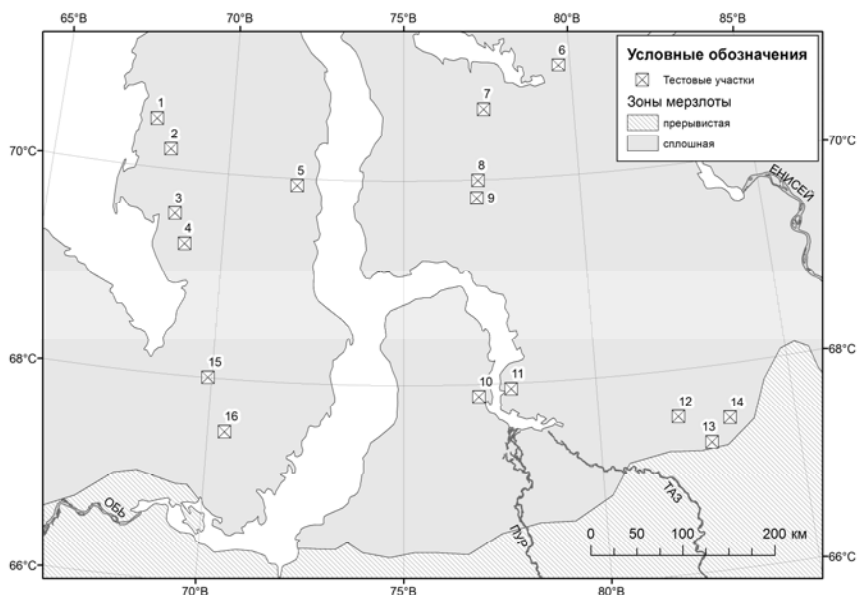


Рис. 1. Схема расположения тестовых участков в сплошной криолитозоне Западной Сибири

Согласно [3], образование термокарстовых озер происходит под воздействием нескольких факторов, главными из которых являются наличие высокольдистых многолетнемерзлых пород и равнинный характер территории. Поэтому большинство исследователей озерных термокарстовых равнин исходят из предположения о том, что в районах распространения высокольдистых многолетнемерзлых пород криолитозоны распространены преимущественно озера термокарстового происхождения, либо озера смешанного генезиса при значительном влиянии термокарстовых процессов. Например, в [5] на основе геоморфологического и климатического анализа вся криолитозона Западной Сибири отнесена к числу районов с повсеместным распространением термокарстовых озер. Поэтому озера, исследуемые в настоящей работе дистанционным методом, рассматриваются как термокарстовые озера.

Проверка равномерности распределения на исследуемой территории выбранных для исследований тестовых участков проводилась путем сопоставления схемы размещения тестовых участков с картами геокриологического и ландшафтного зонирования территории Западной Сибири [1,6]. На рис. 1 представлена карта-схема расположения подзон многолетней мерзлоты Западной Сибири, на которой видно, что выбранные тестовые участки довольно равномерно распределены по территории исследований.

Все выбранные для проведения дистанционных исследований 12 безоблачных космических снимков Канопус-В и Alos получены в летние месяцы (в основном, в июле – августе, когда полностью исчезает ледовый покров озер, мешающий выделению озер при дешифрировании снимков).

Обработка космических снимков проведена с использованием стандартных средств геоинформационной системы ArcGIS 10.3. Для обеспечения приемлемой погрешности в определении площадей озер минимальный размер регистрируемых озер определялся как полигон, в границах которого располагаются 9 пикселей. Следовательно, при разрешении снимка 2 м размер пикселя составляет 4 м², что дает минимальный размер озера 36 м² (из расчета площади 3х3 пикселя).

Результаты дистанционных исследований

Общая характеристика полей термокарстовых озер на исследуемой территории по результатам определения числа озер и дистанционного измерения их площадей на разных тестовых участках по снимкам высокого разрешения дана в табл. 2. Общая площадь озер в табл. 2 определялась как суммарная площадь озер на каждом ТУ. Плотность озер рассчитывалась как отношение числа озер на тестовом участке к его площади. Заозеренность территории определялась в виде отношения суммарной площади озер к площади ТУ. Для общей характеристики полей озер на исследуемой территории в табл. 2 даны средние значения показателей таблицы, определенные по всем ТУ.

Таблица 2

Характеристики полей термокарстовых озер по снимкам Канопус-В и Alos на разных тестовых участках

№ ТУ	Количество озер	Максимальная площадь озера, га	Общая площадь озер, га	Плотность озер, га ⁻¹	Заозеренность, %
1	500	87,88	534	0,16	17,1
2	377	47,16	345	0,10	9,5
3	197	116,72	632	0,06	17,9
4	349	43,65	450	0,10	13,1
5	133	121,48	784	0,04	24,6
6	194	229,90	699	0,06	23,4
7	278	94,94	650	0,08	19,8
8	230	36,60	279	0,09	10,4
9	424	53,80	466	0,12	13,1
10	2639	121,77	608	0,91	21,0
11	1995	396,36	778	0,66	25,6
12	3143	22,93	488	1,22	18,9
13	1572	33,92	609	0,44	17,1
14	1716	34,59	378	0,69	15,3
15	378	18,50	361	0,13	12,1
16	674	80,39	824	0,23	28,3
Среднее	925	96,29	555	0,32	17,9

Как видно из этой таблицы, размеры озер на разных тестовых участках изменяются в широких пределах – от 36 м² до нескольких сотен гектаров. Число озер на исследованных тестовых участках варьирует от нескольких сотен до десятков тысяч озер разных размеров. Заозеренность территории на разных тестовых уча-

стках изменяется от 9,5 до 28,3 % со средним значением 17.9 %. Еще большую изменчивость на разных ТУ, как видно из табл.3, проявляет плотность озер, диапазон изменения которой более чем в 2 раза превышает ширину диапазона значений заозеренности.

По данным дистанционного измерения площадей озер были построены гистограммы распределения термокарстовых озер для всех исследованных ТУ. Для иллюстрации на рис. 2 приведены гистограммы распределения озер по площадям на трех участках: ТУ-4, ТУ-7 и ТУ-9, представленные в двойном логарифмическом масштабе. На рис.2 относительное число озёр, попадающих в каждый i -ый интервал гистограммы, определялось как n_i / N , где n_i – число озёр в каждом интервале гистограммы; i – номер интервала; N – суммарное количество озёр на исследуемом тестовом участке. Графики гистограмм, как видно на рис.2, на разных ТУ обнаруживают сходный характер поведения, отражающий рост числа озер при уменьшении их площади.

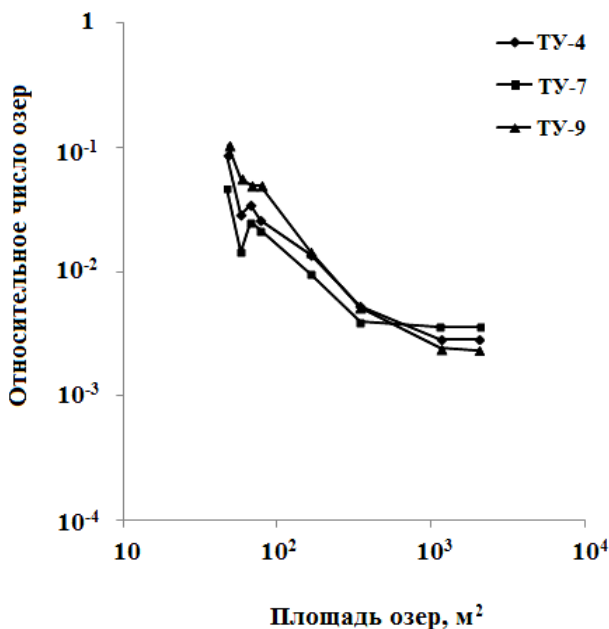


Рис. 2. Примеры гистограмм распределения озер по площадям на разных ТУ.

Графики гистограмм распределения озер по площадям на рис. 2 представлены в двойном логарифмическом масштабе с целью проверки соответствия эмпирических распределений степенному закону распределения в виде:

$$k = As^B, \quad (1)$$

где k – относительное число озер в интервалах гистограмм; s – площадь водной поверхности озер; A, B – коэффициенты степенной функции.

Покажем, что в случае степенного вида закона распределения озер по площадям графики гистограмм эмпирического распределения озер в двойном логарифмическом масштабе будут представляться линейными функциями. Прологарифмировав левую и правую части уравнения (1), получим соотношение:

$$\lg k = \lg A + B \lg s,$$

которое путем введения подстановок $\lg k = y$ и $\lg s = x$ приводится к виду:

$$y = \lg A + Bx. \quad (2)$$

Уравнение (2) демонстрирует линейную зависимость логарифма относительно-го числа озер от логарифма величины их площадей на графиках гистограмм, представленных в двойном логарифмическом масштабе. Действительно, графики гистограмм распределения озер, представленные в таком масштабе на рис. 2, имеют приблизительно линейный вид.

Для подтверждения указанной линейной зависимости проведем аппроксимацию гистограмм уравнением прямой линии. На рис 3 точками показаны значения относительного числа озер в интервалах гистограммы распределения озер по размерам на ТУ-7, а прямая линия отображает график аппроксимирующей зависимости, полученной с высоким уровнем достоверности (коэффициент детерминации 0,98) в виде (2), что может служить подтверждением степенного закона распределения озер по площадям в виде (1). Из уравнения аппроксимации, приведенного в поле графика на рис.3, определим следующие величины коэффициентов степенного закона распределения озер по площадям для ТУ-9:

$$A = 3,79; B = -1,03.$$

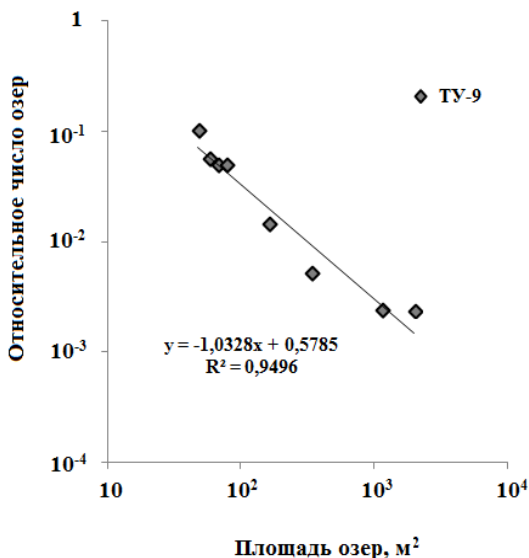


Рис. 3. Аппроксимация гистограммы распределения озер по площадям на ТУ-9, представленной в двойном логарифмическом масштабе

Аналогичная аппроксимация эмпирических гистограмм распределения озер была проведена для графиков гистограмм на всех ТУ. Рассчитанные значения коэффициентов степенного закона распределения озер для разных ТУ представлены в табл. 3, из которой видно, что коэффициент В, определяющий вид степенной функции, изменяется на разных ТУ в сравнительно небольшом интервале значений: от -1,66 до -0,62 (со средним значением -1,08), что является показателем сравнительно слабой изменчивости вида распределения озер по площадям на разных ТУ. Следовательно, несмотря на значительные колебания плотности озер и заозеренности территорий на разных ТУ (табл.3), можно отметить сравнительно слабую изменчивость вида распределения озер на них. График семейства гистограмм распределения озер на разных ТУ, представленный на рис. 4, также демонстрирует близость гистограмм на каждом ТУ к прямой линии, отображающей результат аппроксимации усредненной (по всем исследованным ТУ) гистограммы распределения малых озер по их площадям в прерывистой криолитозоне Западной Сибири.

Таблица 3

Значения коэффициентов степенного закона распределения озер по данным исследований на разных тестовых участках

№ ТУ	Коэффициенты степенного закона		R ²
	В	А	
1	-1,11	5,57	0,94
2	-0,91	1,78	0,96
3	-0,81	0,84	0,63
4	-0,83	1,08	0,91
5	-0,95	2,45	0,83
6	-1,02	3,22	0,89
7	-0,62	0,28	0,82
8	-0,94	1,87	0,79
9	-1,03	3,79	0,95
10	-1,51	122,57	0,99
11	-1,66	262,72	0,99
12	-1,46	76,35	0,96
13	-1,37	48,00	0,94
14	-1,37	37,85	0,90
15	-0,86	1,05	0,80
16	-0,86	1,04	0,97

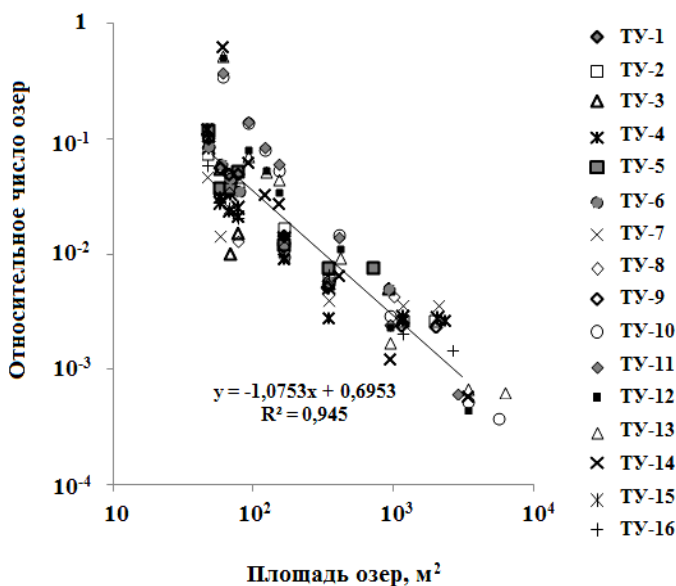


Рис. 4. Аппроксимация усредненной по всем ТУ гистограммы распределения малых озер по их площадям в прерывистой криолитозоне Западной Сибири.

Заметим, что степенному закону также подчиняются и распределения озер в глобальном масштабе [9,18], что обсуждалось выше во введении к настоящей статье. Следовательно, приведенные в статье результаты дистанционных исследований полей термокарстовых озер на основе снимков высокого разрешения показывают, что и в исследованиях регионального масштаба на территории мерзлоты Западной Сибири распределение озер можно принимать соответствующим степенному закону, как и их распределение в глобальном масштабе.

Заключение

В статье рассмотрены вопросы оценки распределения малых термокарстовых озер в сплошной криолитозоне Западной Сибири по космическим снимкам высокого пространственного разрешения. В настоящее время выполнены исследования, направленные на изучение распределения озер в планетарном масштабе, которые позволили установить степенной вид закона распределения озер по их размерам. В этих исследованиях наряду с картографическими материалами применялись и данные дистанционного зондирования с использованием снимков среднего пространственного разрешения, на которых не обнаруживаются малые озера с размерами менее 0,2 га.

В нашей работе исследования проводились на территории многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков высокого разрешения Канопус-В (разрешение 2 м) и Alos (разрешение 2,5 м), позволяющих дешифровать озера малых размеров (от 36 м²). Исследования проведены в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты Западной Сибири, на территории которой выбраны 16 тестовых участков примерно одинаковой площади,

достаточно равномерно распределенных по исследуемой территории. Все выбранные для проведения дистанционных исследований 12 безоблачных космических снимков Канопус-В и Alos получены в летние месяцы (в основном, в июле – августе, когда полностью исчезает ледовый покров озер, мешающий выделению озер при дешифрировании снимков).

По результатам дешифрирования спутниковых снимков на каждом тестовом участке определены количество озер, их площади и степень заозеренности территории. Число озер на исследованных тестовых участках варьирует от нескольких сотен до десятков тысяч озер разных размеров. Заозеренность территории на разных тестовых участках изменяется от 9,5 до 28,3 % со средним значением 17,9 %.

Построены графики гистограмм распределения озер по площадям на каждом тестовом участке, представленные в двойном логарифмическом масштабе с целью проверки соответствия эмпирических распределений степенному закону распределения. Статистический анализ экспериментальных гистограмм распределения озер показал, что на всех исследованных участках прерывистой криолитозоны Западной Сибири эмпирические гистограммы распределения озер по их площадям могут быть аппроксимированы с высоким коэффициентом детерминации степенной функцией. Показатель степени аппроксимирующей функции, определяющий вид степенного закона, изменяется на разных ТУ в сравнительно небольшом интервале значений: от -1,66 до -0,62 (со средним значением -1,08).

Литература

1. Атлас СССР / Отв. редактор Т.П. Сидоренкова. -М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1984. - 260 с.
2. Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Анализ изменения численности термокарстовых озер в зоне мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Криосфера Земли, 2015. - Т. 19. - № 2. - С. 114-120.
3. Викторов А.С. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. - М., Наука, 2006. - 252 с.
4. Викторов А.С., Капралова В.Н., Трапезникова О.Н. Математическая модель морфологической структуры озерно-термокарстовых равнин в изменяющихся климатических условиях // Криосфера Земли, 2015. - Т. 19. - № 2. С. 26-34.
5. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изменения размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет // Криосфера Земли, 2009. - Т. 13. - № 2. - С. 16-26.
6. Ландшафтная карта СССР / Под редакцией И.С. Гудилина. - М.: Моск. госуд. университет, 1987. (электронный ресурс) – Режим доступа: http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom/data/landscapes/ (дата обращения 15.06.2015)
7. Полищук Ю.М., Брыксина Н.А., Полищук В.Ю. Дистанционный анализ изменения числа и распределения по размерам малых термокарстовых озер криолитозоны Западной Сибири // Исследование Земли из космоса, 2015. - № 3. - С. 34-42.
8. Полищук В.Ю. Геоимитационное моделирование полей термокарстовых озер в зонах мерзлоты. - Ханты-Мансийск: УИП ЮГУ, 2013. - 129 с.
9. Downing J.A., Prairie Y.T. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments // Limnol. Oceanogr., 2006. - V. 51. P. 2388-2397.
10. Grosse G., Romanovsky V., Walter K., Morgenstern A., Lantuit H., Zimov S. Distribution of Thermokarst Lakes and Ponds at Three Yedoma Sites in Siberia // Proc.

of the 9th Intern. Conf on Permafrost (June 29 – July 3, 2008). Fairbanks, Alaska, 2008, pp. 551-556.

11. Karlsson J.M., Lyon S.W., Destouni G. Temporal Behavior of lake size-distribution in a thawing permafrost landscape in Northwestern Siberia // Remote sensing. 2014. - Nr. 6. - P. 621-636.

12. Kirpotin S., Polishchuk Y., Bryksina N. Abrupt changes of thermokarst lakes in Western Siberia: impacts of climatic warming on permafrost melting // International Journal of Environmental Studies. 2009. - V. 66. - Nr. 4. - P. 423-431.

13. Lehner B., Doll P. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands // Journal of Hydrology, 2004. - V. 296. - P.1-22, doi:10.1016/j.jhydrol.2004.03.028.

14. Polishchuk V., Polishchuk Y. Modeling of thermokarst lake dynamics in West-Siberian permafrost. Chapter 6 // In O. Pokrovsky (Ed.) Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems New York: Nova Science Publishers, 2014. - P. 205-234.

15. Polishchuk Y., Kirpotin S., Bryksina N. Remote study of thermokarst lakes dynamics in West-Siberian permafrost. Chapter 5 // In O. Pokrovsky (Ed.): Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems, New York: Nova Science Publishers, 2014. - Pp. 173-204.

16. Seekell D.A. and Pace M.L. Does the Pareto distribution adequately describe the size-distribution of lakes? // Limnol. Oceanogr., 2011. - V. 56. - P. 350-356.

17. Smith L., Sheng Y., Macdonald G., Hinzman L. Disappearing Arctic Lakes // Science, 2005. - V. 308. - Nr. 3. - P. 14.

18. Verpoorter C., Kutser T., Seekel D.A., Tranvik L.J. A global inventory of lakes based on high resolution satellite imagery // Geophys. Res. Lett., 2014. - V. 41, doi: 10.1002/2014GL060641.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ И РАЗМЕРОВ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В ГОРНЫХ РАЙОНАХ АЛТАЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

М.А.Куприянов¹, д.ф.-м.н., проф. Ю.М. Полищук^{1,2}, Д.С.Шаронов²,
¹ Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск; kupr@gmail.ru
² Институт химии нефти СО РАН, Томск; yupolishchuk@gmail.com

THE STUDY OF THE THERMOKARST LAKES AMOUNT AND SIZE DYNAMICS IN THE HIGHLANDS OF ALTAI BY SATELLITE IMAGES

М.А.Kupriyanov², Y.M. Polishchuk^{1,2}, D.S.Sharonov¹
¹ Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk;
kupr@gmail.ru
² Institute of Petroleum Chemistry, SB RAS, Tomsk; yupolishchuk@gmail.com

Ключевые слова: термокарстовые озера, многолетняя мерзлота, космические снимки, глобальное потепление, Горный Алтай.

Key words: thermokarst lakes, permafrost, satellite imagery, global warming, Altai mountains.

Исследования проведены на высокогорных территориях в южной части республики Алтай. В зонах наиболее интенсивного термокарста были выбраны тестовые участки, на каждом из которых по космическим снимкам находилось от нескольких десятков до нескольких сотен термокарстовых озёр различных размеров, определялись число озёр и их площади. Показано, что за период исследований средняя численность озёр практически не изменилась, а суммарная площадь озёр увеличилась. Рост суммарной площади озёр объясняется влиянием глобального потепления климата последних десятилетий. Работа выполнена в рамках проекта по договору с Минобрнауки РФ № 14.B25.310001 (БИО-GEO-CLIM) от 23.06.2013 г. и при поддержке гранта РФФИ (проект 15-45-00075 p_урал_a).

Studies were conducted on the highland areas in the southern part of the Altai Republic. Test sites were selected in the areas of most intensive thermokarst. At each of test sites, from several tens to some hundreds of thermokarst lakes were found by satellite images and determined number of lakes and their areas. It is shown that the average number of lakes over the study period isn't changed, but the total area is increased. The growth of the total area of lakes is explained due to the influence of global warming in recent decades.

Введение

В условиях современного глобального потепления снижается прочность многолетнемерзлых грунтов в зонах вечной мерзлоты, что приводит к росту аварийности на объектах строительства и инфраструктуры и сопровождается значительными экономическими и экологическими ущербами. Для снижения ущербов и рисков аварийности необходимы исследования динамики термокарстовых процессов на различных территориях многолетней мерзлоты. Для прогнозиро-

вания возможных изменений состояния вечной мерзлоты требуется собирать и анализировать большие объемы информации, что в условиях труднодоступности территорий многолетней мерзлоты можно выполнить только с использованием методов дистанционного зондирования. Как показано в [1], термокарстовые озера являются удобным индикатором деградации многолетнемерзлых пород. Они хорошо дешифрируются на космических снимках, что позволяет использовать данные дистанционного зондирования при проведении геокриологических исследований.

В настоящее время проводятся обширные дистанционные исследования динамики термокарстовых озёр на территории вечной мерзлоты Северной Евразии [2, 4]. Однако динамика озёр в горных районах изучена недостаточно. Некоторые результаты дистанционных исследований динамики термокарстовых озёр в горных долинах Алтая представлены в [3, 4]. Целью настоящей работы явилось исследование динамики площадей и количества термокарстовых озёр в Горном Алтае на высокогорных территориях.

Методика и данные

Дистанционные исследования динамики термокарстовых озёр в высокогорных условиях проведены в южной части территории республики Алтай и на прилегающих территориях Монголии и Тывы. В высокогорных зонах наиболее интенсивного термокарста (на высотах 1500-2500 м) было выбрано 9 тестовых участков, на которых по космическим снимкам определялось от нескольких десятков до нескольких сотен термокарстовых озёр различных размеров. Расположение тестовых участков на территории исследования показано на рис. 1.

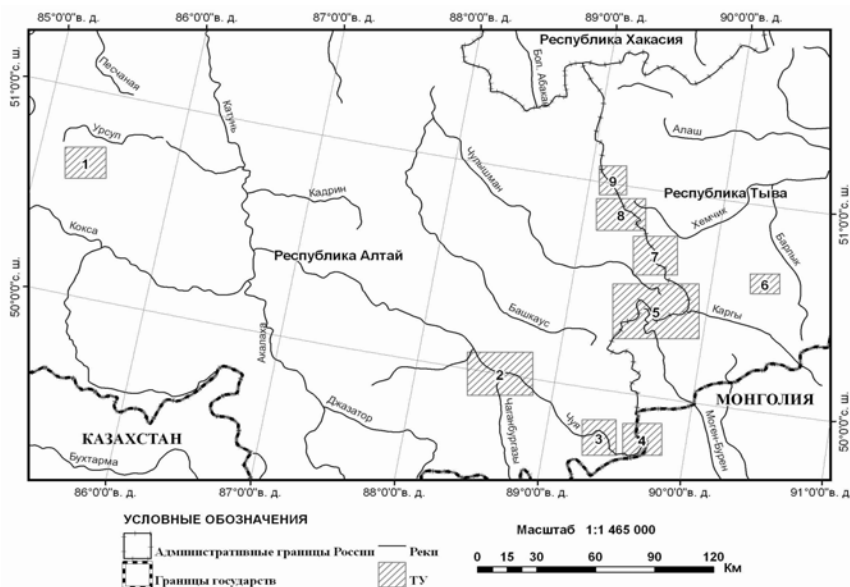


Рис. 1. Карта-схема расположения тестовых участков

Дистанционные измерения площадей озёр проводились по космическим снимкам с использованием стандартных средств геоинформационных систем ERDAS Imagine 9.1 и ArcGis 9.3. Статистическая обработка полученных результатов выполнена с помощью программных систем Statistica 6.0 и Excel. Для исследования динамики термокарстовых озёр было отобрано 7 снимков Landsat, полученных в период 1972–2011 гг., выбор которых определялся отсутствием облачного покрова в пределах сцен. Для исключения влияния внутрисезонных факторов на многолетнюю динамику площадей озёр снимки получены в течение ограниченного по времени теплого периода продолжительностью около 20 дней сентября. Снимки были получены из архива Global Land Cover Facility.

Для проведения количественного анализа тенденций на каждом тестовом участке были рассчитаны абсолютные и относительные величины изменения суммарных площадей за период наблюдения (1972-2010 гг.). Величина относительного изменения суммарной площади озёр определялась в соответствии с формулой: $R_S = (S_K - S_H) / S_H$, где S_K и S_H - суммарные площади озёр на тестовом участке в конечный (К) и начальный (Н) годы исследования соответственно. По данным об изменении количества озёр на тестовых участках была определена величина их относительного изменения по формуле: $R_N = (N_K - N_H) / N_H$, где N_K и N_H - количество озёр на тестовом участке в конечный и начальный годы исследования соответственно.

Результаты исследований и их анализ

На основе полученных данных о площадях озёр для каждого тестового участка (ТУ) построены графики временных зависимостей изменений суммарной площади термокарстовых озёр. Для иллюстрации на рис. 2 приведен график временного хода суммарной площади термокарстовых озёр на ТУ-7. Как видно из представленного на рис. 2 графика, на ТУ-7 наблюдается в среднем увеличение суммарных площадей озёр в период исследований.

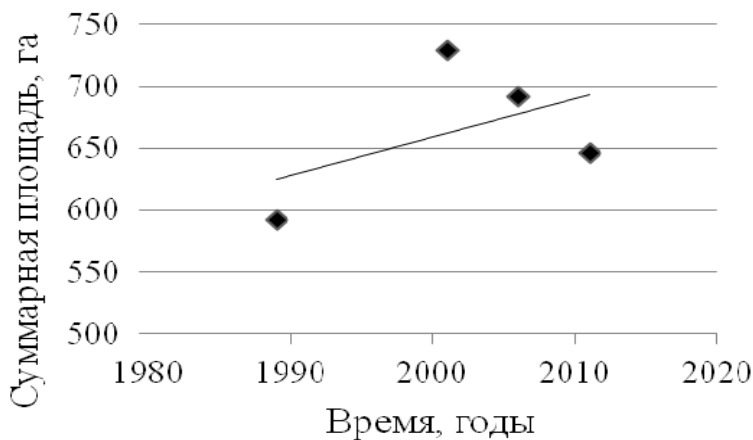


Рис. 2. Изменение суммарной площади термокарстовых озёр на ТУ-7

Результаты исследований приведены в табл. 1, где указаны данные о времени съёмки, об изменениях суммарной площади и количества озёр на каждом ТУ. Анализ данных табл. 1 показывает, что суммарная площадь на большинстве участков (7 из 9) увеличивается. Рост суммарной площади в среднем составляет 8%. При этом количество озёр на большинстве участков (на 6 из 9) сокращается, хотя в среднем изменения их численности не наблюдается (среднее значение относительного изменения количества озёр на исследованных ТУ составляет 0,4%).

Таблица 1

**Изменение площадей и количества термокарстовых озёр
на разных тестовых участках**

№ ТУ	Дата съёмки	Суммарная площадь, га	Количество озёр, шт	R_s , %	R_N , %
ТУ-1	20.09.1993	58,5	136	45	26
	06.09.2011	84,6	172		
ТУ-2	01.09.1972	646,9	151	-21	61
	15.09.2011	510,1	243		
ТУ-3	19.09.1989	651,4	172	22	8
	06.09.2011	797,6	186		
ТУ-4	19.09.1989	247,6	59	1	-12
	04.09.2001	284,0	54		
	10.09.2006	274,5	52		
	08.09.2011	249,7	52		
ТУ-5	19.09.1989	4164,8	1560	-9	-35
	06.09.2011	3809,9	1015		
ТУ-6	19.09.1989	123,1	43	5	-30
	04.09.2001	142,5	58		
	10.09.2006	136,6	35		
	08.09.2011	129,2	30		
ТУ-7	19.09.1989	591,9	154	9	-10
	04.09.2001	729,4	188		
	10.09.2006	691,8	162		
	08.09.2011	646,6	139		
ТУ-8	19.09.1989	348,3	158	16	-1
	04.09.2001	506,0	196		
	10.09.2006	447,8	163		
	08.09.2011	403,7	157		
ТУ-9	19.09.1989	195,7	65	4	-5
	04.09.2001	254,2	79		
	10.09.2006	227,2	70		
	08.09.2011	203,3	62		

Следовательно, суммарная площадь озёр за период двух десятилетий в высокогорных зонах Горного Алтая в среднем увеличилась, хотя количество озёр в этот период в среднем мало изменилось. Это показывает, что увеличение в среднем суммарных площадей не может быть объяснено увеличением количества озёр. Поэтому увеличение суммарных площадей озёр со временем можно связать с прогрессирующим термокарстом под воздействием наблюдаемого в последние десятилетия глобального потепления климата.

Сравнение полученных в работе результатов с данными исследований в горных долинах Алтая [3] показало, что в высокогорье площадь термокарстовых озёр также в среднем растёт, однако этот рост в 2-3 раза меньше. В связи с этим можно сделать предположение, что с высотой термокарстовая активность снижается. Это можно объяснить, по-видимому, сокращением длительности тёплого времени в летне-осенний период года с повышением высоты местоположения озёр.

Литература

1. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озёр в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185-189.
2. *Кравцова В.И.* Распространение термокарстовых озёр в России в пределах зоны современной мерзлоты // Вестник Московского университета. 2009. № 3. С. 33-42.
3. *Полищук Ю.М., Шаронов Д.С.* Изучение динамики полей термокарстовых озёр в горных долинах Алтая // Исследование Земли из космоса. 2012. № 1. С. 44-47.
4. *Шаронов Д.С., Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М.* Сравнительный анализ динамики термокарста на территории мерзлоты Западной Сибири и Горного Алтая на основе космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С 313-319.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА СПЕКТРАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИДКИХ РАСТВОРОВ: ТЕХНОЛОГИЯ

д.ф.-м.н., проф. В.Ф. Крапивин¹, д.ф.-м.н., проф. Ф.А. Мкртчян¹,
к.т.н. И.И. Потапов²

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва
vkrapivin_36@mail.ru

² Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва

ADAPTIVE SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF LIQUID SOLUTIONS: TECHNOLOGY

V.F. Krapivin, F.A. Mkrtchyan, I.I. Potapov

Ключевые слова: питьевая вода, жидкое топливо, диагностика, жидкий раствор, спектроэллипсометр, спектральный образ, распознавание, марсианская миссия.

Key words: drinking water, liquid fuel, diagnostics, liquid solution, spectroellipsometer, spectral image, recognition, Mars mission.

Рассмотрена проблема, связанная с решением многих задач оперативной диагностики жидкостей (включая питьевую воду), медицинских растворов и жидкого топлива. Эта проблема возникает в условиях, когда отсутствует специализированная лаборатория или имеющиеся средства не позволяют оперативно определить качество жидкого раствора. Такие условия могут возникать во время различных экспедиций, например, на Марс. Эта статья предлагает новый метод решения этой задачи. Предлагаемый метод состоит в создании базы данных спектральных эталонов жидких растворов, полученных с помощью многоканального спектроэллипсометра, и используемых для адаптивного распознавания спектральных образов. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по грантам № 13-01-00023_а.

The problem associated with solution of many tasks of operational diagnostics of liquid solutions (including drinking water), medical issues, and liquid fuels is considered. This problem exists under the conditions when special laboratory is no presents or available tools do no give possibility operatively to assess the liquid solution quality. Such conditions can by under the different expeditions, for example, as Mars mission. This paper proposes a new method to solve these problems both during the flight and the stay on the surface of the planet. The proposed method consists of a database development of spectral images of liquid solutions supplied by a multiple-channel spectroellipsometer and the diagnostics of liquid solutions using this database. This study was supported by the Russian Fund for Basic Researches (Grants No. 13-01-00023).

Проблема оценки качества жидких растворов в оперативном режиме возникает во время длительных экспедиций в отдаленные от населенных пунктов регионы. Наиболее характерной ситуаций является планируемая экспедиция на Марс [1].

Так или иначе, полет на Марс человека требует решения многих научно-технических и медицинских задач. Безусловно, одной из важных задач является обеспечение безопасности космонавтов. Сюда входят первостепенные проблемы защиты человека от облучения и обеспечения качественным продовольствием, включая питьевую воду. Наличие пресной воды на Марсе обнаружил американский марсоход "Кьюриосити - Curiosity", который достиг поверхности Марса 6 августа 2012 года.

Добыча питьевой воды на Марсе является также пока только обсуждаемой задачей. Ведь вода здесь находится в замерзшем состоянии в виде ледников на полюсах и прямо под поверхностью. Многие эксперты полагают, что добывать воду можно будет двумя способами: либо выкапывать ее из-под поверхности, а затем выпаривать в печи, либо же подвергать облучению микроволнами почву, извлекая затем водный пар. Так или иначе, затем необходимо оценивать ее качество и определять пригодность для использования в пищу.

Проблема оперативного контроля питьевой воды неизбежно возникает и в период полета в космическом корабле. Наряду с этим в процессе экспедиции будут возникать ситуации, когда необходимо оперативно оценить качество жидких медицинских растворов и жидкого топлива, если таковое будет находиться на борту летательного аппарата. В данной работе дополнительно к уже существующим методам контроля качества жидкостей различной природы предлагается использовать разработанную в Институте радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН технологию, основанную на использовании оптических характеристик жидкости.

В последнее время интенсивно развивается спектральная поляризационно - оптическая аппаратура для исследований характеристик различных жидких и твердых сред в реальном масштабе времени - многоканальные поляризационные спектрофотометры, спектрополяриметры, спектральные эллипсометры и дихрометры, нефелометры, и рефрактометры. Использование в современных поляризационно-оптических приборах эффективных модуляторов состояния поляризации и многоканальных анализаторов совместно с развитыми компьютерными технологиями сбора и обработки данных измерений определяют их высокие технические и функционально-информационные характеристики. Так, современные спектрофотометры обеспечивают измерение нескольких спектров в секунду с точностью и чувствительностью на уровне 1% и 0,01% соответственно, а измерения спектров вращения плоскости поляризации в реальном масштабе времени на спектрополяриметрах выполняются с высокой точностью (более 0,001%).

В настоящее время совместное применение технических средств и software для оперативного мониторинга водной среды даже на Земле развито недостаточно из-за сложности синтеза комплексной системы мониторинга. Особенно сложны задачи сочетания алгоритмического набора с уровнем информационного обеспечения системы мониторинга. Актуальная задача экологического мониторинга требует разработки компактных прецизионных поляризационно-оптических приборов для экспресс анализа жидких сред. При этом эффективность решения многопараметрических задач в большой мере определяют чувствительность и точность приборов, их универсальность, возможность использования широкого спектрального диапазона.

Спектральные измерения в водной среде дают информативную базу для применения современных методов и алгоритмов распознавания и идентификации загрязнителей этой среды. Совместное использование оперативных измерений спектрометрии и методов обработки данных впервые реализовано в адаптивном идентификаторе, принципиальная схема и общий вид трех его модификаций представлены на рис.1-3, а характеристики указаны в табл. 1.

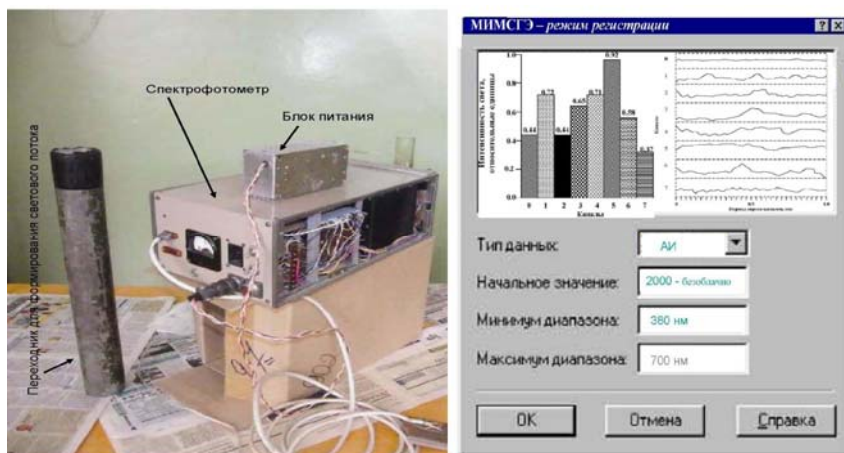


Рис. 1. Адаптивный идентификатор-спектрофотометр и фрагмент его интерфейса для изучения характеристик водной среды в лабораторных и полевых условиях в реальном масштабе времени.



Рис.2. Адаптивный идентификатор - 35-ти каналный спектроэллипсометр для использования в лабораторных условиях или в полевых условиях путем взятия образца жидкости.

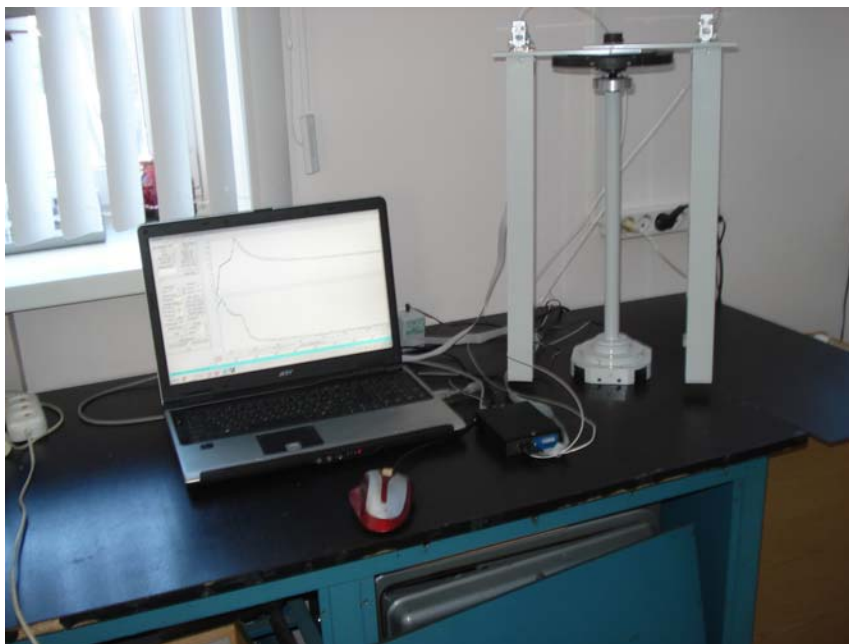


Рис. 3. Адаптивный идентификатор – информационно-моделирующая система.

Таблица 1

Средние характеристики адаптивного идентификатора.

<i>Характеристика</i>	<i>Значение</i>
Спектральный диапазон	380-930 нм
Время регистрации сигнала	менее 0,5 сек.
Поляризационный угол вращения	0,001 градус
Точность измерения эллипсометрических углов смещения поляризаций Ψ Δ	0,003 градус 0,01 градус
Тип галогенной лампы	KGM-9-70
Долговременная стабильность	0,01 градус
Вес измерительного устройства	менее 4 кг.

Традиционно оптические методы исследования жидкостей являются одними из наиболее информативных. В частности, в условиях Земли поляризационно-оптические спектральные измерения позволяют решить широкий круг сложных задач экологического мониторинга водных сред. Задача определения концентрации различных веществ в многокомпонентных растворах по спектрам оптического пропускания и отражения, линейного и циркулярного двух лучепреломления и дихроизма и по спектрам нарушенного полного внутреннего отражения успешно решается только с помощью развитого программного обеспечения.

Одно из перспективных направлений анализа растворов - жидкостная хроматография с прецизионными поляризметрическими устройствами. Следует отметить определенные трудности при создании компактных многоканальных поляризационно-оптических приборов. Как правило, ключевым элементом поляризационно-оптических приборов является модулятор состояния поляризации излучения. Это либо вращающийся поляризационный элемент (поляризатор, анализатор или компенсатор), ограничивающий частоту модуляции и значительно повышающий уровень помех, либо дорогостоящий фотоупругий модулятор, требующий совершенной термостабилизации. Используются в основном ПЗС линейки и матрицы фотодетекторов, имеющие недостаточно высокие фотометрические характеристики: малый динамический диапазон, недостаточная линейность, отсутствие доступа к отдельным пикселям, последовательное считывание фотоприемных элементов, приводящее к неэквивалентности измерительных промежутков на всех фотоприемниках.

Создание адаптивного идентификатора оказалось возможным благодаря развитию нового подхода в области поляризационной оптики. Разработана эффективная элементная база поляризационной оптики, развит метод дискретной модуляции состояния поляризации, и на их основе созданы высокоточные поляризационно-оптические приборы различного назначения. Применение простых высокоэффективных переключателей поляризации и линеек кремниевых фотодиодов с произвольным доступом к фотодиодам существенно упростило задачу создания компактных недорогих поляризационно-оптических приборов: спектрофотометров, спектрополяритметров, спектроэллипсометров и т.д.

Технология совместного использования спектрометрии и алгоритмов идентификации и распознавания позволило впервые создать типовой цельный комплекс аппаратных, алгоритмических, модульных и программных средств сбора и обработки данных о водной среде с функциями прогноза и принятия решений (рис. 3). Адаптивный идентификатор имеет ряд модификаций, ориентированных на использование в различных

условиях. Стационарный вариант охватывает полный комплект технических и алгоритмических средств, обеспечивающих проведение измерений в реальном масштабе времени. Использование этого варианта возможно при наличии сетевого питания 220 в. Полевой переносной вариант адаптивного идентификатора предусматривает два варианта

использования. При наличии компьютера Notebook в полевых условиях (при отсутствии сетевого питания) весь функциональный спектр адаптивного идентификатора реализуется в режиме реального времени. В противном случае результаты измерений запоминаются в блоке автономной памяти, а затем вводятся в компьютер и обрабатываются.

Алгоритмическое обеспечение адаптивного идентификатора основано на комплексном использовании методов распознавания и классификации дискретных образов, формируемых на базе спектров, регистрируемых за устанавливаемое оператором время. Обычно устанавливается интервал в 1 сек., который обеспечивает получение около 60 отсчетов значений освещенности по каждому из оптических каналов. Полученные спектры являются источниками рядов статистических параметров и различных характеристик, объединяемых в векторные пространства для последующего сопоставления с эталонными образцами, хранящимися в памяти компьютера. Технология этого сопоставления зависит от многообразия методов идентификации.

Адаптивный идентификатор рассчитан на обучение, которое представляет собой процедуру измерения спектральных характеристик и одновременное независимое измерение содержания химических элементов в водной среде. В результате в базе знаний формируется банк эталонов, сопоставление с которыми обеспечивает решение задачи идентификации. В частности, такое сопоставление может реализовываться в рамках расчета среднего квадратического отклонения измеренного спектрального образа объекта от имеющихся в памяти компьютера эталонов. Программное обеспечение адаптивного идентификатора предусматривает различные алгоритмы решения этой задачи, среди которых имеется и кластерный анализ.

Адаптивный идентификатор может применяться в различных областях, где требуется оценить качество жидкого раствора или выявить присутствие в нем определенного набора химических элементов. Эти задачи адаптивный идентификатор решает в режиме непрерывного наблюдения за объектом мониторинга. Установленный для стационарного измерения он позволяет следить за динамикой качества раствора в потоке, а при размещении на борту судна - измерять характеристики водного объекта по маршруту следования.

Функциональные возможности адаптивного идентификатора могут расширяться за счет увеличения объема эталонов в базе знаний. Переключение на естественный источник освещения позволяет решать задачи экспертизы земных покровов, обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности, определение степени загрязнения атмосферного воздуха и оценки состояния других объектов окружающей среды, спектральные образы которых в видимом диапазоне могут изменяться.

Адаптивный идентификатор был создан для решения задач оперативной диагностики качества водной среды в различных условиях и контроля жидких растворов в медицине и биофизике. Оперативность диагностики обеспечивается этапом предварительного обучения распознаванию спектральных образов растворов. Сам процесс обучения и последующее распознавание реализуются в соответствии с определенным набором методик, алгоритмов и процедур сбора, анализа, сортировки и обработки данных измерений. Совокупность всех этих средств составляет структуру информационно-моделирующей системы, ориентированной на оперативную диагностику состояния водных объектов в условиях многоканальных потоков информации от датчиков контактного и дистанционного действия и с применением высокоэффективных информационных технологий для решения задач классификации и идентификации водных объектов (рис. 3).

Сложность проблемы оперативного многопланового контроля качества воды и состояния гидрофизических систем и процессов обусловлена, как правило, их пространственной неоднородностью и наличием множества физических, химических и биологических факторов, влияющих на их состояние. Поэтому система автоматизации гидрофизического мониторинга включает параметризацию типового водного баланса ограниченной территории, которая отражает взаимодействие компонентов гидрологического цикла. При этом система обладает функцией адаптации к реальному гидрофизическому объекту или процессу. На схеме рис. 4 представлена концепция такой системы.

Заключение

Реализация схемы рис. 4 обеспечивается за счет сбалансированного использования технических, модельных и алгоритмических средств. Такой баланс гарантируется ГИМС-технологией [2,3], которая дает значительную экономию времени и средств за счет взвешенного планирования гидрофизического исследования, проявляющегося в экономном сочетании технических и алгоритмических средств сбора и обработки данных, а также в разумном распределении точек взятия проб по пространству, занятому изучаемым гидрофизическим объектом. Схема рис. 5 конкретизирует структуру МАИМСГИ.



Рис. 4. Концептуальная структурная схема многофункциональной адаптивной информационно-моделирующей системы для гидрофизических исследований (МАИМСГИ), ориентированная на оценку физико-химических характеристик водных объектов.

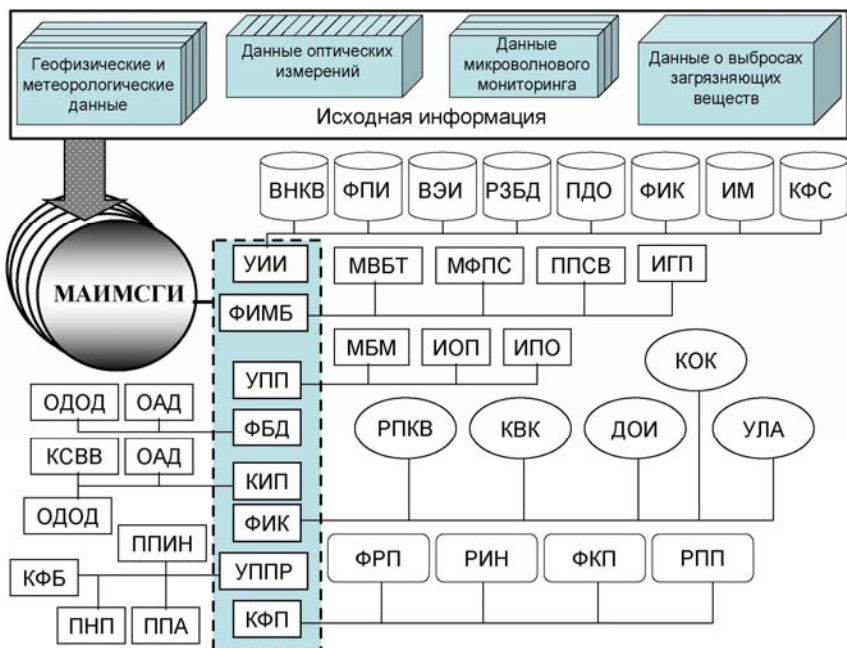


Рис. 5. Функциональная структура блоков МАИМСГИ. Обозначения даны в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Блоки первого уровня МАИМСГИ

Блок	Функции блока
УИИ	Универсальный информационный интерфейс
ФИМВ	Формирование имитационной модели влагооборота. Управление моделями и алгоритмами описания гидрофизических и гидрологических процессов.
УПП	Управление параметризацией потоков энергии и вещества в гидрофизической системе. Реализация механизмов трансформации химических элементов в водной среде.
ФБД	Формирование базы данных и синтез сценариев антропогенных процессов в зоне функционирования гидрофизического объекта.
КИП	Контроль информационных потоков между блоками системы.
ФИК	Формирование и использование критериев качества водной среды.
УППР	Управление процедурами принятия статистических решений.
КФП	Контроль фазовых переходов в гидрофизической системе

Блоки второго уровня системы МАИМСГИ

Блок	Функции блока
ФПИ	Формирование предметных идентификаторов для адаптации системы к конфигурации изучаемого гидрофизического объекта с учетом его географического положения, а также геофизической, экологической и социально-экономической структуры.
ВЭИ	Восприятие экспериментальной информации, ее масштабирование и занесение в базу данных.
РЗБД	Реализация запросов к базе данных. Обслуживание регламентных запросов.
ПДО	Поддержка действий оператора при выборе и изменении формы информационного и пользовательского интерфейсов.
ФИК	Формирование информационных карт о качестве воды на территории гидрофизического объекта.
ИМ	Изменение масштабов представления картографической информации с выделением фрагментов территории гидрофизического объекта.
КФС	Контроль функций системы, обеспечивающий согласование информационных потоков внутри системы, выявление дефектных запросов и сообщений, предупреждение о неправильных (или запрещенных) командах оператора, подсказка пользователю.
ВНКВ	Выявление нарушений качества воды и информирование оператора об этих нарушениях.
МВБТ	Модель водного баланса территории, занятой изучаемым гидрофизическим объектом или процессом.
МФПС	Модель формирования сложного многофакторного процесса поверхностного стока с учетом топографии водосбора и почвенно-растительного покрова.
ППСВ	Параметризация потоков сточных вод.
ИГП	Имитация гидрофизических процессов.
РПКВ	Расчет показателей качества воды.
МБМ	Моделирование механизмов трансформации химических элементов в воде.
ИОП	Имитация обменных процессов на границе гидрофизических систем, включая приливно-отливные процессы, взаимодействие с атмосферой.
ИПО	Имитация процессов обмена химическими элементами между атмосферой и водной поверхностью.
ОАД	Обновляемый архив данных об объемах и составе загрязняющих веществ, выбрасываемых в окружающую среду предприятиями сельскохозяйственных, промышленных и муниципальных систем, расположенных в зоне функционирования гидрофизической системы.
ОДОД	Оценка достоверности официальных данных, заносимых в архив.
ФКО	Формирование компьютерного образа гидрофизической системы.
ПРИ	Приведение разнородной информации к единому стандарту.
КСВВ	Контроль согласованности входов и выходов блоков и их связей с базой данных.
КВК	Контроль выполнения критериев качества воды.
ДОИ	Документирование оперативной информации о качестве водной среды.
УЛА	Учет лабораторных анализов качества водной среды.
КОК	Комплексная оценка качества водной среды.
ПНП	Процедура Неймана-Пирсона принятия статистических решений.
ППА	Процедура последовательного анализа принятия статистических решений.
КФБ	Контроль функционирования блоков информационно-моделирующей системы.
ППИН	Процедура преодоления информационной неопределенности.
ФРП	Формирование рядов метеорологических и геофизических характеристик.
РИН	Расчет индикаторов нестабильности и биологической сложности гидрофизической системы.
ФКП	Формирование кластерного пространства.
РПП	Реализация процедуры перколяции.

Рассмотренная технология диагностики водной среды применялась при изучении качества водных ресурсов в некоторых регионах России и Южного Вьетнама [2,4]. Опыт многолетних гидрофизических экспериментов показал, что применение МАИМСГИ в различных ее модификациях позволяет экономить время и другие ресурсы при получении исчерпывающих оценок качества различных водоемов. Самое главное, проведя обучение МАИМСГИ путем наполнения базы спектральных эталонов различных образцов водных объектов, мы исключаем во время гидрохимических исследований этап взятия образцов воды и их изучения в химической или биофизической лаборатории. Тем более вопрос усложняется при космическом полете, так как при космическом полете невозможно такое изучение из-за отсутствия соответствующим образом ориентированной лаборатории [5].

Система диагностики и идентификации качества жидкостей, описанная в данной работе, может быть реализована в виде компактного устройства небольших габаритов и веса. Вопрос о возможном ее использовании в неземных условиях, несомненно, требует проведения ряда дополнительных исследований:

- определение жидких растворов, которые будут использованы на борту космического корабля и в дальнейшем на Марсе и для диагностики которых будет использована изложенная здесь технология;
- реализация процедур обучения распознаванию спектральных образов этих жидкостей в земных условиях путем формирования базы спектральных эталонов, обеспечивающей надежный уровень диагностики.
- реализация измерений спектров жидкостей в ограниченном объеме на МКС с целью выяснения изменений в спектрах одинаковых растворов, полученных на Земле и в условиях невесомости, и поиска закономерностей в этих изменениях.
- модернизация некоторых функций МАИМСГИ с учетом полученных результатов сопоставления спектров одинаковых растворов, изученных на Земле и МКС.

Литература

1. *Крапивин В.Ф., Бурков В.Д.* Адаптивная система спектральной идентификации жидких растворов. Материалы 10-й Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 28 ноября 2014 года, Звездный городок, НИИ Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, с. 133-135.
2. *Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., and Phillips G.W.* Global environmental change. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2002. 316 pp.
3. *Nitu C., Krapivin V.F., Soldatov V.Yu.* Information-Modeling Technology for Environmental Investigations. Bucharest, Romania: Matrix Rom, 2013. 621 pp.
4. *Krapivin V.F., Shutko A.M.* Information Technologies for Remote Monitoring of the Environment. Chichester U.K.: Springer/Praxis, 2012. 498 pp.
5. *Корольков А.В.* О поведении жидкости в невесомости. Материалы 10-й Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос», 28 ноября 2014 года, Звездный городок, НИИ Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, с. 135-136.

ИСТОРИЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ПЕРСОНАЛИИ

*Юбилеры – авторы научных статей в сборниках обзорной информации
Всероссийского института научной и технической информации РАН*

**Владимир Федорович Крапивин
(к 80-летию со дня рождения)**



8 апреля 2016 г. исполнилось 80 лет со дня рождения заслуженному деятелю науки Российской Федерации, доктору физико-математических наук, профессору, академику Российской академии естественных наук Владимиру Федоровичу Крапивину - известному ученому в области прикладной математики, информатики, экоинформатики и геоинформационного мониторинга окружающей среды. Он имеет более 500 опубликованных научных трудов и изобретений, является автором и соавтором 34 монографий.

Владимир Федорович Крапивин родился в д. Большие Избищи Трубетчинского района Рязанской обл. В 1954 г. окончил с серебряной медалью среднюю школу № 1 в г. Лебедевьян Липецкой обл. и поступил на механико-математический факультет Московского государственного университета имени

М.В. Ломоносова, который окончил в 1959 г. по специальности «математика». Научную деятельность начал еще во время учебы в университете под руководством академика А.Н. Тихонова, занимаясь в основном моделированием газовых потоков при их обтекании многоступенчатых ракет и решением нелинейных систем интегро-дифференциальных уравнений.

В 1959 г. В.Ф. Крапивин начал свою трудовую деятельность в институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ РАН) в лаборатории прикладной математики в должности младшего научного сотрудника, пройдя все ступени должностей академического института до заведующего отделом информатики. Кандидатскую диссертацию защитил в 1966 г. в ИРЭ РАН по специальности «радиофизика, включая квантовую», докторскую диссертацию защитил в 1973 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН по специальности «геофизика». Звание профессора получил в 1987 г. В 1992 г. избран действительным членом Российской академии естественных наук. В 1999 г. присвоено звание Заслуженного деятеля науки Российской Федерации. В 2000 г. избран действительным членом Болгарской академии науки, новой культуры и устойчивого развития. В 2002 г. избран членом международного научного общества Sigma Xi по распространению научных знаний среди молодых специалистов. В 2012 г. избран почетным профессором университета Nguyen Tat Thanh (г. Хошимин, Вьетнам). Владимир Федорович – член бюро секции «Кибернетика и вопросы экологии» РНТОРЭС им. А.С. Попова, член редколлегий ряда научных журналов, эксперт Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда.

Круг научных интересов В.Ф. Крапивина связан с созданием методов математического моделирования сложных информационных систем. Он развил теорию живучести сложных систем, основой которой являются конструктивные алгоритмы решения задач теории игр и методы компьютерной обработки больших потоков статистической информации в условиях динамики параметров изучаемых систем, их нестационарности и наличия неустранимой информационной неопределенности. Одной из важных прикладных задач, решавшихся В.Ф. Крапивным, была задача радиопротиводействия в условиях отсутствия достоверной информации о характеристиках и стратегии создающих помехи систем. В рамках проведенных здесь исследований были развиты конструктивные алгоритмы решения оптимизационных задач и предложены эффективные процедуры принятия статистических решений, основанные на развитии метода последовательного анализа Вальда.

В 70-е годы Владимир Федорович в составе группы ученых под руководством академика Н.Н. Моисеева принимал активное участие в международных научных исследованиях по оценке последствий возможной глобальной ядерной войны. Было показано, что в результате «ядерной зимы» на земном шаре с большой вероятностью останутся лишь примитивные формы жизни. Эти исследования были продолжены в составе группы Ленинградских ученых под руководством академика К.Я. Кондратьева с целью оценки последствий антропогенного воздействия на климат Земли.

В период с 2006 г. по 2012 г. В.Ф. Крапивин являлся научным руководителем двух научно-технических проектов Международного научного и технического центра. В рамках этих проектов им были созданы эффективные методики обнаружения объектов под растительным пологом и раннего обнаружения моментов зарождения тропических циклонов.

В последние годы В.Ф. Крапивин работал над созданием новых методик и алгоритмов оперативной диагностики природных и природно-техногенных объектов окружающей среды. Под его руководством разработана обучаемая спектрор-эллипсометрическая система с функцией оценки содержания химических элементов в жидком растворе. Эта система прошла многочисленные испытания в Южном Вьетнаме.

В настоящее время В.Ф. Крапивин развивает ранее созданную им теорию живучести сложных систем применительно к глобальной системе «природа-общество». Уже создана глобальная модель этой системы и введены критерии ее выживания, которые оценивают соотношение жизненно-важных факторов окружающей среды и состояние экономики отдельных государств. Установлены корреляционные зависимости между стратегией и целью человечества, с одной стороны, и состоянием окружающей среды, с другой стороны.

Научная деятельность В.Ф. Крапивина характеризуется широкими международными контактами с учеными США, Японии, Англии, Китая, Вьетнама, Румынии, Греции и Болгарии. Он подготовил 4 докторов и 22 кандидата наук. Награжден орденом «Знак Почета» и девятью медалями.

Коллеги, ученики, друзья и все, хорошо знающие Владимира Федоровича, сердечно поздравляют его с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов и удач.

К 80-ЛЕТИЮ М.Н.ТИХОНОВА

Творческая характеристика М.Н.Тихонова

Тихонов Михаил Николаевич (род. 06.06.1936). Академик МАНЭБ по секции «Радиационная безопасность». Окончил Одесское Краснознамённое военное училище им. К.Е.Ворошилова (1957), Хмельницкое танковое училище (1958), заочно 4 курса Северо-западного политехнического института (1961), Военную артиллерийскую академию им. М.И.Калинина (1966), в 1975г. математико-механический факультет Ленинградского государственного университета им. А.А.Жданова по специальности «Математика».

В 1958-61 гг. проходил службу в Южной группе войск (Венгрия) командиром танкового взвода разведки. После окончания ВАА им. М.И.Калинина в 1966-69 гг. работал начальником станции в системе АСУ при Главном управлении космических средств (ГУКОС). С апреля 1969 по октябрь 1982 г. работал в Военной инженерной академии им. А.Ф.Можайского в различных должностях (начальником смены ИВЦ академии, м.н.с., преподаватель), а с 1982 по 1990 г. – с.н.с. и начальником отдела натурных измерений и моделирования НИЦ обитаемости и профессионального отбора ВМедА им. С.М.Кирова.

После демобилизации из рядов ВС с 1990 по 2010 г. работал с.н.с. в ФГУП НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России. В 1994-95 гг. преподавал медицинскую статистику и информатику в медицинском училище при ВМедА им. С.М.Кирова. С 2011 г. по настоящее время - специалист Межотраслевого экспертно-сертификационного и контрольного научно-технического центра ядерной и радиационной безопасности (РЭСцентра).

Специалист в области военной экологии и нормативной обитаемости образцов ВВТ, электромагнитной, экологической и радиационной безопасности, многомерного статистического анализа ракетно - космических систем. Основные научные изыскания в ВМедА им. С.М.Кирова были связаны с обоснованием критериальных функций и физиолого-гигиенической оценкой обитаемости объектов военной техники (ОВТ), разработкой научных основ нормирования факторов обитаемости и классификацией ОВТ, утилизацией АПЛ и судов с ЯЭУ с учётом влияния вредных факторов на здоровье и работоспособность работников.

Внёс большой вклад в разработку нормативно-технической документации по техническим средствам обеспечения обитаемости (ТОО) и их внедрению, а также ГОСТов и ОТТ по нормативной обитаемости и эргономике ОВТ. Разработал ряд отраслевых методических указаний и рекомендаций по социально-гигиеническому мониторингу на предприятиях судостроительной промышленности и по ранней иммунодиагностике метало аллергзов у работников, занятых утилизацией АПЛ. Автор ряда учебно-методических работ Военной академии им. А.Ф.Можайского для обеспечения учебного процесса факультета сбора и обработки информации об окружающей среде.

Автор и соавтор более 1700 открытых научных публикаций, из них 20 монографий, 7 изобретений.

Основные публикации посвящены исследованию и применению систем обеспечения жизнедеятельности наземных образцов ВВТ, военной экологии, вопросам обитаемости ОВТ, радиационной обстановке в различных регионах России, комплексной оценке ядерно-радиационного наследия России, радиационной географии России, социально-экологическим последствиям войн и вооружённых конфликтов и объективному комплексному анализу различных видов современного терроризма, а также биологическому действию низко интенсивных экологических факторов на организм человека, волновым взаимодействиям в биологии и медицине, компонентному и факторному анализу числовых массивов проектных данных ракетно-космических систем.

В 1982-90 гг. - член КНТС-3 по военной эргономике при в\ч 03444 и КНТС-4 по стойкости и живучести образцов ВВТ к поражающим факторам при в\ч 11520, с 1990 по 2010 г. – член Организационного комитета Международных конференций и форумов по ядерной и радиационной безопасности ФААЭ России.

За период службы в ВС СССР награждён 9 медалями, Почётным знаком Международной академии «Информация, связь, управление в технике, природе, обществе» - «За особые заслуги в науке».

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция просит авторов при оформлении рукописей руководствоваться следующими правилами.

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к проблематике журнала, соответствовать научному уровню журнала, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к рассмотрению не принимаются.

3. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи (сотрудники редакции, члены редколлегии и редсовета, а также рецензенты данной работы).

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, библиографические ссылки, выводы исследования и должно быть определено место полученных результатов среди научных публикаций по данной проблематике.

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом около одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, считая пробелы). Статьи принимаются в распечатанном виде через два интервала с размером шрифта не менее 12 п. и с полями не менее 20 мм (**наличие электронного файла обязательно**) и по электронной почте (только в формате Microsoft Word for Windows). Распечатка рукописи должна быть подписана всеми авторами с указанием даты ее отправки.

6. На 1-й странице наверху слева указываются инициалы и фамилия автора, ниже помещаются название статьи, краткий реферат (объемом около 500 знаков, т.е. не более 10 строк) и ключевые слова (фамилия автора(ов), название статьи, реферат и ключевые слова – на русском и английском языках), далее – основной текст.

7. Все страницы рукописи, включая список литературы, таблицы, подписи к рисункам, рисунки, должны быть пронумерованы. Формулы, рисунки, таблицы нумеруются в порядке их упоминания в тексте.

8. Рисунки должны быть выполнены на отдельных листах. Подписи к ним также нужно напечатать на отдельном листе (в виде перечня). На обороте каждого рисунка необходимо указать простым карандашом его номер (если он не имеет номера – страницу). Все рисунки воспроизводятся в черно-белом изображении. Рукопись не должна содержать более пяти рисунков и (или) пяти таблиц.

9. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее 8 п. Таблицы и рисунки являются частью текста и должны допускать электронное редактирование.

10. Формулы должны быть напечатаны (или вписаны от руки и размечены: латинские буквы подчеркиваются волнистой линией (синими или черными чернилами), греческие обводятся красным, а их экспликация выносятся на поля; размечаются строчные буквы (две черточки сверху) и прописные (две черточки снизу) в тех случаях, когда их начертания не различаются.

11. Если в статье используются спецзнаки, то необходимо привести их перечень (на отдельном листе, без экспликации). Например: $\Delta, \nabla, U, \cap$ – спецзнаки.

12. Ссылки на литературу даются в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи, в алфавитном порядке по фамилиям авторов в соответствии с принятыми стандартами библиографического описания.

Библиографические описания в списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. В качестве примера приводим три наиболее распространенных описания – статьи, книги и электронного ресурса удаленного доступа:

Шрейдер Ю.А. Алгебра классификации // НТИ. Сер. 2. – 1994. – № 11. – с. 1-4.

Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. Радиотомография ионосферы. – М.: Физматлит, 2007. – с. 250-282.

Статистические показатели российского книгоиздания в 2006 г.: цифры и рейтинги [Электрон. ресурс]. – 2006. – URL:

http://bookchamber.ru/stat_2006.htm (дата обращения: 12.03.2009).

13. К рукописи необходимо приложить на отдельном листе следующие сведения об авторе(ах):

- а) фамилия, имя, отчество (полностью);
- б) ученая степень, звание, должность;
- в) место работы (полностью); почтовый адрес;
- г) телефон для связи с автором; адрес электронной почты (если есть).

14. Рукописи, полученные редакцией, подвергаются обязательному анонимному рецензированию. Рецензия направляется автору(ам) для ознакомления. Решение о принятии к публикации или отклонении рукописи принимается редколлегией после рецензирования. Принятые к публикации рукописи проходят научное и литературное редактирование.

15. Редакция направляет авторам рукописей, требующих доработки, письмо с текстом рецензии. Доработанная рукопись должна быть представлена в редакцию не позднее 1 месяца. К доработанной рукописи должно быть приложено письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания рецензента и указывающее на все изменения, сделанные в рукописи.

***Рукописи, не соответствующие указанным требованиям,
редакцией не рассматриваются.***

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ВОД СУШИ, МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

<i>Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М.</i> Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость ее учета при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения.....	3
<i>Янин Е.П.</i> Оценка возможного влияния долговременных природных процессов на формирование химического состава поверхностных вод.....	73
<i>Янин Е.П.</i> Оценка состава и емкости обмена катионов донных отложений малых рек в зонах техногенного воздействия.....	88
<i>Полищук Ю.М., Куприянов М.А., Муратов И.Н., Полищук В.Ю.</i> Исследование распределения малых термокарстовых озер по размерам в сплошной криолитозоне западной сибери по спутниковым снимкам канопус-в и alos.....	96
<i>Куприянов М.А., Полищук Ю.М., Шаронов Д.С.</i> Исследование динамики численности и размеров термокарстовых озер в горных районах Алтая по космическим снимкам.....	107
<i>Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А., Потапов И.И.</i> Адаптивная система спектральной идентификации жидких растворов: технология.....	112
ИСТОРИЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ПЕРСОНАЛИИ	
<i>Юбилеры – авторы научных статей в сборниках обзорной информации Всероссийского института научной и технической информации РАН.....</i>	122
Информация для авторов	127

Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

предлагает научным работникам, аспирантам и другим специалистам в области естественных, точных и технических наук, желающим быстро и эффективно опубликовать результаты своей научной и научно-производственной деятельности, использовать способ публикации своих работ через *систему депонирования*.

Депонирование (передача на хранение) – особый метод публикации научных работ (отдельных статей, обзоров, монографий, сборников научных трудов, материалов научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров), разрешенных в установленном порядке к открытому опубликованию.

Подготовка и передача на депонирование научных работ происходит в соответствии с «Инструкцией о порядке депонирования научных работ по естественным, техническим, социальным и гуманитарным наукам» (М., 2014).

Депонированные научные работы находятся на хранении в депозитарии ВИНТИ РАН, копии работ предоставляются заинтересованным организациям и специалистам на бумажном и электронном носителях и являются официальной публикацией.

Информация о депонированных научных работах включается в информационные издания ВИНТИ РАН: Реферативный журнал, Базу данных и Аннотированный библиографический указатель «Депонированные научные работы».

Направить научную работу на депонирование можно, обратившись в Группу депонирования ЦНИО ВИНТИ РАН по адресу:

125190, Москва, ул. Усиевича, 20.

ВИНТИ РАН, Группа депонирования ЦНИО

Тел.: 8 (499) 155-43-28, 8 (499) 155-43-76, 8 (499) 155-42-43,

Факс: 8 (499) 943-00-60,

e-mail: cnio@viniti.ru, dep@viniti.ru

С инструкцией о порядке депонирования можно ознакомиться на сайте ВИНТИ РАН: **<http://www.viniti.ru>**

Центр (Отдел) научно-информационного обслуживания (ЦНИО) ВИНИТИ РАН

Информационные услуги, предоставляемые ЦНИО ВИНИТИ РАН:

- проведение тематического поиска и консультации поисковых экспертов;
- подготовка списков научной литературы;
- подбор, копирование полнотекстовых материалов из первоисточников на бумажном носителе и в электронном виде;
- библиометрическая оценка публикационной активности исследователей и научных организаций с использованием российских и зарубежных баз данных;
- информационное обеспечение информационно-аналитической деятельности по подготовке и предоставлению аналитических обзоров и других научных материалов.

ВИНИТИ РАН располагает следующими информационными ресурсами:

- фондом НТЛ, включающим более 2,5 млн. отечественных и иностранных журналов, книг, депонированных рукописей, авторефератов диссертаций и другой научной литературы, ретроспектива – с 1991 года;
- базами данных и Интернет-ресурсами: БД ВИНИТИ (разработка ВИНИТИ), БД SCOPUS, БД Questel (патенты) и другими реферативными ресурсами;
- полнотекстовыми электронными ресурсами (статьи, патенты, материалы конференций).

Ознакомиться с информацией о доступных полнотекстовых и реферативных ресурсах можно на сайте ВИНИТИ www.viniti.ru

К услугам пользователей – **Электронный Каталог ВИНИТИ** <http://catalog.viniti.ru> и служба электронной доставки документов.

Осуществляется платное информационное обслуживание по разовым заказам и на договорной основе с предоставлением всех необходимых финансовых документов.

Проводится индивидуальное обслуживание пользователей в читальном зале ЦНИО ВИНИТИ.

Обращаться в ЦНИО ВИНИТИ:

- адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20;
- телефоны: 8(499) 155 -42 -43, 8(499) 155 -42 -17;
- эл. почта cnio@viniti.ru, fdk@viniti.ru;
- факс 8(499) 930 -60 -00 (для ЦНИО).

Ответственный за выпуск *И. И. Полянов*

ИД № 04689 от 28.04.01. Подписано в печать 12.05.2016. Гарнитура Таймс.
Бумага «Хегах». Формат бумаги 60 x 90 ¹/₁₆. Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,4.
Уч.-изд. л. 8,7. Тираж 80 экз.

Адрес редакции: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20. Тел. 499–152–55–00

Отпечатано по заказу ООО «Информнаука»
Типография «Форпринт.ру» г. Москва, М. Сухаревская пл., д. 6, стр. 1
Тел. +7 (495) 585-60-45.