

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КАЧЕСТВО ОЗЕРНЫХ ВОД В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ В ПРЕДЕЛАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-05-93112-НЦНИЛ\_а), ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (госконтракт № 11.519.11.6044) и Госзадания «Наука» № 5.4573.2011.*

По данным исследований, выполненных авторами в 1997–2012 гг., получена общая характеристика химического состава и качества вод озер лесоболотных ландшафтов в подзонах южной и средней тайги в пределах Томской области. Оценен фоновый уровень содержания широкого спектра главных ионов, микроэлементов, органических и биогенных веществ. Показано, что эколого-геохимическое состояние озерных вод региона в целом удовлетворительное и формируется под влиянием природных факторов.

**Ключевые слова:** озерные воды; химический состав и качество природных вод; таежная зона; Томская область.

### Введение

На территории Томской области расположено более одиннадцати тысяч озер, большая часть которых представлена малыми водоемами [1]. Несмотря на малый размер, озера играют чрезвычайно важную роль как в формировании водных ресурсов, так и в функционировании природно-территориальных комплексов. Также они являются весьма информативным индикатором природно-антропогенных изменений окружающей среды [2]. Однако гидрологическая и гидрохимическая изученность озер региона в настоящее время весьма незначительна, особенно внутриболотных водоемов, непосредственно не затронутых хозяйственной деятельностью. Это и определило цель исследований – оценку фонового химического состава озерных вод в разных по степени заболоченности ландшафтах таежной зоны в пределах Томской области.

### Исходная информация и методика исследований

Исследование выполнено на основе данных, полученных при участии авторов в Томском политехническом (ТПУ) и Томском государственном (ТГУ) университетах, ОАО «Томскгеомониторинг» в 2002–2012 гг. совместно с В.А. Базановым, В.А. Льготинным и О.Г. Нехорошевым. Объектами исследований послужили тринадцать озер, расположенных в средней части заболоченного водосбора р. Васюган, в нижней части водосбора р. Томь, на Кеть-Тымском междуречье и в Александровском Приобье на участке от устья р. Тым до г. Стрежевой и на момент обследования не испытывающих прямого антропогенного воздействия (сброс сточных вод, размещение инженерных объектов на акватории или в водоохранной зоне, забор воды, осушение болот на водосборе озера и т.д.).

Исследования включали: 1) полевые работы по отбору и консервации проб озерных вод для дальнейшего определения их химического состава в аккредитованных гидрогеохимических лабораториях в Томском политехническом университете, ОАО «Томскгеомониторинг» и ОГУ «Облкомприрода»; 2) обобщение и статистический анализ полученных материалов. Отбор проб воды проводился в летне-осеннюю межень из слоя 0,2–0,5 м от поверхности в соответствии с действующими методическими указаниями [3–5]. При определении

гидрохимических и геохимических показателей в стационарной лаборатории ТПУ использовались следующие методы: pH – потенциометрический;  $\text{SO}_4^{2-}$  – турбидиметрический;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ , бихроматная окисляемость (Б.О.), перманганатная окисляемость (П.О.),  $\text{CO}_2$  – титриметрический; соединения азота, фосфаты, Si, Fe, мутность – фотометрический; вещества, идентифицируемые как «нефтепродукты», фенолы, Al – флуориметрический;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  – пламенно-эмиссионная спектрометрия; Zn, Pb, Cu, Cd, Mn – атомная абсорбция, инверсионно-вольтамперометрический; взвешенные вещества – гравиметрический [6].

Обобщение данных, полученных (одинаковыми методами) в разных лабораториях, и их статистический анализ проводились согласно [7, 8]. Расчет фоновых концентраций  $C_{\phi}$  выполнен с учетом имеющихся рекомендаций [7] по формуле

$$C_{\phi} = C_a + \sigma \cdot t_{\alpha} \cdot M^{-0,5},$$

где  $C_a$  – среднее арифметическое;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ ;  $M$  – объем выборки. Кроме того, была выполнена оценка и средних геометрических значений  $C_r$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Изученные озерные воды по классификации О.А. Алёкина [9, 10] в целом характеризуются как пресные с очень малой минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые (всех типов). По величине жесткости воды – мягкие и очень мягкие, по величине pH – преимущественно кислые, реже – нейтральные, содержат значительное количество органических соединений (табл. 1, 2). Генезис этих веществ – преимущественно природный, о чем свидетельствуют соотношения П.О./Б.О. и БПК<sub>5</sub>/П.О. (согласно [11] соотношение П.О./Б.О. более 40% указывает на повышенное содержание гуминовых веществ, имеющих в данном случае природное происхождение, отношение БПК<sub>5</sub>/П.О. до 10% – только на природные источники органических веществ, а до 20% – на слабое загрязнение). С учетом этого, а также результатов полевого обследования водоемов и их водосборов можно сделать вывод о том, главные причины накопления в озерных водах органических веществ – поступление их с поверхностным стоком с заболоченных водосборов и внутриводоемные

биогеохимические процессы, определяющие также весьма высокий уровень содержания продуктов трансформации органики (прежде всего  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NH}_4^+$ ) и соединений с металлами (например, фульваты железа).

Таблица 1

Средний химический состав озерных вод в подзонах южной и средней тайги в пределах Томской области

Показатель	Единицы измерения	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$C_a$	$C_r$	$\sigma$	$M$	$C_{\phi}$
Температура воды	°С	12,0	21,0	17,7	17,4	3,2	6	20,4
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	1,00	20,30	5,63	3,60	5,81	12	8,64
Мутность	мг/дм <sup>3</sup>	0,29	11,00	3,02	1,17	4,56	5	5,06
Цветность	градусы	45	346	143	119	93	9	200
pH	ед. pH	3,70	7,20	4,87	4,79	0,98	13	–
CO <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	13,2	23,8	18,5	17,7	7,5	3	23,8
O <sub>2</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	8,4	7,3	7,1	1,4	11	8,0
Удельная электропроводность	мкС/см	7,7	30,0	14,9	13,7	6,8	10	18,8
Общая жесткость	мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,02	1,60	0,44	0,25	0,48	13	0,67
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	20,0	177,0	49,0	36,9	50,4	9	80,2
Сумма главных ионов $\Sigma_{\text{и}}$	мг/дм <sup>3</sup>	7,1	133,7	28,3	18,9	35,1	13	45,6
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	21,0	5,0	3,4	5,2	13	7,6
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	12,2	2,4	1,3	3,4	13	4,1
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	18,2	2,4	0,9	4,9	13	4,8
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	2,3	0,7	0,5	0,7	13	1,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	3,1	97,7	15,0	8,5	25,5	13	27,6
Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	3,5	1,2	0,8	1,0	13	1,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	4,6	1,6	1,0	1,3	13	2,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,060	2,704	1,007	0,649	0,832	11	1,461
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	0,099	0,016	0,006	0,029	11	0,032
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,110	6,817	1,082	0,533	1,931	11	2,137
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,200	0,038	0,017	0,054	11	0,067
Si	мгSi/дм <sup>3</sup>	0,05	7,98	1,41	0,47	2,69	8	3,21
Бихроматная окисляемость (Б.О.)	мгО/дм <sup>3</sup>	<4,0	140,00	40,49	26,56	37,86	12	60,12
Перманганатная окисляемость (П.О.)	мгО/дм <sup>3</sup>	7,40	36,00	23,23	19,14	14,54	3	31,63
БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,00	5,30	2,93	2,64	1,29	12	3,59
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,040	0,400	0,194	0,154	0,120	10	0,263
Фенолы	мг/дм <sup>3</sup>	0,000	0,011	0,002	0,001	0,004	8	0,004
СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,000	0,008	0,007	0,005	0,002	9	0,008
Fe <sub>общ</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	10,80	1,25	0,35	3,03	12	2,82
Al	мкг/дм <sup>3</sup>	20,0	160,0	51,0	34,9	56,7	6	98,3
Mn	мкг/дм <sup>3</sup>	15,0	100,0	37,4	28,9	35,3	5	53,2
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	0,3	22,0	3,7	1,2	7,0	9	8,1
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	<0,5	21,0	4,6	2,1	6,6	9	8,7
Sr	мкг/дм <sup>3</sup>	3,0	40,0	27,0	16,6	20,8	3	39,0
Hg	нг/дм <sup>3</sup>	<10	98	35	23	37	5	51
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	<0,2	3,0	0,6	0,3	0,9	9	1,2

Примечание. Содержание Cd во всех случаях было меньше чувствительности используемого метода определения (0,2 мкг/дм<sup>3</sup>).

Таблица 2

Результаты оценки эколого-геохимического состояния и качества озерных вод

Показатель	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$C_a$	$C_{\phi}$
Классификация по минерализации				
По О.А. Алекину [9]	Пресные с очень малой минерализацией	Пресные с малой минерализацией	Пресные с очень малой минерализацией	Пресные с очень малой минерализацией
По А.М. Овчинникову [9]	Ультрапресные	Ультрапресные	Ультрапресные	Ультрапресные
Категория по солености [11]	Пресные ксеногалобные	Пресные среднеминерализованные	Пресные ксеногалобные	Пресные ксеногалобные
Классификация по химическому составу вод				
Классификация О.А. Алейкина	$C_{\text{II}}^{Ca} 0,0071$ (оз. Мундштучное, Приобье, у п. Тымск)	$C_{\text{I0,1337}}^{Ca}$ (озеро без названия, Приобье, у п. Прохоркино)	$C_{\text{III}}^{Ca} 0,0283$	$C_{\text{III}}^{Ca} 0,0456$
Формула Курлова [9]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 52 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 40 Ca <sup>2+</sup> 49 Mg <sup>2+</sup> 28 Na <sup>+</sup> 14	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 95 Ca <sup>2+</sup> 60 Mg <sup>2+</sup> 31	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 67 Cl <sup>-</sup> 17 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 40 Ca <sup>2+</sup> 55 Mg <sup>2+</sup> 23 Na <sup>+</sup> 16	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 74 Cl <sup>-</sup> 23 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 22 Ca <sup>2+</sup> 64 Mg <sup>2+</sup> 31 Na <sup>+</sup> 22
Классификация по жесткости и pH				
Категория по жесткости [11]	Очень мягкая	Мягкая	Очень мягкая	Очень мягкая
Категория по pH [11]	Кислые	Нормальные	Кислые	–
Категория по pH [10]	Кислые	Нейтральные	Кислые	–
Классификация по качеству вод				
Качество по трофосапробным признакам [11]	Загрязненные β-мезосапробные	Грязные полисапробные	Загрязненные α-мезосапробные	Загрязненные α-мезосапробные
Класс трофности [11]	Эвтрофные	Гипертрофные	Гипертрофные	Гипертрофные
Содержание гуминовых веществ по отношению П.О./Б.О. [11]	Повышенное содержание гуминовых веществ (39,3)	Нормальное содержание гуминовых веществ (41,1)	Нормальное содержание гуминовых веществ (40,2)	Нормальное содержание гуминовых веществ (41,1)

Показатель	$C_{\min}$	$C_{\max}$	$C_a$	$C_{\phi}$
Степень загрязнения по отношению БПК <sub>5</sub> /П.О. [11]	Природное состояние (6,6)	Слабое сапробное загрязнение (10,3)	Природное состояние (8,4)	Слабое сапробное загрязнение (10,3)
ΣС/ПДК(1-2 кл.), нормативы:				
Рыбохозяйственные	<0,1	9,84	1,43	2,79
Хозяйственно-питьевые	<0,1	1,15	0,35	0,54
Уровень загрязнения по отклонению от «фона» $Z_c$ [8]	Минимальный	Слабый	Минимальный	–

Необходимо отметить и некоторые исключения из общей закономерности. В частности, в водах оз. Мундштучное, расположенного у п. Тымск в междуречье рр. Тым, Обь и Можга, в августе 2012 г. отмечено значение бихроматной окисляемости в размере менее 4 мг О/дм<sup>3</sup> или менее 1,5 мг С/дм<sup>3</sup> по углероду органических веществ  $C_{\text{орг}}$  (из расчета  $C_{\text{орг}} = 0,375 \cdot \text{Б.О.}$  [10]).

Можно предположить, что столь необычно низкое содержание  $C_{\text{орг}}$  объясняется следующим. Во-первых, водоем, имеющий значительную глубину (более 40 м), имеет гидравлическую связь с подземными водами палеогеновых отложений, для которых характерны значительно меньшие, по сравнению с поверхностными водами, значения П.О. и Б.О. [12, 13]. Во-вторых, 2012 г. был засушливым, что, естественно, привело к уменьшению выноса органических веществ в озеро.

С другой стороны, очень низкое содержание растворенных солей (сумма главных ионов – всего 7,1 мг/дм<sup>3</sup>) не позволяет связать особенности химического состава озерных вод только с влиянием притока подземных вод, минерализация которых (в случае отложений от четвертичного до палеогенового возраста) обычно составляла 200–700 мг/дм<sup>3</sup> [1, 14].

С учетом всего сказанного наиболее вероятным механизмом формирования химического состава вод, включая главные ионы, биогенные и органические вещества, растворенные газы, железо и микроэлементы, являются интегральные процессы взаимодействия болотных, атмосферных и подземных вод, результат которых, как было показано в [13, 14], не является арифметической суммой вкладов из разных источников, а отражает условия взаимодействия в системе вода – порода (взвешенные частицы, донные отложения) – органическое вещество. Дополнительным аргументом в пользу этого вывода являются и концентрации Ag (в 2012 г. отмечено содержание этого элемента в размере 10 мкг/дм<sup>3</sup>), значительно превышающие среднее и максимальное содержание этого элемента в подземных и речных водах региона [14–17].

В целом воды внутриболотных озер в естественном состоянии, помимо указанных особенностей, характере-

ризуются повышенным относительно рыбохозяйственных нормативов качества воды содержанием Fe, Al, Mn, Cu, Hg (см. табл. 1), что и определило некоторое превышение допустимого значения по сумме отношений концентраций веществ 1–2-го классов опасности к соответствующим предельно допустимым концентрациям (ПДК) по средним и максимальным значениям, а в случае хозяйственно-питьевых нормативов – по максимальным (см. табл. 2).

### Заключение

Общее эколого-геохимическое состояние и качество вод озер заболоченных ландшафтов в таежной зоне в пределах Томской области оцениваются как удовлетворительные (с точки зрения преобладания природных процессов формирования химического состава вод) и соответствующие минимальному уровню антропогенного воздействия на водные объекты (природное состояние).

В то же время отмечены случаи существенного превышения установленных в Российской Федерации нормативов качества воды в объектах рыбохозяйственного назначения по pH, содержанию NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Hg, веществ, идентифицируемых как нефтяные углеводороды, а в объектах хозяйственно-питьевого назначения – по pH, содержанию NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Fe, веществ, идентифицируемых как нефтяные углеводороды, фенолов при условии хлорирования воды (табл. 1).

Основные причины указанных отклонений от нормативов – поступление поверхностного стока с заболоченных территорий и внутриводоемные процессы.

Установлены фоновые значения физико-химических и гидрохимических показателей незагрязненных озерных вод в летне-осеннюю межень, в том числе для содержаний взвешенных веществ (8,64 мг/дм<sup>3</sup>). Таким образом, подготовлена основа для оценки антропогенных изменений озерных вод в зоне деятельности нефтегазового комплекса в Томской области и на прилегающих территориях Ханты-Мансийского автономного округа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. 248 с.
2. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185–190.
3. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Дата введения 1986-07-01.
4. РД 52.24.353-94. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Дата введения 1995-10-01.
5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 2001-07-01. Госстандарт России, 2000. 31 с.
6. Зарубина Р.Ф., Копылова Ю.Г., Зарубин А.Г. Анализ и улучшение качества природных вод : в 2 ч. Ч. 1: Анализ и оценка качества природных вод. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2007. 168 с.

7. *Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков.* РД 52.24.622-2001. М. : Фед. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды, 2001. 68 с.
8. *Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1: 200000 / А.А. Головин, Н.Н. Москаленко, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович и др.* М. : ИМГРЭ (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов РАН), 2002. 92 с.
9. *Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова.* Л. : Гидрометеониздат, 1989. 392 с.
10. *Молчанова Я.П., Заика Е.А., Бабкина Э.И., Сурнин В.А.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. М. : Форум, 2007. 192 с.
11. *ГОСТ 17.1.2.04-77.* Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Дата введения 1977-07-27. М. : Изд-во стандартов, 1977. 17 с.
12. *Савичев О.Г., Камнева О.А.* Закономерности пространственных изменений химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317, № 1. С. 138–143.
13. *Льготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В., Камнева О.А.* Долгосрочная изменчивость химического состава подземных вод Томской области // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 74–79.
14. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М. : Недра, 1998. 366 с.
15. *Савичев О.Г.* Фоновые концентрации веществ в речных водах таежной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 334. С. 169–175.
16. *Савичев О.Г.* Влияние взаимодействий в системе вода – порода на формирование состава речных вод бассейна Оби // География и природные ресурсы. 2009. № 2. С. 74–80.
17. *Савичев О.Г.* Реки Томской области: состояние. Охрана и использование. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2003. 202 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 15 ноября 2012 г.