

РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
Томский отдел
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ
СИБИРИ

Выпуск 25

Томск
2003

В.П. Париачев, И.И. Вишивецкий, Д. Бэнкс, Н.А. Макареико,
Ю.Г. Копылова, И.В. Сметанина, Н.В. Архипова, А.Л. Архипов

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОЗЕРА РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ (ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СОСТАВ ВОД)

Общая характеристика

В Республике Хакасия насчитывается свыше сотни озер с минерализованной водой, площадь каждого из которых, включая периодически пересыхающие, превышает 1 га. Эти соленые озера располагаются в пределах Чебаково-Балахтинской и Южно-Минусинской впадин Минусинского межгорного прогиба, окруженного высокогорными системами Кузнецкого Алатау, Западного и Восточного Саяна (рис. 1) Впадины характеризуются степными ландшафтами, низкогорным рельефом и аридным климатом с низким количеством атмосферных осадков (около 300 мм/год) Минерализация воды в различных озерах варьирует от 2 до 150 г/дм³. В составе растворимых солей преобладают катионы магния, натрия и кальция, среди анионов - SO₄ и Cl. Большая часть озер приурочена к синклинальным структурам и терригенным красноцветным отложениям верхнего девона, несущим признаки накопления в эвапоритовой обстановке (наличие слоев гипса). Некоторые минеральные озера располагаются в каменноугольных карбонатно-терригенных отложениях, содержащих рассеянную пирокластику и также несущих признаки эвапоритовой седimentации Высокая минерализация воды озерных бассейнов объясняется, с одной стороны, наличием легкорастворимых минеральных соединений в палеозойских толщах (гипс, ангидрит, галит и др.), которые могут быть растворены в подземных водах и транспортироваться в озера, а с другой, высокой степенью испарения поверхностных вод в условиях аридного климата.

В Чебаково-Балахтинской впадине крупные водоемы с минерализованной водой площадью более 1 км² включают озера Белё, Ши́ра, Власьево, Тус, Джиримское, Утичьи (1-3) и Горькое. В дополнение к ним имеются более мелкие, но бальнеологически значимые водоемы – Шунет, Матарак, Слабительные, Красненькие озера, озеро Красненькое и Красное озерко. В Южно-Минусинской впадине известны озера Улуг-Коль, Черное, Горькое, Алтайское, Усколь, Куринка, Березовое, Утиное, Ханкуль (Соленое).

Озеро Белё (рис. 2, № 1), расположенное в 17 км северо-восточнее пос Ши́ра, является самым крупным соленым водоемом Хакасии с площадью водной поверхности около 75 км² Вокруг озера можно наблюдать три волноприбойные террасы, свидетельствующие об его усыхании В геологическом плане котловина озера приурочена к Белёвской синклинали, сложенной верхнедевонскими красноцветными песчаниками, содержащими линзы и прослой гипса Минерализация воды состав-

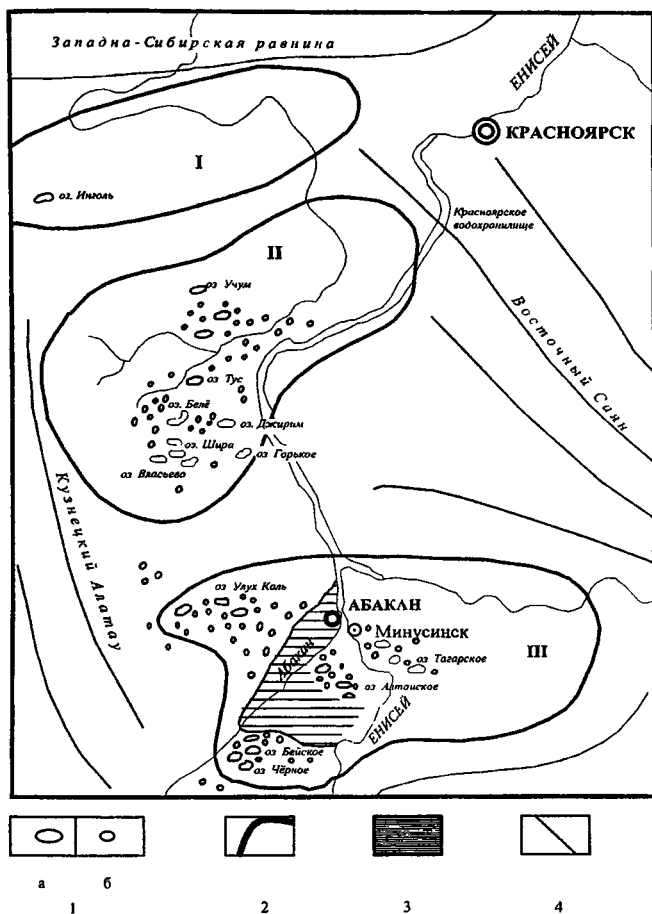


Рис 1 Схема расположения минеральных озер на юге Красноярского края и в Республике Хакасия по В С Кусковскому и А С Кривошееву [4] 1 – озера с площадью зеркала более 0,5 кв км (а) и от 0,1 до 0,5 кв. км (б); 2 – граница межгорных впадин, 3 – мелиорируемые и затопленные площади распространения минеральных озер; 4 – главные горные хребты Межгорные впадины 1 – Назаровская, II – Чебаково-Балахтинская; III – Южно-Минусинская



Рис. 2. Схема гидрохимического опробования озёр Хакасии.
 1 - название и номера озёр, вода которых анализировалась в лаборатории ТПУ, 2 - название и номера озёр, вода которых анализировалась в лаборатории Геологической службы Норвегии

ляет в Малом Белё 11 г/дм³ и в Большом Белё – 8,3 г/дм³ [2]. Озерная вода – сульфатно-хлоридная натриево-магниева

Озеро Власьево (рис. 2, № 2) находится в 27 км восточнее пос. Ши́ра. Оно имеет овальную форму с площадью водной поверхности около 1,84 км². Геологически озеро расположено в пределах Шунетского разлома; его ложе сложено частично венд-нижнекембрийскими карбонатными толщами и, частично, вулканогенными породами нижнего девона. Вода озера слабо минерализована и содержит, по нашим данным, 3,95 г/дм³ растворенных солей (июнь, 1999 г.)

Озеро Джиримское (рис. 2, № 3) расположено в 10 км северо-восточнее оз. Беле и приурочено к Джиримской синклинали, выполненной нижнекаменноугольными отложениями. Площадь водной поверхности около 2,4 км², минерализация воды составляла 8,8 г/дм³ (2000 г.).

Красенькие озера (рис. 2, № 4) расположены в 7 км к северу от оз. Белё. Они имеют блюдцеобразную форму, с площадью от 0,13 до 0,55 км². Воды озер сильно минерализованы, от 12,9 до 17,6 г/дм³ (2000 г.). В летний период они нередко пересыхают, оставляя на донных слоях корку сухих солей.

Озеро Красенькое (рис. 2, № 5) находится между озерами Шунет и Власьево. Оно имеет овальную форму с площадью около 0,08 км². Минерализация воды достигает 129,3 г/дм³ [13].

Красное озеро (рис. 2, № 6) расположено в 3 км к востоку от оз. Беле. Площадь водного зеркала составляет около 0,04 км². Рапа озера, по данным А.Н. Малахова и др. [6], имеет минерализацию 87 г/дм³.

Озеро Матарак (рис. 2, № 22), площадью 0,79 км², находится в 15 км юго-восточнее пос. Ши́ра и приурочено к Шунетскому разлому. Берега и дно озера сложены вулканогенно-осадочными толщами нижнего девона и карбонатными отложениями венда – нижнего кембрия. Минерализация воды составляет 1,45 г/дм³ [12].

Озера Слабительные (рис. 2, № 7) расположены в 30 км севернее пос. Ши́ра, где прослеживаются цепочкой на расстоянии около 4 км в направлении с юга на север. Самое южное озеро Слабительное – 1 имеет площадь водного зеркала 0,1 км² и характеризуется магниезо-натриевым хлоридно-сульфатно-бикарбонатным составом воды. Общая минерализация составляет 4,0 г/дм³ (1997 г.). Озеро Слабительное-2, расположенное в 1,1 км севернее, имеет площадь водного зеркала 0,18 кв. км с минерализацией воды 12,4 г/дм³. Водная вытяжка из донных отложений имеет минерализацию 97,5 г/дм³. Озеро Слабительное-3 находится в 750 м севернее оз. Слабительное-2 и имеет площадь водной поверхности около 0,1 кв. км. Вода по составу магниезо-натриевая хлоридно-сульфатная с общей минерализацией 26,7 г/дм³ (1997 г.).

Озеро Тус (рис. 2, № 174) находится в 30 км севернее пос. Ши́ра и имеет площадь водного зеркала около 2,7 км². В геологическом отношении котловина оз. Тус расположена среди красноцветных песчаников верхнего девона. Минерализация воды в течение последних 25 лет снижается от 275 г/дм³ в 1972 г. [13] до 67–94 г/дм³ в 1997 г. [9]. Состав воды натриево-магниевый хлоридно-сульфатный. Дно водоема в центральной части покрыто солевой коркой мощностью 0,2–0,3 м, под которой залегают серо-

водородные грязевые отложения С южной стороны в озеро впадает ручей, берущий начало из подземного источника, минерализация воды которого составляет $9,8 \text{ г/дм}^3$ (август 1997 г.).

Озера Утичьи (рис 2, № 8) включают три водоема, вытянутые цепочкой с юго-запада на северо-восток и известные под названиями Утичье-1, Утичье-2 и Утичье-3. Геоморфологически озерные вайны приурочены к Бей-Булуковской ложбине, являющейся поверхностным выражением Шунетского разлома. Вмещающими породами являются известково-доломитовые толщи венда – нижнего кембрия и вулканические породы нижнего девона. Озеро Утичье-1 является крайним юго-западным водоемом с площадью водной поверхности $0,45 \text{ км}^2$. Вода магннево-натриевая хлоридно-сульфатная с минерализацией $2,9 \text{ г/дм}^3$ (2000 г) Озеро Утичье-2 расположено в 1,1 км северо-восточнее озера Утичье-1 и имеет площадь $0,31 \text{ км}^2$. Озерная вода магннево-натриевая хлоридно-сульфатная с общей минерализацией $12,7 \text{ г/дм}^3$ (1997 г.). Озеро Утичье-3 является самым большим из Утичьих озер, обладая площадью водной поверхности около $1,40 \text{ км}^2$. Оно является основным поставщиком лечебных грязей на курорт «Озеро Шира» и поэтому хорошо изучено. Минерализация воды озера изменялась от $65,95 \text{ г/дм}^3$ в 1904 г. [7] до 83 г/дм^3 в 1926 г [5], $7,9 \text{ г/дм}^3$ в 1995 г., $5,9 \text{ г/дм}^3$ в 1997 г. и $6,8 \text{ г/дм}^3$ [9] На дне залегают сероводородные лечебные грязевые отложения.

Озеро Шира (рис. 2, № 16) расположено в 10 км к северо-востоку от пос. Ширы. На его южном берегу расположены курорт «Озеро Шира» и детский санаторий. Водоем характеризуется овальными, несколько вытянутыми в северо-западном направлении очертаниями ($9,35 \times 5,3 \text{ км}$), с общей площадью водного зеркала $35,9 \text{ км}^2$. Максимальная глубина озера достигает 22–24 м. В геоморфологическом плане водосборный бассейн озера представляет собой депрессионную структуру, открытую на юго-восток, где в озеро впадает единственная река Сон. В геологическом отношении водоем приурочен к Ширинской синклинали. Береговая зона и озерное ложе сложены верхнедевонскими красноцветными терригенными толщами, содержащими прослойки гипса. На водораздельных хребтах выходят на поверхность нижнедевонские вулканогенно-осадочные и среднедевонские карбонатные породы. Минерализация озера составляла $17,4 \text{ г/дм}^3$ (июль 1999 г) и $17,2 \text{ г/дм}^3$ в 2000 г. Об уменьшении минерализации свидетельствуют и исторические данные [9]. В воде озера отмечены следующие содержания микроэлементов (мкг/дм^3) [13]: U – 24,0, Th – 3,3, La – 0,03, Ce – 33,2, Pb – 2,8, Cd – 0,9, Ba – 8,0, Sr – 15600, Li – 1500, а также макрокомпоненты (мг/дм^3) Cl⁻ – 2096, SO₄²⁻ – 10650. Эти данные можно сравнить с результатами исследований поверхностных проб воды, взятых 15.06.1999 г (образцы профильтрованы при $0,45 \text{ мкм}$), мг/дм^3 [14]: F⁻ – <2,0; Cl⁻ – 2096, Br⁻ – 13,0; NO₃⁻ – 0,16; PO₄³⁻ – <8,0; SO₄²⁻ – 9765; Si – 0,74; Mg – 1110; Ca – 52,4; Na – 3320; K – 37,3; Mn – 0,012; Zn – 0,008; V – 0,034; Ba – 0,008, Sr – 5,85, B – 2,12; Li – 0,201.

Источниками минерализации воды оз Шира являются водные потоки реки Сон, атмосферные осадки, склоновые и временные потоки и стоки подземных источников

Зимой соленость ледяного покрова озера достигает $9,5 \text{ г/дм}^3$ на поверхности, а на глубине $0,5-1,0 \text{ м}$ снижается до $4,9 \text{ г/дм}^3$ [6]. Заметное уменьшение солености воды в озере происходит в верхней части водной колонны во время таяния льда и снега. Низкая соленость воды ($3-5 \text{ г/дм}^3$) отмечается также в дельте р. Сои, где пресные речные воды тонким слоем ($3-5 \text{ см}$) растекаются по сравнительно небольшой площади.

Исследования самой глубокой части озера в сентябре 2000 г. [14] обнаружили окислительно-восстановительный переход от обогащенных кислородом к сероводородным водам на глубине $11-13 \text{ м}$ и термоклин (с падением температуры от 17 до 2°C) в интервале глубин от 7 до 12 м . На глубине свыше $9-11 \text{ м}$ донные илы достигают мощности $1,5 \text{ м}$ и обогащены H_2S . Они подстилаются серыми, темно-серыми, слоистыми, песчано-глинистыми взрывоподобными отложениями, напоминающими таковые гляциальных озер. Минерализация поровой воды в иле достигает $31,7 \text{ г/дм}^3$ [6].

Уровень воды в озере подвержен регулярным циклическим колебаниям. Отмечается наличие высокоуровневых абразионных террас в бассейне озера, указывающих на падение уровня воды, по меньшей мере, на 15 м в последние $15000-20000$ лет.

Озеро Шунет (рис. 2, № 23) расположено в 19 км юго-восточнее пос. Ширы и хорошо изучено как источник самосадочной поваренной соли (до 1911 г.) и первоначальный поставщик лечебных грязей (до 1926 г.) на курорт «Озеро Ширы». Озеро имеет удлиненную в северо-восточном направлении овальную ($1,2 \times 0,4 \text{ км}$) форму с максимальной глубиной $6,23 \text{ м}$ и площадью водной поверхности $0,47 \text{ км}^2$ (март 1999 г.). В геоморфологическом отношении озеро находится (как и Утичи озера) в пределах Бей-Булуksкой ложбины, которая может рассматриваться как приразломная синклиналь, совпадающая с Шунетским разломом. Прибрежные участки и дно озера подстилаются нижнедевонскими вулканогенно-осадочными толщами. Они характеризуются изменчивой литологией (туфы, туффиты, песчанки, гравелиты, базальты, долериты). Минерализация озера $22,55 \text{ г/дм}^3$ (март 1999 г.) и $11,9 \text{ г/дм}^3$ (2000 г.) – значительно ниже той, которая отмечалась ранее – $377,95 \text{ г/дм}^3$ в 1911 г. [10]. Вода оценивается как хлоридно-сульфатная натриево-магниевая.

Среди соленых водоемов Южно-Минусинской впадины наиболее известны озера Алтайское, Улуг-Коль, Ханкуль и Черное (рис. 1 и 2).

Озеро Алтайское (рис. 2, № 122) расположено в 35 км на юго-восток от г. Абакана в междуречье Абакана и Енисея в пределах Алтае-Тагарского поднятия, сложенного нижнекаменноугольными отложениями. Озеро характеризуется изометричными очертаниями, имеет площадь водной поверхности около $1,2 \text{ км}^2$ и давно было известно по существованию на его берегу соляного завода. Как размеры озера, так и, соответственно, минерализация воды колеблются во времени в широких пределах. Летом 1999 г. отмечена соленость $39,4 \text{ г/дм}^3$. Вода слабощелочная хлоридно-сульфатно-натриевая. Озеро подпитывается минеральными источниками. На дне озера распространены лечебные грязи мощностью до $1,0-1,2 \text{ м}$.

Озеро Улуг-Коль (рис. 2, № 199) находится в 45 км западнее г. Абакана на южном крыле синклинальной структуры среди нижнекаменноугольных отложений

Водоем вытянут в субширотном направлении (5?2 км) и имеет площадь водной поверхности около 5,5 км². Вода щелочная натриево-калиевая сульфатно-хлоридная с меняющейся минерализацией. В июне 1999 г., по нашим данным, минерализация составляла 53,5 г/дм³. Озеро не имеет стока, в него впадают три ручья, два из которых в летнее время пересыхают.

Озеро Ханкуль (иногое Солеиое) (рис. 2, № 63) находится в левобережье р. Абакан, в 60 км юго-западнее г. Абакана. Озеро несколько удлинено в юго-западном направлении согласно с геологической структурой вмещающих нижнекаменноугольных пород. Вода озера натриевая сульфатно-хлоридная и, согласно нашим данным, имеет минерализацию 11,5 г/дм³ (июнь 1999 г.). Недалеко от озера есть глубокая скважина, продуцирующая знаменитую ханкульскую минеральную воду.

Озеро Черное-2 (рис. 2, № 155) расположено в междуречье Абакана и Енисея, в 20 км западнее г. Саяногорска. Акватория озера имеет овальную форму, несколько вытянутую в субмеридиональном направлении (3,2 x 1,6 км). Максимальная глубина около 5 м. Вода в озере слабощелочная натриевая хлоридно-сульфатная с минерализацией 2,6 г/дм³ (10.06.1999 г.). По западному побережью имеется около десятка небольших родников с соленой водой, которые в засушливое время пересыхают. Исключение составляет родник и фонтанирующая скважина в 200 м севернее озера. Эта вода отличается низкой минерализацией и может использоваться для питья.

Остальные многочисленные соленые озера Южно-Минусинской впадины остаются слабозученными. Гидрохимический состав воды определен только для некоторых из них; он приведен в табл. 1–4. Следует подчеркнуть, что вокруг практически всех соленых озер Хакасии широко развиты солончаково-черноземно-луговые почвы и солончаки. Суммарное содержание солей в водных вытяжках солончаков может достигать 7,22%. При этом, даже на удалении в несколько километров от соленых озер, южные и обыкновенные черноземы отличаются средней и слабой степенью засоления (суммарное содержание солей достигает 0,4–0,5%).

В минеральном составе корок солончаков, окружающих соленые озера, по данным рентгено-структурного анализа присутствуют тенардит (Na_2SO_4), галит (NaCl), кальцит (CaCO_3) и доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [14]. В единичных случаях отмечены также мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) и гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Дополнительно были идентифицированы розенит ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), берналит ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) и эттрингит ($\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_{6,3}](\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$). Кроме того, постоянно отмечаются мелкие обломки кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, слюды, хлорита и каолинита. Легкорастворимые эвапоритовые минералы (тенардит, мирабилит, гипс, галит) частично смыываются талыми водами и атмосферными осадками и попадают в озеро, а частично, в виде тонкой пыли или аэрозолей, разносятся ветром и засоляют окружающие почвы [15]. На дне многих озер (Шира, Шунет, Ханкуль и др.) отлагаются черные илы, обогащенные H_2S . В этих отложениях происходят процессы сульфатредукции.

Таблица 1

**Концентрации отдельных гидрохимических компонентов в водах соленых озер Хакасии
(июнь – август 1998–1999 гг.). Нефильтрованные образцы**

№ № проб	Озера	T°	pH	Fe	CO ₃ ²⁻	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺
		С							
193	Наливное	24	7,6	0,2	10 0	98	24	10	24
64	Буланкуль	23	8,7	<0,1	12	146	0 9	6	24
189	Иткуль	25	7,8	0,2	24	317	69	31	36
197	Красное	25	7,7	1,8	24	342	145	99	24
160	Сосновое	27		1,3	38	464	663	154	14
153	Новотроицкое	23	7,6	0,9	27	659	556	249	34
90	Ключевское		8,7	<0,1	36	463	846	170	40
117	Утинное		8,5	<0,1	12	281	1206	69	80
120	Окунево		8,4	<0,1	24	342	573	625	48
155	Черное 2	24	7,8	0,5	16	427	719	626	24
126	Березовое	22	7,8	0,8	43	854	818	249	36
86	Безымянное оз		8,9	<0,1	216	1281	345	141	62
136	Черное 1	20	7,8	0,8	27	842	1053	418	28
118	Худжуль, зап		9,4	<0,1	78	1147	2059	110	26
119	Худжуль, вост		9,4		168	1122	2027	104	24
214	Хызылколь	19		2,9	60	1183	3707	959	42
205	Хамысколь	28		<0,1	816	2977	1672	2308	5
156	Утинное	23	7,8	0,2	132	891	4633	1909	40
63	Ханкуль	23	8,8	<0,1	84	586	6064	950	48
216	Потага	18		4,2	336	2391	5581	809	12
129	Трехозерки	23	7,8	0,7	5,4	427	12518	6475	220
202	Усколь		7,7	0,1	2016	6832	6617	6035	3
122	Алтайское	25	7,8	<0,1	696	2538	14201	8520	20
89	Безымянное оз		9,1	<0,1	72	427	22982	8750	240
88	Безымянное, зап		9,8	<0,1	24	293	21793	8750	450
87	Безымянное, вост		9,8		36	268	22104	8750	450
206	Терпекколь	31		0,5	6048	17446	12835	4970	<0,0
199	Улукколь	29	7,7	0,2	2220	7320	16320	10295	4,20
226	Горькое	20		0,5	732	3562	32245	12958	60
174	Тус			0,3	300	1342	31474	18540	300

№ № проб	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Минерализация	Al	Si	F	I	Br	Sr	Li	Hg общ
	мг/дм ³											мкг/дм ³
193	7,32	15	1,5	180	<0,02	<1,0	0,22	<0,1	<0,1	0,4	6	0,04
64	23,0	12,5	3,7	227	<0,02	48,0	1,35	<0,1	<0,1	0,2	18	0,15
189	43,9	49	6,3	576	<0,02	<1,0	0,95	<0,1	<0,1	0,6	17	0,09
197	7,32	200	4,7	846	<0,02	<1,0	1,61	<0,1	<0,1	0,7	13	0,3
160	9,8	500	8,0	1850	3,5	4,6	2,62	<0,1	1,83	2,5	15	0,13
153	7,3	515	12,0	2059	3,0	4,6	3,97	<0,1	3,69	1,4	25	0,1
90	132,0	425	23,0	2135	<0,02	6,4	0,42	<0,1	0,6	6,0	150	0,15
117	154,0	350	25,0	2177	<0,02	16,0	1,44	<0,1	0,4	20,0	250	0,12
120	82,0	650	15,0	2359	<0,02	10,0	0,66	<0,1	0,4	4,0	150	0,13
155	25,6	725	8,0	2571	1,3	1,6	1,4	<0,1	3,93	5,1	15	0,23
126	25,6	550	26,0	2601	2,5	1,7	1,2	<0,1	3,0	6,6	18	1,06
86	48,0	675	48,0	2816	<0,02	22,0	2,68	<0,1	0,6	6,0	118	0,2
136	52,5	700	10,0	3130	1,1	4,6	2,39	<0,1	3,56	3,2	17	0,14
118	31,0	1800	45,0	5296	0,6	4,4	3,08	<0,1	0,3	12,0	373	0,11
119	31,0	1800	35,9	5311	<0,02	11,0	3,0	0,1	1,8	11,0	393	0,1
214	148,0	2500	20,0	8619	<0,02	<1,0	1,58	1,3	13,0	5,5	151	0,01
205	36,0	3000	14,0	10828	<0,02	<1,0	9,75	2,0	24,0	1,9	110	0,02
156	239,0	3000	66,0	10909	0,5	1,2	1,62	<0,1	28,5	26,3	250	0,12
63	182,0	3500	50,0	11464	<0,02	4,4	3,89	0,1	2,4	27,7	750	0,1
216	101,0	4200	18,0	13448	<0,02	<1,0	3,7	3,3	28,0	1,0	123	0,01
129	903,9	10000	150,0	30698	3,9	<1,0	0,37	<0,1	66,6	24,0	50	0,1
202	26,2	12000	48,0	33577	<0,02	<1,0	24,5	4,6	50,0	12,5	260	0,03
122	122,0	13166	130,0	39393	1,7	<1,0	2,39	<0,1	83,7	35,0	230	0,12
89	2268,0	12250	250,0	47239	<0,02	21,0	0,24	<0,1	32,0	60,8	2700	0,17
88	2190,0	13750	400,0	47650	<0,02	<1,0	0,5	<0,1	37,0	60,3	2700	0,14
87	2280,0	14750	370,0	49008	<0,02	84,0	0,44	<0,1	32,7	60,1	2800	0,09
206	7,9	11000	12,0	52319	<0,02	<1,0	84,9	7,9	80,0	0,1	125	0,07
199	225,0	17000	118,0	53498	<0,02	0,6	1,2	9,0	150,0	12,5	435	0,01
226	1427,0	23000	244,0	74229	<0,02	<1,0	0,71	8,2	170,0	0,1	200	0,29
174	7930,0	18000	200,0	78086	2,1	1,2	0,27	<0,1	82,5	68,7	2575	0,12

Примечание № 86 – озеро в районе г Сорах, № 87 – урочище «Солёное» у пос Весинное (восточная часть), № 88 – урочище «Солёное» (западная часть), № 89 – озеро Ах-Коль, вблизи устья р. Ниня. Пустые клетки означают, что данные отсутствуют.

Типы вод соленых озер Хакасии по составу основных ионов и катионов

№ пробы	Озера	Значение основных ионов, % экв							Мбл, мг/лм ³	Тип вод по ионному составу	Тип вод по величине минерализации
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺			
193	Найдиное							180	HCO ₃ -SO ₄ -Cl Ca-Na-Mg	Пресные	
64	Булацкуль	14	81	0	5	39	60	227	HCO ₃ -CO ₃ Mg-Ca		
189	Иткуль	10	63	17	10	22	43	576	HCO ₃ -SO ₄ -CO ₃ -Cl Mg-Na-Ca	Слабоминерализованные	
197	Крайное	7	46	25	23	10	5	846	HCO ₃ -SO ₄ -Cl Na-Ca		
160	Сосновое	5	28	51	16	3	3	1850	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na	Маломинерализованные	
153	Новотроицкое	3	36	38	23	6	2	2059	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na		
90	Ключевское	4	24	56	15	6	35	2135	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na-Mg	Среднеминерализованные	
117	Углиное	1	14	78	6	12	39	2177	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca		
120	Окуново	2	16	33	49	7	19	2359	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg	Среднеминерализованные	
155	Черное 2	1	17	37	44	3	5	2571	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na		
126	Березовое	4	35	43	18	5	5	2601	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na	Среднеминерализованные	
86	Озеро	18	53	18	10	8	10	2816	HCO ₃ -SO ₄ -Cl Na-Mg		
136	Черное 1	2	29	45	24	3	9	3130	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na	Среднеминерализованные	
118	Худякуль, зап	4	28	64	5	2	4	5296	SO ₄ -HCO ₃ Na		
119	Худякуль, вост	8	27	61	4	2	4	5311	SO ₄ -HCO ₃ Na	Среднеминерализованные	
214	Хазыльколь	2	15	61	21	2	10	8619	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na-Mg		
205	Хамыськоль	15	28	20	37	0	2	10828	Cl-HCO ₃ -SO ₄ Na	Среднеминерализованные	
156	Углиное	3	9	57	32	1	12	10909	SO ₄ -Cl Na-Mg		
63	Ханкуль	2	6	76	16	1	9	11464	SO ₄ -Cl Na	Среднеминерализованные	
216	Потага	6	21	61	12	0	4	13448	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na		

129	Трехозерка	0	2	58	40	2	16	81	30698	SO ₄ -HCO ₃ -Cl Na-Mg	Высокотвердые сульфатные
202	Усоль	14	23	28	35	0	0	100	33577	Cl-SO ₄ -HCO ₃ -CO ₃ Na	
122	Алтайское	4	7	49	40	0	2	98	39393	SO ₄ -Cl Na	
89	Безымянное озеро	0	1	65	34	2	25	73	47239	SO ₄ -Cl Na-Mg	
88	Безымянное, зап.	0	1	64	35	3	25	71	47650	SO ₄ -Cl Na-Mg	
87	Безымянное, вост.	0	1	65	35	3	26	70	49008	SO ₄ -Cl Na-Mg	
206	Терлеколь	23	32	30	16	0	0	100	52319	HCO ₃ -SO ₄ -CO ₃ -Cl Na	Рассолы
199	Улукколь	9	15	41	35	0	2	98	53498	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na	
226	Горькое	2	5	60	33	0	10	89	74229	SO ₄ -Cl Na-Mg	
174	Тус	1	2	54	43	1	54	45	78086	SO ₄ -Cl Mg-Na	

Концентрации рассеянных элементов в водах озёр
(результаты нейтронно-активационного анализа сухих остатков из вод)

№№ пробы	Озёра	Ва	Sm	U	Ce	Cr	Sc	Co	Hf
		мг/дм ³	мкг/дм ³						
х-64	Булакуль	0,06	0,2	1,1	<0,15	16,7	0,27	0,33	
х-120	Окунево	0,1	3,5	7,7	9,3	60,0	0,78	1,3	
х-117	Утинное-1	0,04	0,04	4,4	1,7	50,0	0,78	1,2	
х 90	Ключевское	0,1	0,02	<0,2	1,6	59,0	0,86	1,5	
х-86	Безымянное озеро	0,05	0,02	<0,2	2,5	51,4	0,84	1,5	
х-118	Худжур, зап	0,16	2,1	16,4	18,6	58,5	0,86	1,6	
х-63	Ханкуль	0,26	13,3	<0,2	8,7	250,0	3,6	5,8	
х-87	Безымянное, вост	<0,01	0,02	<0,2	7,8	2327,0	35,6	61,5	
х-88	Безымянное, зап	<0,01	0,02	<0,2	52,9	3101,0	58,4	81,4	
х-89	Безымянное озеро	<0,01	0,02	<0,2	89	2108,0	33,2	70,5	
174	Тус		–		–	171,0	4,4	34,2	30,4
129	Трехозерки		–		–	289,0	2,6	24,5	21,9
122	Куринка (Алтай)		–		–	147,0	2,0	21,8	20,6
156	Утинное-2		–		2,5	77,0	1,4	10,4	8,2
126	Берёзовое	0,26	–		4,9	8,1	0,17	1,67	
153	Новотроицкое	0,34	12,0		5,9	9,3	0,18	1,56	
155	Чёрное-2	0,14	–		0,8	3,0	0,17	1,15	1,0
136	Чёрное-1	0,13	–		1,0	8,7	0,13	1,6	1,23
160	Сосновое	0,16	–		1,9	11,0	0,15	1,1	1,7

Примечание. Пустые клетки означают, что элемент не определен; – указывает, что значение ниже предела чувствительности метода нейтронной активации (для Sm – 0,01, Ce – 0,1 мг/кг). Содержание Rb во всех пробах менее 1 (в среднем 0,8 мкг/дм³, за исключением оз. Ключевского – 41 мкг/дм³, содержание Cs во всех пробах постоянно – 0,04–0,05 мкг/дм³).

Гидрохимическая характеристика вод соленых озёр Хакасии

Изучение гидрохимического состава озёр Хакасии проводилось в течение полевых работ в период 1997–2000 гг. Всего были взяты 35 проб вод из озёр (рис. 2, табл. 1–4), обычно на расстоянии 3–5 м от берега в летние месяцы (июль – август). Образцы сохранялись с соответствующими консервантами, но большей частью не фильтровались, что объясняет более высокие содержания в них Si и Al, по сравнению с фильтрованными образцами (табл. 4), взятыми Д. Бэнксом и др. [14]. Образцы исследовались следующими методами:

Таблица 4

Концентрации отдельных гидрохимических параметров в водах озёр (по результатам иловых работ В.П. Паричева, Д. Бэнкса, Б. Френгстада в июне 1999 г.)

Параметры	Единицы измерения	Озера									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура	°С	20,0	20,1	18,1	14,1	17,0	16,5	15,8	10,6	18,0	17,8
pH	–	10,1	9,36	9,13	9,01	8,37	9,84	9,93	7,41	9,24	9,09
Eh	mV	–15	+85	+150	+80	+125	+50	+50	<+100	+50	+65
Минерализация	мг/дм ³	23975	9716	2702	15239	309	36650	26756	100293	3950	17414
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	8041	4042	530	8607	0,91	11052	10765	8372	1333	9765
Cl	"-"	5586	1682	617	1183	5,58	7645	3471	56325	386,6	2096
Br	"-"	31,7	13,4	4,4	10,0	<0,1	49,7	15,7	[200]	2,8	13,0
F	"-"	<2,0	1,3	1,7	3,2	1,5	<2,0	18,7	[300]	1,09	<2,0
NO ₃	"-"	<2,0	<0,05	<0,05	<0,8	<0,05	<2,0	<2,0	<50	0,29	0,16
Ca	"-"	18,4	43,6	33,3	112	26,7	4,21	4,5	963	21,9	52,4
Mg	"-"	83,7	240	30,1	306	23,0	178	15,7	1990	309	1110
Na	"-"	7970	2790	797	4130	14,7	11700	7560	31700	626	3320
K	"-"	64,4	37,7	5,0	15,4	4,5	59,4	20,2	83,2	31,8	37,3
Si	"-"	<0,02	0,34	1,45	0,38	0,40	0,05	0,58	1,63	<0,02	0,74
Li	мкг/дм ³	100	237	5,7	601	10,2	204	140	5380	38,1	201
V	"-"	11,8	11,3	7,4	13,9	<5,0	15,2	26,5	40,0	9,48	34,2
Mn	"-"	11,9	6,8	10,1	10,4	2,1	2,5	<1,0	519	3,87	11,5
Zn	"-"	<2,0	4,2	<2,0	3,2	<2,0	2,6	2,2	9,2	<2,0	7,8
Sr	"-"	2480	11600	593	13300	170	312	497	21400	632	5850
Mo	"-"	<10	<10	<10	14,6	<10	<10	26,8	337	<10	<10
Ba	"-"	30,6	59,6	69,6	33,6	27,2	23,0	26,6	19,1	78,7	8,2
B	"-"	4070	3020	517	4790	31,0	3470	4490	1580	473	2120
Ce	"-"	<50	77,5	<50	153	<50	<50	<50	391	<50	<50

Примечание 1 – Алтайское (№ 122), 2 – Утинное (№ 156), 3 – Чёрное-2 (№ 155), 4 – Хаиколь (Солёное, № 63), 5 – Балаиколь (№ 64), 6 – Улуг-Коль (№ 199), 7 – Усколь (№ 202), 8 – урочище Талое Озеро (№ 217), 9 – Власьево (№ 2), 10 – Шира (№ 8) Номера озёр, указанные на рис. 2, даны в скобках Температура, pH и Eh были определены *in situ* соответствующими электродами Титрование щелочности выполнялось в поле. Анализы проводились в Геологической службе Норвегии на образцах, которые отфильтровывались в поле при 0,45 мкм Анионы определялись методом ионной хроматографии, другие элементы – методом индуктивно наведенной плазменной атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-AES) Полные результаты, методика анализа и отбора образцов приведены в работе Бэнкса и др [14] Квадратные скобки указывают на возможную неопределённость (вследствие аналитических помех) в цитируемых значениях

- титриметрическим: HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , перманганатное окисление (в mgO_2/dm^3), Ca^{++} , Mg^{++} ;
- фотоколориметрическим: $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Al ;
- пламенно-фотометрическим: Li , Sr , Na , K ;
- турбидиметрическим SO_4^{2-} ;
- беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии: Hg ;
- потенциометрическим: I^- , Br^- , F^- ;

Все вышеупомянутые анализы, в том числе и нейтронно-активационные анализы Ba , Sm , U , Ce , Cr , Sc , Co , выполнялись в проблемной гидрогеохимической лаборатории и в лабораториях ядерно-геохимических исследований Томского политехнического университета.

По результатам исследований установлено, что минерализация образцов воды изученных озер изменяется от 0,180 до 78,086 г/дм³. По существующим классификациям воды подразделяются на пресные (до 1 г/дм³), слабо- (1–2 г/дм³), мало- (2–5 г/дм³), средне- (5–15 г/дм³), высокоминерализованные (15–35 г/дм³). К рассолам отнесены воды с минерализацией, превышающей 35 г/дм³ (табл. 2). Установлено, что химический состав озерных вод изменяется в зависимости от глубины и времени отбора образцов [6, 9].

Анализ данных, приведенных в табл. 1–4, обнаруживает тенденцию к повышению концентрации каждого элемента с увеличением общей минерализации вод. Наиболее четкий тренд характерен для сульфатов и хлоридов, что типично для районов континентального засоления. Эта зависимость не столь очевидна для бикарбоната, хотя наиболее значительные концентрации карбонат- и гидрокарбонат-ионов отмечены в горько-соленых озерах Хамысколь, Усколь, Улугколь, Терпекколь, что сопровождается высокими значениями перманганатной окисляемости до 26–56 мгО₂/дм³. Последняя может служить индикатором присутствия органических веществ в водах озер и указывать на высокую продуктивность органического вещества, т.е. органического загрязнения озера.

С ростом минерализации вод отмечается рост значений общей жесткости. Концентрации стронция и кальция в воде обнаруживают сильную корреляцию вследствие их химического подобия и возможного общего происхождения из карбонатных пород и цемента. Концентрация стронция возрастает при увеличении минерализации. Калий и натрий увеличиваются пропорционально с магнием и с ростом минерализации.

Эти наблюдения в поведении катионов в озерных водах могут быть объяснены: 1) процессами взаимодействия вода – порода [11] и 2) вторичным минералообразованием и осаждением. Таким образом, кальций, вероятно, удаляется из водных растворов в результате вторичного карбонатообразования; магний и калий накапливаются в растворе при более или менее определенном контроле растворимости. Натрий – чрезвычайно растворимый элемент, и его концентрации не ограничиваются образованием значительных количеств вторичной фазы минералообразования [15].

Концентрации алюминия (табл. 1) колеблются в водных образцах от 0,6 до 3,9 мг/дм³. Кремний обнаружен в повышенных количествах как в пресном

оз Буланкуль (48 мг/дм^3), так и в маломинерализованном безымянном озере в точке 86 (см. рис 2) – 22 мг/дм^3 , и в рассолах безымянного озера в точке 87 (см. рис 2) – 84 мг/дм^3 . Повышенные концентрации Si и Al в водных образцах, полученные в лаборатории ТПУ, объясняются тем фактом, что они не были отфильтрованы. Обычные значительно более низкие концентрации отмечены в отфильтрованных (фильтр 0,45 мкм) образцах [14].

Концентрации фтора изменяются от $0,22 \text{ мг/дм}^3$ в пресных водах оз. Наливного до $84,9 \text{ мг/дм}^3$ в рассолах оз Терпекколь. Максимальные допустимые концентрации (ПДК) фтора для питьевой воды ($1,5 \text{ мг/дм}^3$) чаще всего превышаются уже в пресных и слабоминерализованных водах, что является характерной особенностью степных ландшафтов. Полученные данные показывают, что содержание фтора в водах редко превышает 4 мг/дм^3 . Повышенные концентрации отмечены в озерах Хамысколь ($9,75 \text{ мг/дм}^3$), Усколь ($24,5 \text{ мг/л}$) и Терпекколь. Столь различающиеся значения содержания фтора связаны, вероятнее всего, с различными источниками его поступления в воды и процессами взаимодействия системы вода – порода, на которые накладываются процессы континентального засоления [3]

Концентрации брома (80 мг/дм^3) в рассолах оз. Терпекколь хорошо сопоставляются с данными о распределении брома, полученными В.С. Кусковским и А.С. Кривошеевым [4]. В этих исследованиях указывается на содержание брома в количествах 42 мг/дм^3 в водах оз. Улуг-Коль, в то время как наши исследования в 1999 г показали более высокие концентрации (150 мг/дм^3). Количество йода в большой степени ковариантно таковому для брома и рассматривается как представляющее бальнеологический интерес. В минерализованных водах концентрации йода составляют $1,3\text{--}4,6 \text{ мг/дм}^3$ (озера Хызыльколь, Хамысколь, Потага, Усколь), а в рассолах – $7,9\text{--}9 \text{ мг/дм}^3$ (озера Терпекколь, Улугколь, Горькое).

Концентрации лития в слабоминерализованных водах достигают 6 ПДК. Литий, будучи легко растворимым элементом, имеет тенденцию аккумуляроваться согласно общей минерализации, достигая $0,75 \text{ мг/дм}^3$ в высокоминерализованных водах оз. Ханкуль, $2,6 \text{ мг/дм}^3$ в рассолах оз. Тус и до $2,8 \text{ мг/дм}^3$ в рассолах безымянных оз. №№ 87–89 (см. рис. 2).

Результаты нейтроноактивационного анализа образцов сухих остатков озерных вод, собранных в 1998 г., приведены в табл. 3. Изучение этих данных показало, что концентрации рубидия и цезия находятся обычно на пределах обнаружения ($0,8 \text{ мкг/дм}^3$ для рубидия и $0,04\text{--}0,05 \text{ мкг/дм}^3$ для цезия). Более значительная (41 мкг/дм^3) концентрация рубидия отмечена только в оз. Ключевском.

Содержания радиоактивных элементов (уран и торий) достаточно однообразны. Они отмечены в большинстве случаев в концентрациях, типичных для фоновых подземных вод зоны гипсгенеза [11]. В какой-то мере повышенные значения урана отмечены в оз. Шира (24 мкг/дм^3) [12] и оз. Худжур – $16,4 \text{ мкг/дм}^3$ (см. табл. 3). С концентрациями урана в водах может наблюдаться некоторая связь содержания самария и церия. Концентрации самария колеблются от $0,02 \text{ мкг/дм}^3$ (рис. 2, оз. Ключевское, №№ 90, 86–89) до $13,3 \text{ мкг/дм}^3$ (рис. 2, оз. Ханкуль, № 63). Кон-

центрации церия очень высокие (52,9–89 мкг/дм³) в безымянных озерах (рис. 2, №№ 88–89), но не превышают 10 мкг/дм³ в других озерах. Не отмечено корреляции между ураном, самарием и церием. Другие редкоземельные элементы (лантан, европий, иттербий) содержатся в озерных водах в низких концентрациях, приближающихся к пределам чувствительности анализа (0,05; 0,01, 0,02 мкг/дм³, соответственно) Колнчество гафния (табл. 3) колеблется от 8,2 мкг/дм³ (рис. 2, оз. Утиное, № 156) до 30,4 мкг/дм³ (рис. 2, оз. Тус, № 174).

Концентрации хрома, скандия и кобальта также зависят от минерализации озерных вод, причем наиболее высокие встречены в рассолах. Результаты, приведенные в табл. 3, заметно превышают данные анализов фильтрованных образцов озерных вод, проведенных в Норвегии ICP-AES и ICP-MS методами [14]. Это может быть объяснено отсутствием фильтрации водных образцов до аналитических исследований в лабораториях ТПУ.

Концентрации ртути в водах озер характеризуются большим разбросом значений от 0,01 до 1,06 мкг/дм³. Эти содержания превышают средние значения в речных водах и соответствуют уровню концентраций Hg в морских водах [11]. Наименьшие содержания ртути обнаружены в рассолах оз. Улутколь, в высокоминерализованных водах оз. Усколь, среднеминерализованных водах озер Потага, Хамысколь, Хызылколь и в пресном оз. Наливнос. В рассолах оз. Терпекколь содержание ртути составляет 0,07 мкг/дм³. Согласно исследованиям 1998 г., самые высокие концентрации ртути (1,06 мкг/дм³) обнаружены в оз. Березовое, расположенном на междуречье Абакана и Енисея. В этом же районе высокие содержания ртути встречены в маломинерализованных водах оз. Черное-2, куда впадает р. Сабинка. Одна из причин высоких концентраций ртути лежит, по мнению авторов, в вымывании пестицидов и гербицидов, содержащих в своем составе соединения ртути, с полей в озера и реки.

Оценивая возможности освоения озер Республики Хакасия, можно считать наиболее перспективным их использование в бальнеологических целях или для производства бутилированной воды. По своим биологически активным микрокомпонентам они могут оцениваться как:

- столовые воды, с минерализацией 1–2 г/дм³,
- питьевые лечебно-столовые воды с минерализацией 2–8 г/дм³;
- питьевые лечебные воды с минерализацией 8–12 г/дм³ (изредка и выше).

Средне-, высокоминерализованные воды и рассолы потенциально могут быть использованы для различных бальнеологических процедур. В этой связи представляет интерес ряд озер, состав воды которых близок к известным типам используемых минеральных вод:

- озера Окунско и Черное-2 могут быть отнесены к сульфатно-хлоридным натриевым (Чартаковский тип);
- озера Хызылколь, Утиное и Ханкуль могут быть отнесены к хлоридно-сульфатным натриевым (Буйский тип);

– безымянное озеро под № 86 на рис. 2 – бикарбонатное натриевое (Дилижанский тип). Среди биологически активных компонентов здесь присутствуют кремний, фосфор, калий, фтор;

– бикарбонатно-сульфатные воды оз. Худжиль соотносены с Махачкалинским типом минеральных вод.

Представляют интерес и минерализованные озера бикарбонатно-сульфатного состава, как имеющие высокое содержание органического вещества, рассматриваемое как биологически активное, напр., озера Хамысколь, Потага, Усколь и Терпекколь,

– воды озер Потага, Терпекколь, Усколь, Улутколь, Горькое и безымянных озер (точки 87–89, рис. 2.) могут быть классифицированы как лечебные бромные и йодные в соответствии с их специфическими бальнеологическими компонентами.

Минеральные воды Чартакского, Буйского, Дилижанского и Махачкалинского типов успешно используются для лечения различных болезней в России. Все приведенные данные свидетельствуют о необходимости систематического изучения бальнеологического потенциала озер Хакасии.

Эколого-геохимическое состояние озер Хакасии

Усиливающееся антропогенное воздействие на побережье озер неблагоприятно сказывается на состоянии водоемов. Особенно наглядно это проявляется на примере соленых озер Чебаково-Балахтинской впадины. Было установлено, что сброс неочищенных стоков в оз. Шира (одного из наиболее подверженных опасности загрязнения вследствие развития на его берегах курорта) ведет к повышению в озерной воде концентраций железа, стронция, титана, молибдена, хрома и других элементов и соединений [8]. В дополнение к этому, водоем может подвергаться риску от выброса вредных веществ в атмосферу из котельных курорта, детского санatoria и жилого поселка

Другим важным индикатором загрязнения озер Ширинского района является содержание в воде гидрокарбонатов и других органических загрязнителей. 3 августа 1998 г. были отобраны пробы воды из озер Шира, Тус, Бёле, Утичье-3, подвергающихся наибольшему антропогенному стрессу. Для их анализа был использован метод хроматографии / масс-спектрометрии (ГХ/МС). Анализы выполнялись в Институте химии нефти СО РАН (Томск). По результатам анализов содержания фталатов, нефтепродуктов (парафины, нафены и ароматические углеводороды) и фенолов рассматриваются как типичные для техногенного происхождения [1]. Вместе с тем, органические кислоты, их эфиры и спирты в оз. Шира могут быть как результатом техногенного загрязнения, так и образовываться в результате протекания природных процессов. Однако высокая степень корреляции этой последней группы веществ с техногенными соединениями (например, с нефтепродуктами) свидетельствует о том, что основная их часть имеет антропогенное происхождение.

Другие органические загрязнители, отмечаемые в озерных водах, могут возникать в результате как промышленного, так и бытового воздействия. Гликоли, бенз-

тиозол, диеновые и полиеновые соединения являются обычными техногенными продуктами урбанизированных территорий. Наличие стериков и нитрозосоединений в озерных водах свидетельствует о неблагоприятной санитарной обстановке, поскольку они являются компонентом неочищенных фекальных стоков.

Литература

- 1 Гузиева М Ю , Макаренко Н А , Туров Ю П Органические загрязняющие вещества в водах озер Хакасии // География в Томском университете: Итоги Проблемы Перспективы Томск, 1999 С 34–37
- 2 Заворуев В В Современное экологическое состояние озер Шири и Беле // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. Томск, 2000 С 109–113
- 3 Крайнов С Р, Швец В М Гидрогеохимия М Недра, 1992 463 с
- 4 Кусковский В С, Кривошеев А С Минеральные озера Сибири Новосибирск Наука, 1989 200 с
- 5 Мазель З А Внекурортное грязелечение в Западно-Сибирском крае и перспективы его развития // Труды Зап Сиб бальнео физио-терапевт ин-та в Томске и каф физиотерапии и бальнеологии госуд Института усовершенствования врачей в Новосибирске Томск Сибирская научная мысль, 1933 Т 1, вып 1 24 с
- 6 Малахов А М, Скорняков В А, Щыцарин Г В. Гидроминеральные ресурсы курорта озера Шири // Материалы по изучению лечебных грязей, грязевых озер и месторождений М Центральный НИИ курортологии и физиотерапии, 1963 С 51–151
- 7 Орлов П П К вопросу о радиоактивности Сибирских минеральных вод // Известия ин-та исследований Сибири Томск, 1921 № 3 С 18–38
- 8 Парначев В П, Джабаров Н К, Клопотова Н.Г., Горбунова Т.М., Олехнович М В Экологические проблемы курорта «Озеро Шири» // Проблемы оптимизации лечения в санаториях и курортах Томск, 1998 С 134–139
- 9 Парначев В П, Вишневецкий И И, Макаренко Н А и др. Водные ресурсы Ширинского района Республики Хакасия Томск Изд-во Том ун-та, 1999 171 с
- 10 Предтеченский А А. Курорты Сибири – оз Шири и оз Шуиет // Сибирская лечебная газета 1912 № 12 С 144–147
- 11 Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза М Недра, 1998 366 с
- 12 Шварцев С Л, Копылова Ю Г, Кусковский В С и др Эколого геохимическое состояние природных вод окрестностей озера Шири // Медико-биологические и экологические проблемы курортного комплекса «Озеро Шири» Томск, 1997 С 142–144
- 13 Шуб В С Лечебные (минеральные) озера и грязи // Гидрология СССР Том XVIII Красноярский край и Тувинская АССР М Недра, 1972 С. 326–332.
- 14 Banks D, Parnachev V P, Frengstad D, Holden W, Karnachuk O V, Vedernikov A A The hydrogeochemistry of the Altaiskii, Askizskii, Beiskii, Bogradskii, Shirniskii, Tashtipskii and Ust' Abakanskii regions, Republic of Khakassia, Southern Siberia, Russian Federation Adta report Nor Geol. Unders Rapport 2001 006 116 p
- 15 Parnachev V P, Banks D, Berezovsky A Y, Garbe Schonberg D Hydrochemical evolution of Na-SO₄ Cl ground waters in a cold, semi and region of southern Siberia Hydrogeology 1999 № 7 P 549–560.