

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА ШУНЕТ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

По результатам исследований физико-химическое и санитарно-микробиологическое состояние воды, донных отложений и почв в пределах водоохранных зон оз. Шунет не превышает нормируемых значений для соответствующих объектов окружающей среды. Грязи оз. Шунет по основным физико-химическим показателям соответствуют среднесульфидным средне-минерализованным иловым лечебным грязям. Уровень загрязнения почвенного покрова в окрестностях оз. Шунет не выходит за рамки минимальных и низких значений суммарных показателей загрязнения и связан с природными, а не техногенными геохимическими аномалиями.

Ключевые слова: озеро Шунет; озерная вода; лечебные грязи; почвы; уровень загрязнения, Республика Хакасия.

Озеро Шунет, расположенное в юго-западной части Чебаково-Балахтинской впадины Минусинского межгорного прогиба, в силу различных обстоятельств оказалось в центре внимания многих российских исследователей. Это связано с разными причинами: на ранних этапах озеро рассматривалось как источник поваренной соли, позднее – как резервуар лечебной грязи для курорта «Озеро Шира», наконец – как геологический памятник природы.

Первые сведения в литературе о минеральном оз. Шунет появились в работе Н.В. Скорнякова [1]. В 1900 г. И.К. Конаржевский охарактеризовал оз. Шунет как первую в Сибири грязелечебницу [2]. С 1896 по 1911 г. оз. Шунет было сдано в аренду «иностранцу» Спирину для добычи самородной соли. По данным С.Г. Силаенкова [3], в первый год эксплуатации было извлечено 9 206 пудов поваренной соли. Из литературных источников известно, что в дореволюционный период наблюдалось четкое разделение самосадочных солей: «горькие» соли осаждались на дно озера зимой в виде «черепа» (бузуна), а поваренная соль – летом. Корка бузуна сложена астраханитом ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), который при пониженной температуре распадается на эпсомит (MgSO_4) и глауберовую соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Эти соли неоднократно анализировались разными исследователями. Так, в 1895 г., по данным А.Н. Богачева [4], слой бузуна на дне озера достигал 45 см со следующим составом: NaCl – 3,07%, MgSO_4 – 43,55%, Na_2SO_4 – 49,48%, CaSO_4 – 2,70%, прочие примеси – 1,20%. Летом 1898 г. корка бузуна, согласно данным А.Ф. Людвига [5], уменьшилась до нескольких сантиметров. Химический состав следующий (вес. %): Na_2SO_4 – 57,8; MgSO_4 – 30,32; K_2SO_4 – 3,65; NaCl – 0,91. В самосадочной (летней) соли, по данным А.Н. Богачева [4], состав существенно иной: содержание NaCl достигает 97,9%. М.Г. Курлов [6] определяет максимальную толщину бузуна в первые десятки сантиметров, содержание в бузуне глауберовой соли оценено в 49,5%, эпсомита – 43,5%.

Появление соленосных донных отложений было связано с высокой степенью минерализации воды оз. Шунет – до 377,95 г/дм³ в 1911 г. [7]. В дальнейшем при значительном понижении данного параметра садка поваренной соли полностью прекратилась, хотя остатки «черепа» выявляются и в настоящее время,

несмотря на низкую степень минерализации поверхностного слоя воды. Резкие колебания содержания солей в воде во многом обязаны непостоянному гидрологическому режиму, что приводило к значительным колебаниям размеров озера и его глубины (табл. 1).

В 1911 г. закончился срок аренды оз. Шунет в качестве источника поваренной соли. В связи с этим Министерство торговли и промышленности приняло решение о передаче озера в ведение Управления государственным имуществом Енисейской губернии для его эксплуатации совместно с оз. Шира, что в 1914 г. было закреплено «Высочайшим Повелением». В этом же году Я.С. Эдельштейн [8] определил границы округа охраны оз. Шунет, для которого начался новый период – «грязевой». Грязь на озере добывалась и использовалась начиная с 1910 г. Динамика такова: 1910 г. – 1 700 ведер, 1911 – 5 838 ведер. Предварительная разведка грязи, проведенная К.Н. Завадовским [9] по 6 скважинам, показала, что при небольшом количестве больных (300 человек) грязи хватит лишь на 5–6 лет. Именно поэтому в дальнейшем добыча грязи на оз. Шунет была прекращена и начата разработка грязевой залежи оз. Утичь-3.

В 1999 г. и в течение 2006 г. сотрудниками Томского государственного университета и Томского института курортологии и физиотерапии были проведены специализированные исследования оз. Шунет и Утичь-3. При этом изучалось физико-химическое и санитарно-микробиологическое состояние воды и донных отложений оз. Утичь-3 и Шунет, проведен подсчет запасов лечебной грязи: оз. Утичь-3 – 368 тыс. м³; оз. Шунет – 84,5 тыс. м³ [10, 11], а также изучено эколого-геохимическое состояние почв озерных котловин.

Озеро Шунет расположено в 10 км юго-западнее курорта «Озеро Шира» и приурочено к Бей-Бурукской ложбине северо-восточного простирания. Котловина озера со всех сторон (за исключением северо-восточной) окружена различно ориентированными куэстово-холмистыми грядами с абсолютными высотами более 550 м, наивысшей точкой является г. Шунет (621,5 м). Геологическое положение котловины озера характеризуется двумя главными особенностями: приуроченностью к контакту сероцветной шунетской и красноцветной верхнематаракской толщ раннего девона.

Т а б л и ц а 1

Изменение степени минерализации воды и размеров оз. Шунет [11]

Год опробования	Минерализация, г/дм ³	Площадь зеркала, га	Глубина, м	Литературный источник
1897	253,2		1,0–1,5	Предтеченский, 1912
1899	154,9			Людвиг, 1903
1900		3,4	1,0	Зайцев, 1902
1903	155,0			Людвиг, 1903
1907		9,1	0,6	Шишкин, 1911
1911	377,95			Предтеченский, 1912
1914		11,4	0,7	Эдельштейн, 1914
1926	362			Курлов, 1928
1931	236	28		Диковский, 1935
1958	15,1	38	2,8	Малахов и др., 1963
1972	61,3			Шуб, 1972
1995	12,03	46		НИИКиФ
1997	14,8	46		НИИКиФ
1999	24,5 (зима)	48	До 6,0	НИИКиФ

Т а б л и ц а 2

Ионно-солевой состав воды оз. Шунет в разные периоды отбора [12]

Время и место пробоотбора	Формула Курлова	pH	Специфические компоненты, мг/дм ³
Ноябрь, 1996 СВ окончность озера	$M_{12,03} \frac{SO_4 60 SO_4 33 (HCO_3 + CO_3) 7}{Mg 56 (Na + K) 41 Ca 3}$	8,4	Br (9,50) H ₂ SiO ₃ (3,38) H ₃ BO ₃ (38,04)
Август, 1997 Центральная часть озера	$M_{14,8} \frac{SO_4 49 Cl 46 (HCO_3 + CO_3) 5}{(Na + K) 52 Mg 46 Ca 2}$	8,21	Br (13,0) H ₃ BO ₃ (23,07)
Март, 1999 Точка № 5	$M_{24,55} \frac{SO_4 51 Cl 44 (HCO_3 + CO_3) 5}{Mg 60 (Na + K) 37 Ca 3}$	8,40	Br (9,50) H ₂ SiO ₃ (3,38) H ₃ BO ₃ (38,04)

Т а б л и ц а 3

Химический состав воды оз. Шунет, мг/дм³ [11]

Компоненты	Август 1997 г.	Март 1999 г.
Минерализация	14 834,40	24 550,70
HCO ₃	622,20	1 052,25
SO ₄	5 653,20	10 071,46
Cl	3 976,00	6 390,00
Br/F	13,0/0,46	50,0/0,29
Na + K	2 920,54	3 454,60
Mg	1 355,84	2976,75
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	0,09	1,8/ н/о
Ca	90,00	300,00
H ₂ SiO ₃	н/о	35,75
CO ₃	180,00	187,50
H ₃ BO ₃	23,07	32,10
pH	8,21	8,55

Т а б л и ц а 4

Санитарно-бактериологическое состояние воды и донных отложений озера Шунет (март 1999 г.) [11]

Санитарно-бактериологические показатели	Вода	Грязь			
		Т. № 32/8	Т. № 6	Т. № 17/5	Т. № 2
Коли-титр	111	10	0,1	> 10	1,0
Коли-индекс	9	–	–	–	–
Титр-перфрингенс	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ОМЧ на МПА	Ползучий рост	2 100	7 800	1 900	3 000
Синегнойная палочка	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.

Т а б л и ц а 5

Данные бурения оз. Шунет [11]

Параметр	Левый берег	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Правый берег
Расстояние от левого берега, м	0	42	92	192	292	392	492	555
Глубина (от кровли льда до кровли донных грязевых отложений), м	0,00	4,80	5,65	6,00	6,40	6,70	4,80	0,00
Толщина льда, м	0,00	0,98	0,95	1,05	1,00	1,05	1,00	0,00
Мощность донных грязевых отложений, м	0,00	0,05	0,25	0,60	0,23	0,25	0,25	0,00
Толщина снегового покрова на льду, м	0,08							

Ионно-солевой состав грязевых растворов оз. Шунет [11]

Компонент	Т. 2			Т. 32*/8 (соль)		
	Содержание					
	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	экв %	мг/дм ³	мг-экв/дм ³	экв %
Na + K	4 241,89	184,43	49	18 782,26	816,62	28
Mg	1 959,19	161,25	43	23 996,25	1 975,00	69
Ca	550,00	27,50	8	1 500,00	75,00	3
Cl	6 212,50	175,00	47	14 821,25	417,50	15
SO ₄	9 104,43	189,68	51	115 637,67	2 409,72	84
HCO ₃	366,00	60,00	2	1 769,00	29,00	1
CO ₃	150,00	2,50		660,00	11,00	
Br	72,00			94,00		
Сухой остаток	19 190,00					
Минерализация	22 556,01			177 260,43		

Площадь водного зеркала озера составляет 0,46 км², длина береговой линии – 2,9 км, глубина – 6,7 м, абсолютная отметка уреза воды – 418,2 м (рис. 1). Озеро бессточное, на южном берегу в него впадает небольшой пресноводный ключ. Для озера характерен крайне непостоянный гидрологический режим.

Томским НИИКиФ оз. Шунет исследовалось в 1996, 1997 и 1999 гг. (озерная вода и донные отложения) (см. табл. 2). Согласно данным исследования, в ноябре 1996 г. вода оз. Шунет оценивалась как среднеминерализованная (12,03 г/дм³), по составу сульфатно-хлоридная натриево-магниевая, щелочной реакции среды. Из специфических компонентов в кондиционных количествах была обнаружена ортоборная кислота в концентрации 38,04 мг/дм³. Содержание брома в этот период составляло 9,5 мг/дм³. В озерной воде отмечено отсутствие токсичных загрязняющих ионов нитритов, нитратов. Санитарно-бактериологическое состояние озерной воды на период обследования оценивалось как благополучное (коли-титр – 111, коли-индекс – 9, ОМЧ – 10, следы *E. coli*) [11].

По результатам обследования озера в августе 1997 г. отмечено изменение ионно-солевого состава озерной воды (см. табл. 2). По санитарно-бактериологическим свойствам озерная вода соответствовала нормативам (коли-индекс – 9, ОМЧ – 560 тыс.). Отмечено присутствие микроорганизмов круговорота азота (аммонификаторы, денитрификаторы) и микробактерий сапрофитных форм, утилизирующих жиры и углеводы.

В марте 1999 г. были проведены полуинструментальная съемка акватории озера Шунет, опробование воды и донных отложений (см. рис. 2, 3; табл. 5). Согласно результатам зимнего опробования (март, 1999 г.), вода оз. Шунет относится к высокоминерализованным (24,55 г/дм³) хлоридно-сульфатным натриево-магниевым водам. Компонентный состав (табл. 3) исследуемой воды представлен (мг/дм³): HCO₃ – 1 052,25; SO₄ – 10 071,46; Cl – 6 390,0; (Na + K) – 3 454,6; Mg²⁺ – 2 976,75; Ca²⁺ – 300,0; CO₃ – 187,5. В исследуемой озерной воде в некондиционном количестве присутствуют метакремниевая кислота – 35,75 (кондиция 50 мг/дм³), ортоборная кислота – 32,1 (кондиция 35 мг/дм³). Бром определен в количестве 50 мг/дм³ (кондиция 25 мг/дм³). Содержание растворенного органического вещества в озерной воде со-

ставляло 17,04 мг/дм³, отсутствуют загрязняющие азотсодержащие компоненты (нитраты, нитриты, аммоний). Из числа определяемых микроэлементов выявлены бальнеологически значимые (мкг/дм³): цинк – 23,3; медь – 4,0. Вода оз. Шунет в зимний период благополучна по санитарно-бактериологическим показателям (см. табл. 4): титр и индекс колиформных бактерий составляет 111 и 9; титр клостридий перфрингенс – 0,1; синегнойная палочка отсутствует. Наблюдалось повышенное содержание мезофильных, мезотрофных аэробов (ОМЧ), что в целом не оказало влияния на санитарное состояние водоема [12].

Из внешних признаков донных отложений отмечена характерная зеленовато-оливковая окраска, особенно явно проявляющаяся в верхних слоях грязевого слоя (пример – Т. 6) за счет развития в летний период зеленых бактерий, адаптированных к высокому содержанию сероводорода. Данный факт отмечен и в работе А.М. Малахова и др. [13]. В поверхностном слое (0–0,15 см) донные отложения разжижены, имеют текучую консистенцию, характерный запах сероводорода. Влажность поверхностного слоя составила в среднем 63,73%, отсутствовали включения кристаллов солей, в отдельных зондировочных скважинах этот слой запесочен. В целом увлажненность большинства исследованных проб не превышала 48,49%, показатель зольности грязи варьировал от 68,29 до 81,58%. В зоне влияния пресного источника рН донных отложений составила 7,3 (Т. 2, рис. 1), а выделенного из них грязевого раствора более щелочная – 7,97.

Величина рН проб донных отложений, удаленных от источника опреснения, составила 7,72–7,77, грязевых растворов – 8,03–8,12. Объемный вес изменялся от 1,35 г/см³ в верхнем слое (Т. 6, рис. 1) до 1,73 г/см³ (Т. 11, рис. 1) ниже по профилю. Засоренность частицами диаметром более 0,25 мм в исследуемых донных отложениях варьирует в значительных пределах (от 4,93 до 19,68%) и определяется наличием мелких растительных остатков, щебнем диаметром до 0,5 см, серыми песчаноподобными минеральными частицами, бурно вскипающими от действия HCl.

Средняя минерализация грязевого раствора составила 25,64 г/дм³; в пробах с присутствием большого количества кристаллов солей (в придонном слое) минерализация достигала значения 177,26 г/дм³. По ионно-солевому составу грязевой раствор хлоридно-сульфатный натриево-магниевый (табл. 6).

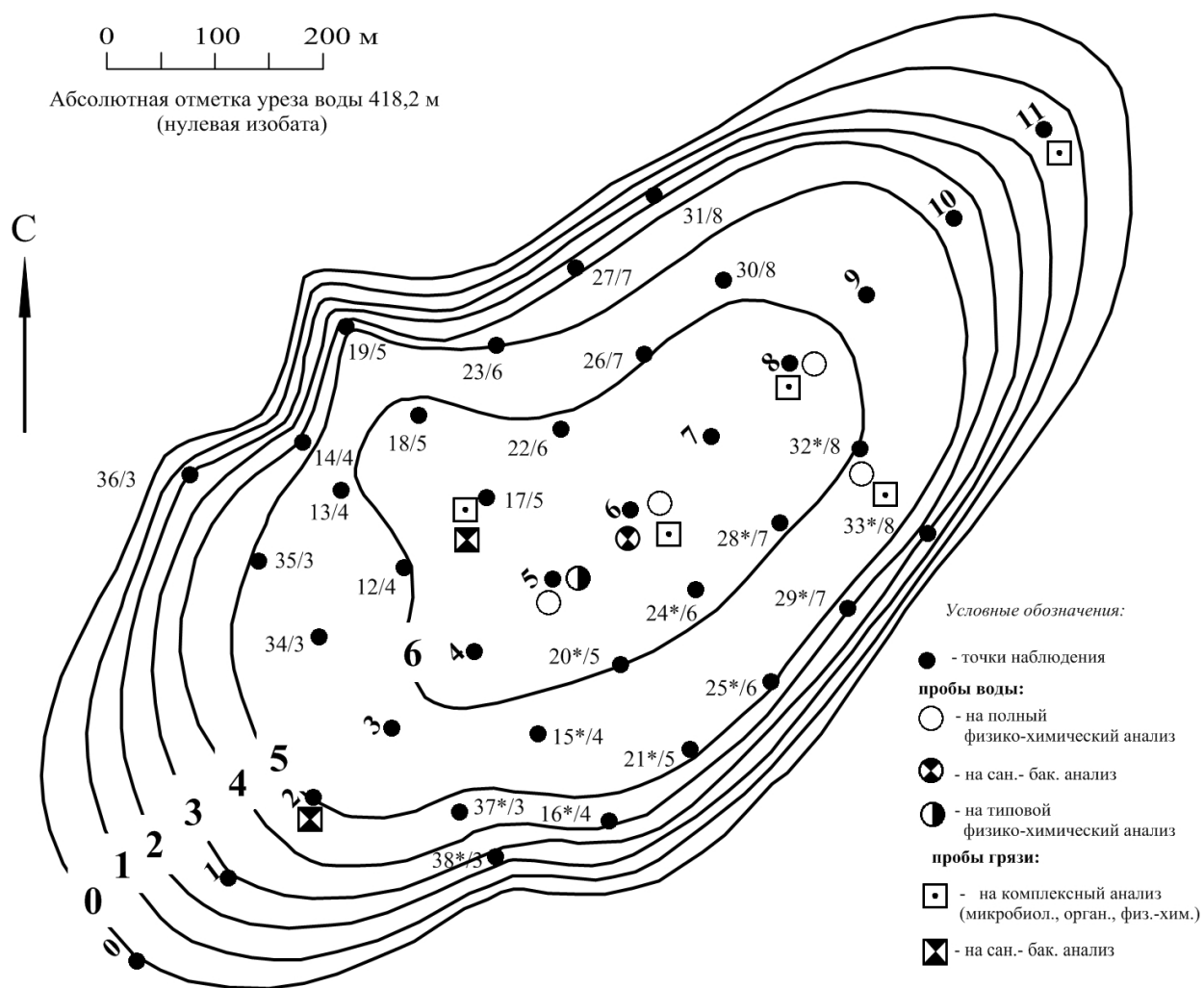


Рис. 1. План оз. Шунет в изобатах, расположение точек пробоотбора и их номера (март 1999 г.) [11]

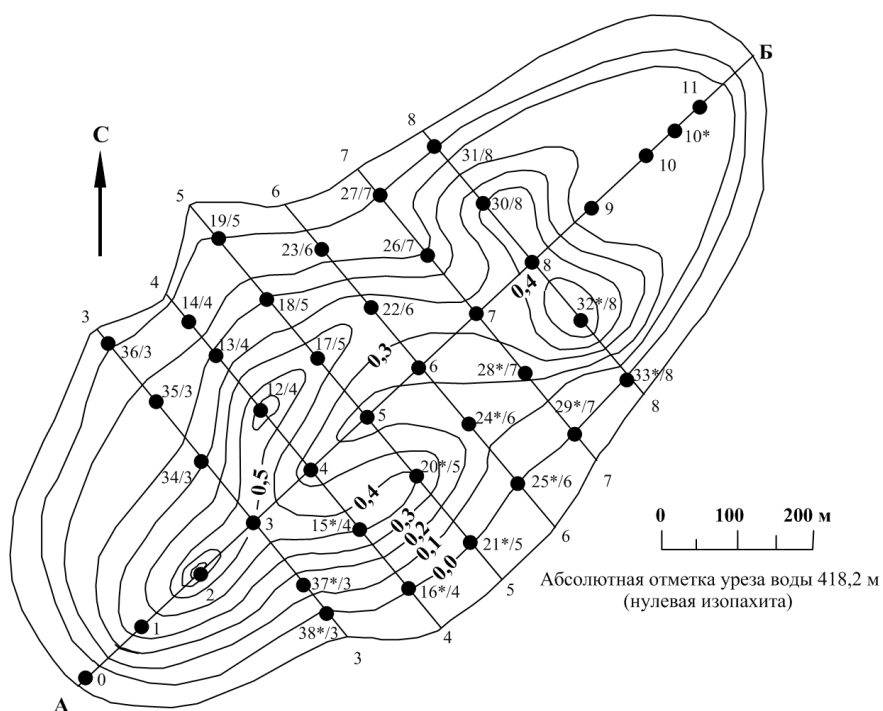


Рис. 2. План грязевой залежи оз. Шунет в изопакитах (март 1999 г.), м [11]

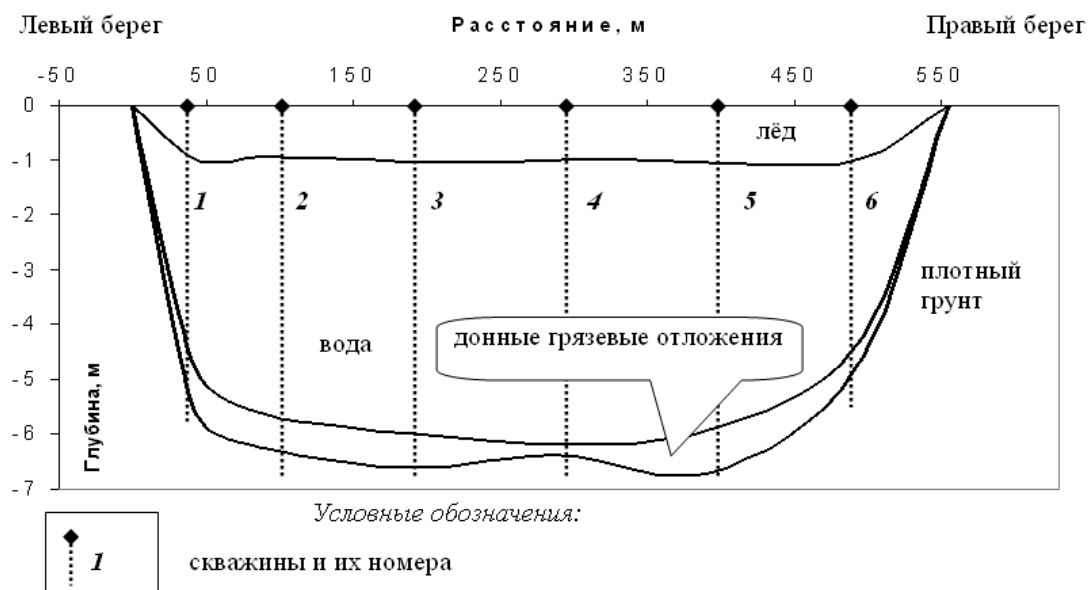


Рис. 3. Поперечный профиль оз. Шунет (март 1999 г.) [11]

По данным сотрудников НИИКиФ [12], иловые отложения оз. Шунет содержат сульфиды в количестве 0,08–0,48% на естественную грязь, органические вещества от 3,7 до 6,6% (по $C_{орг.}$). Твердая фаза исследуемых грязей, определяемая глинистым остовом, варьирует от 5 до 43% на сухое вещество. Из числа компонентов, выделенных 10%-ным раствором HCl, обращает внимание высокое содержание сульфатов (0,19–3,3% на сырое вещество), оксидов магния и кальция (1,78–2,85% и 0,7–2,35% соответственно, на сырую грязь). Иловые отложения озера соответствуют санитарным нормам для лечебных грязей как по титру колиформных бактерий, так и по титру клостридий перфрингенс и синегнойной палочки по всем точкам отбора. Процент выделения некондиционных проб не более 10%. Экологическая ситуация по санитарно-микробиологическим критериям удовлетворительная согласно «Требованиям к горно-санитарной охране месторождений минеральных вод и лечебных грязей» [14].

По результатам проведенных исследований и в соответствии с методическими указаниями «Критерии оценки качества лечебных грязей при их разведке, использовании и охране» [15] донные отложения оз. Шунет по основным физико-химическим показателям отнесены к среднеминерализованным средне-сульфидным иловым лечебным грязям [11].

В настоящее время окрестности озера отнесены к типичным агроландшафтам со значительной антропогенной нагрузкой: здесь широко развиты сельскохозяйственные угодья – пашни, пастбища, посадки кустарников (рис. 4). В летний период многочисленные отдыхающие используют «диким» образом щедрые бальнеологические ресурсы оз. Шунет и его окрестностей. Все это обусловило необходимость проведения специализированных работ по изучению водохозяйственных зон озера. Первая зона (строгого режима) проведена по границам озерных котловин, включая первую и вторую озерные террасы. Эта зона, по существу, очерчивает контуры древних, более полновод-

ных «праозёр». Вторая зона (зона ограниченной хозяйственной деятельности) проводится по главной водораздельной границе и охватывает территорию направленного стока поверхностных и грунтовых вод в акваторию озера.

В 1996, 2000, 2006 гг. в котловине оз. Шунет было отобрано (рис. 4) и проанализировано 42 пробы почв на 23 элемента, заложено 8 почвенных разрезов с отбором проб на анализы водной вытяжки (рис. 5, табл. 7). Пробы анализировались методом эмиссионного приближенно-количественного анализа в аккредитованной лаборатории ФГУП «Берёзовгеология» г. Новосибирска. Для определения химического состава водорастворимых солей готовилась водная вытяжка. Анализ проводился по апробированному комплексометрическому методу К.К. Гедройца в лаборатории кафедры почвоведения Томского государственного университета.

Преобладающим типом почв являются чернозёмы южные и обыкновенные, но поскольку озеро окружено довольно высокими грядами и сопками, то возникают сложные сочетания чернозёмов с горными и неполноразвитыми почвами (рис. 5). В очень ограниченных масштабах вдоль озёрной ванны развит комплекс аллювиальных почв – лугово-болотных, дерновых и луговых, установлена слабая и средняя степень засоления (сумма солей до 0,360%), в единичных горизонтах встречена сильная степень засоления (разрез 4, табл. 7). Тип засоления для всех разрезов хлоридно-сульфатный, для некоторых горизонтов – сульфатно-хлоридный и сульфатный.

Таким образом, внешне вполне «благополучная» черноземная почва без каких-либо внешних макрокопических признаков засоления содержит практически во всех горизонтах то или иное количество солей [16].

На базе генерализованной выборки ($n = 42$) рассчитаны статистические параметры всех проанализированных элементов в почвах (табл. 8).

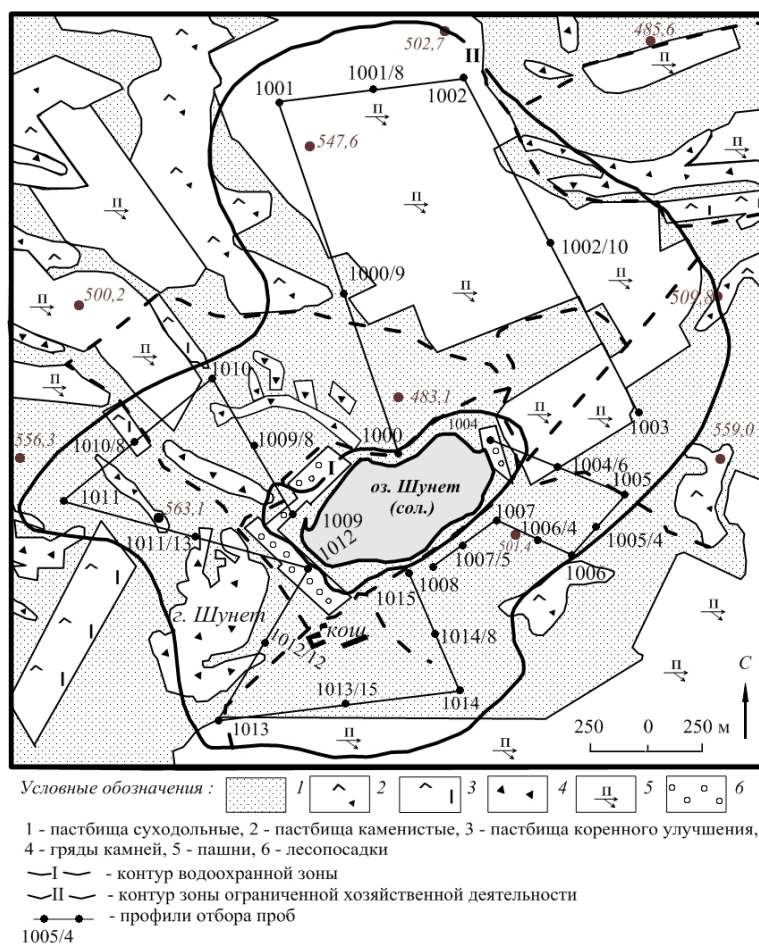


Рис. 4. Схема земельного фонда окрестностей оз. Шунет (по данным А.Я. Березовского) [16]

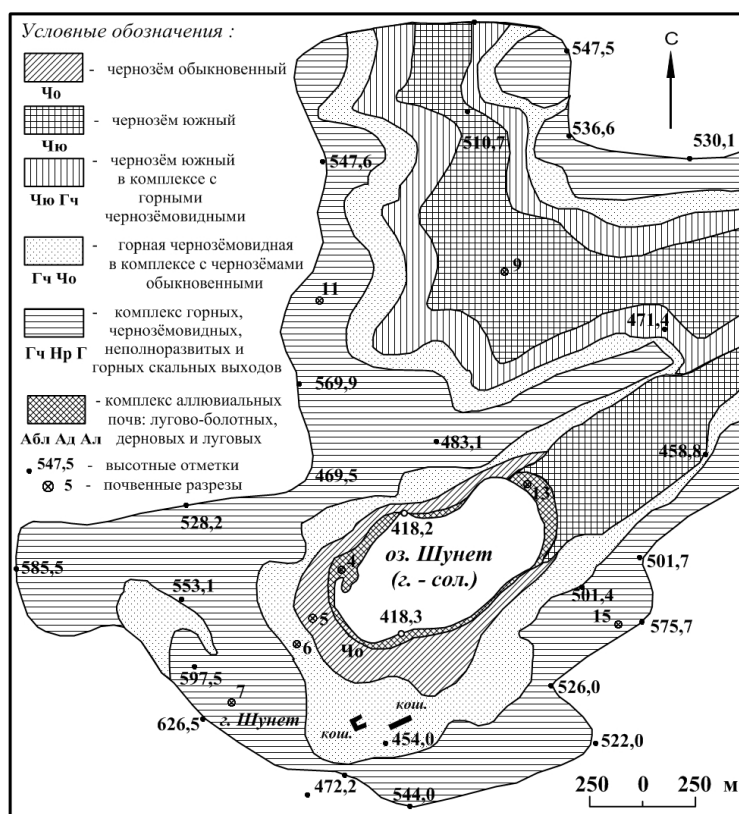


Рис. 5. Почвенная карта окрестностей оз. Шунет (составлена С.П. Кулижским) [16]

Состав водной вытяжки засоленных почв Ширинской степи (мг-экв / %) [16]

Гори-зонт	Глубина, см	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма солей, %	Тип засоления	Степень засоления
Чернозём южный. Разрез 11											
Ad	0–7	–	0,34 / 0,02	0,23 / 0,008	0,5 / 0,02	0,58 / 0,02	0,05 / 0,001	0,44 / 0,01	0,077	х-с	Не засолено
Ак	7–18	–	0,44 / 0,02	0,19 / 0,007	0,25 / 0,01	0,68 / 0,02	0,17 / 0,004	0,03 / 0,001	0,065	х-с	
ABк	23–31	–	1,01 / 0,06	0,20 / 0,007	0,75 / 0,03	1,08 / 0,04	0,25 / 0,006	0,63 / 0,01	0,137	х-с	
ABк	35–40	0,09 / 0,003	0,91 / 0,05	0,21 / 0,007	0,50 / 0,02	1,20 / 0,04	0,28 / 0,007	0,23 / 0,005	0,122	х-с	
Вк	58–68	0,11 / 0,004	1,16 / 0,07	0,25 / 0,009	0,70 / 0,03	0,95 / 0,03	0,90 / 0,02	0,37 / 0,009	0,152	х-с	
BCк	85–95	0,06 / 0,002	0,08 / 0,005	0,59 / 0,021	1,25 / 0,06	0,75 / 0,03	0,80 / 0,02	0,22 / 0,02	0,187	х-с	
Ск	110–120	0,13 / 0,005	0,77 / 0,04	0,90 / 1,00	0,5 / 1,00	0,38 / 0,01	1,13 / 0,02	1,10 / 0,02	0,162	с-х	
Чернозём южный. Разрез 4											
Ак	0–9	–	0,96 / 0,06	1,17 / 0,04	1,25 / 0,06	1,30 / 0,05	1,42 / 0,03	0,65 / 0,01	0,217	х-с	Средняя
ABк	10–20	–	0,76 / 0,04	0,33 / 0,01	1,50 / 0,07	0,97 / 0,04	0,47 / 0,01	1,14 / 0,02	0,157	х-с	Слабая
Вк	23–33	–	0,66 / 0,04	0,80 / 0,02	1,25 / 0,06	0,95 / 0,03	0,50 / 0,01	1,26 / 0,03	0,158	х-с	
BCк	38–48	–	1,26 / 0,07	2,00 / 0,07	3,00 / 0,14	0,87 / 0,03	0,82 / 0,02	2,65 / 0,10	0,308	х-с	Средняя
BCк	52–57	–	0,40 / 0,02	0,43 / 0,01	5,00 / 0,24	3,50 / 0,14	3,72 / 0,09	1,35 / 0,03	0,406	с	Сильная
Чернозём южный. Разрез 5											
Апк	0–5	–	0,69 / 0,04	0,26 / 0,009	2,45 / 0,11	0,47 / 0,02	0,55 / 0,01	2,38 / 0,05	0,180	с	Слабая
Ап/пк	5–14	–	0,70 / 0,04	0,31 / 0,01	1,27 / 0,06	0,57 / 0,02	0,50 / 0,01	1,21 / 0,02	0,130	х-с	
ABк	14–25	–	0,69 / 0,04	0,33 / 0,01	0,31 / 0,01	0,47 / 0,02	0,57 / 0,01	0,29 / 0,007	0,100	с-х	
Вк	30–40	–	0,70 / 0,04	0,48 / 0,01	1,52 / 0,07	0,40 / 0,01	0,67 / 0,01	0,17 / 0,004	0,140	х-с	
Вк	50–60	–	0,84 / 0,05	0,51 / 0,01	2,77 / 0,13	0,40 / 0,01	0,82 / 0,02	0,34 / 0,008	0,220	х-с	Средняя
BCк	70–80	–	1,19 / 0,07	0,36 / 0,01	2,0 / 0,09	0,35 / 0,01	1,37 / 0,03	2,10 / 0,04	0,200	х-с	
BCк	90–100	–	1,30 / 0,08	0,42 / 0,01	2,0 / 0,09	0,55 / 0,02	0,77 / 0,02	2,54 / 0,06	0,200	х-с	
Ск	117–127	–	1,12 / 0,07	0,54 / 0,11	3,02 / 0,14	0,15 / 0,006	1,22 / 0,03	3,48 / 0,08	0,240	х-с	
Чернозём обыкновенный. Разрез 6											
А	0–3	–	0,56 / 0,03	0,34 / 0,01	1,90 / 0,09	0,38 / 0,02	0,18 / 0,004	2,21 / 0,05	0,200	х-с	Средняя
А	8–18	–	0,48 / 0,03	0,40 / 0,01	1,98 / 0,09	0,26 / 0,01	0,17 / 0,004	2,33 / 0,05	0,200	х-с	
AB	19–19	–	0,60 / 0,03	0,40 / 0,01	1,96 / 0,09	0,26 / 0,01	0,18 / 0,004	2,52 / 0,06	0,210	х-с	
В ₁ к	65–75	–	0,67 / 0,04	0,24 / 0,008	1,98 / 0,09	0,25 / 0,01	0,15 / 0,004	2,49 / 0,06	0,200	с	
В ₂ к	85–95	–	0,83 / 0,05	0,20 / 0,007	2,02 / 0,09	0,23 / 0,01	0,09 / 0,002	2,73 / 0,06	0,220	с	
Ск	130–140	–	0,72 / 0,04	0,20 / 0,007	2,08 / 0,1	0,20 / 0,01	0,1 / 0,002	2,70 / 0,06	0,230	с	
Чернозём обыкновенный. Разрез 7											
А	2–10	–	0,72 / 0,04	0,28 / 0,01	1,92 / 0,1	0,34 / 0,02	0,21 / 0,01	2,37 / 0,05	0,220	х-с	Средняя
А	15–25	–	0,40 / 0,02	0,40 / 0,01	0,98 / 0,09	0,30 / 0,01	0,50 / 0,01	1,98 / 0,05	0,190	х-с	Слабая
AB	35–45	–	0,60 / 0,04	0,28 / 0,09	2,02 / 0,09	0,25 / 0,02	0,40 / 0,001	2,25 / 0,05	0,300	с	Средняя
В ₁ к	55–65	–	1,12 / 0,07	0,28 / 0,09	2,08 / 0,10	0,23 / 0,01	0,18 / 0,004	3,07 / 0,07	0,320	с	
В ₂ к	85–95	–	0,98 / 0,06	0,28 / 0,09	2,12 / 0,10	0,12 / 0,02	0,04 / 0,003	3,06 / 0,07	0,340	с	
Ск	135–145	–	1,13 / 0,07	0,28 / 0,09	0,19 / 0,11	0,21 / 0,02	0,10 / 0,002	3,30 / 0,08	0,360	с-х	

Примечание. с-х – сульфатно-хлоридный; х – хлоридный; х-с – хлоридно-сульфатный; сод-х – содово-хлоридный; сод-с – содово-сульфатный; с – сульфатный типы засоления.

Статистические параметры распределений элементов в почвах водосборного бассейна оз. Шунет (опробование 1996 г.)

Элементы и параметры	P	Ti	Mn	Ba	Sr	V	Ni	Co	Zr	Nb	Li
Количество проб	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Среднее, мг/кг	971,43	4309,52	585,71	688,10	454,76	151,90	26,33	9,31	170,24	13,38	76,67
Стандартная ошибка	68,78	154,26	27,81	42,32	24,15	10,66	2,33	0,77	11,56	1,00	4,31
Медиана	900,00	4000,00	600,00	600,00	450,00	150,00	20,00	8,00	150,00	10,00	80,00
Мода	1000,00	5000,00	800,00	600,00	500,00	150,00	20,00	10,00	150,00	10,00	100,00
Стандартное отклонение	445,73	999,71	180,21	274,26	156,49	69,11	15,07	4,98	74,95	6,47	27,91
Дисперсия выборки	198675,96	999419,28	32473,87	75220,67	24488,97	4776,77	227,11	24,80	5617,02	41,80	778,86
Экцесс	10,13	–0,65	–0,93	11,99	5,60	3,29	2,77	6,33	4,69	1,97	8,01
Асимметричность	2,69	–0,21	0,25	2,80	1,89	1,34	1,30	2,07	2,18	1,62	2,09
Фоновое содержание, мг/кг	833,33	3818,25	589,45	538,51	466,67	116,67	20,13	10,50	101,61	8,40	48,28
ПДК, мг/кг	нет свед.	нет свед.	1500,00	500,00	600,00	150,00	50,00	50,00	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.
Минимум, мг/кг	400,00	2000,00	300,00	400,00	200,00	50,00	6,00	3,00	100,00	6,00	40,00
Максимум, мг/кг	3000,00	6000,00	1000,00	2000,00	1000,00	400,00	80,00	30,00	400,00	30,00	200,00

Элементы и параметры	Y	Ga	Cu	Pb	Zn	Be	Sc	Sn	Ag	Mo	U	Th
Количество проб	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	26	26
Среднее, мг/кг	27,69	16,26	36,67	12,19	53,10	2,27	10,64	4,02	0,07	3,05	2,27	4,19
Стандартная ошибка	0,90	0,56	2,23	0,59	2,74	0,16	0,59	0,11	0,00	0,14	0,10	0,33
Медиана	30,00	15,00	30,00	10,00	50,00	2,00	10,00	4,00	0,06	3,00	2,00	4,00
Мода	30,00	15,00	30,00	10,00	40,00	3,00	10,00	4,00	0,05	3,00	2,00	4,00
Стандартное отклонение	5,85	3,60	14,43	3,83	17,74	1,01	3,79	0,72	0,02	0,94	0,53	1,67
Дисперсия выборки	34,27	12,98	208,13	14,65	314,58	1,01	14,38	0,51	0,00	0,88	0,28	2,80
Экссесс	6,95	-0,60	8,17	-0,52	0,66	-1,19	-0,03	0,26	-0,87	1,38	3,20	-0,78
Асимметричность	-2,10	-0,52	2,31	0,55	1,07	0,23	0,70	0,38	0,80	1,03	1,93	3,25
Фоновое содержание, мг/кг	17,32	13,44	29,17	9,34	44,80	2,04	6,99	2,55	0,04	1,97	Нет свед.	3,25
ПДК, мг/кг	Нет свед.	Нет свед.	60,00	32,00	70,00	Нет свед.	Нет свед.	50,00	Нет свед.	4,00	Нет свед.	Нет свед.
Минимум, мг/кг	3,00	8,00	20,00	6,00	30,00	1,00	5,00	3,00	0,04	2,00	2,00	9,21
Максимум, мг/кг	40,00	20,00	100,00	20,00	100,00	4,00	20,00	6,00	0,10	6,00	4,00	7,00

Сопоставление полученных данных проводилось с кларками почв по А.П. Виноградову [17] и значениями предельно-допустимых концентраций (ПДК) [18]. Относительно кларковых концентраций изученные почвы обогащены Li ($K_k = 2,5$), Cu (1,8), Mo (1,5), V (1,5), Sr (1,5), Ba (1,4), бедны Ni, Zr, Y, Ga, Be, U, Th, содержание остальных почти совпадает со значениями кларковых стандартов. Многие микроэлементы (Ba, Zr, Nb, Li, Y, Ga, Cu, Pb, Sc, Sn, Ag, Mo, Th) превышают фоновые значения более чем в 70% случаях. Обращает на себя внимание отчетливое повышение содержания Li, хотя его концентрация не превышает аномального значения (за исключением одного анализа), но это связано лишь с высоким средним значением этого элемента ($X_{cp} = 76,67$). По нашему мнению, главная причина – присутствие в прибрежной зоне оз. Шунет вулканогенно-осадочных толщ нижнего девона, обогащенных туфами и продуктами их перемыва.

Анализируя статистические характеристики, приведенные в табл. 8, по абсолютным значениям средних содержаний, можно выделить три группы элементов. В первую группу входят элементы, средние содержания которых не превышают кларковых значений. К ним относятся ниобий, галлий, свинец, олово и торий. Ко второй группе относятся элементы, средние значения которых имеют околосларковые концентрации. И в третью группу объединены элементы, для которых характерны постоянные превышения кларковых концентраций (Zr, Li, Cu), а для нормируемых элементов (V, Ni) – и над ПДК. Местные геохимические фоновые значения устойчиво выше кларковых в ряде случаев: для Ba – в 1,1 раза, Sr – 1,6; V – 1,2; Co – 1,4; Li – 1,6 и Cu – 1,5. Величина СПЗ оценивается в 2,4 единицы, что характерно для экологически «чистых» территорий [19].

Коэффициенты концентрации, рассчитанные по максимальным значениям того или иного элемента и нормированные по ПДК, превышают единицу в 6 случаях: для Sr (1,7), V (2,7), Ni (1,6), Cu (1,7), Zn (1,4), Sn (1,3), Mo (1,5). По этим данным рассчитан коэффициент СПЗ, равный 4,9 единицы. Эта максимальная оценка не достигает рубежа, разделяющего «чистые» и слабозагрязненные территории.

Для визуализации поведения этих элементов в пространстве нами составлены схемы распределений элементов по принципу «светофора», т.е. участки с низким околосларковым содержанием того или иного элемента закрашены зеленым, с повышенным, но не превышающим ПДК, – желтым, высоким (превышающим ПДК) – красным цветами. Стронций в концентрациях, превышающих ПДК, встречается вдоль всей береговой части оз. Шунет в различных типах почв (обыкновенные чернозёмы, лугово-болотные, южные чернозёмы). Ванадий образует обширные аномалии в северной части котловины оз. Шунет, не обнаруживая какой-либо видимой приуроченности к определённым почвенным горизонтам, что выражается в дисконформности границ аномалии, пересекающей естественные контуры 5 типов почв. Молибден образует дугообразную обширную слабоконтрастную аномалию на крайнем северо-востоке участка, «накладываясь» на четыре типа различных комплексов почв. Цинк формирует четыре точечных и одну площадную аномалию размером 1,5×2 км. Никель, медь, ниобий и цирконий образуют мелкие, чаще всего точечные аномальные зоны.

Итак, относительно кларковых концентраций изученные почвы в природоохранных зонах озера Шунет обогащены Li, Cu, Mo, V, Sr, Ba, бедны Ni, Zr, Y, Ga, Be, U, Th. Многие микроэлементы (Ba, Zr, Nb, Li, Y, Ga, Cu, Pb, Sc, Sn, Ag, Mo, Th) превышают фоновые значения более чем в 70% случаях. Коэффициенты концентрации, рассчитанные по максимальным значениям того или иного элемента и нормированные по ПДК, превышают единицу в 6 случаях: для Sr (1,7), V (2,7), Ni (1,6), Cu (1,7), Zn (1,4), Sn (1,3), Mo (1,5). По этим данным рассчитан коэффициент СПЗ, равный 4,9 единицы, что соответствует допустимому уровню загрязнения [19].

Проведенные исследования показали следующее:

1. Согласно результатам исследований озерная вода относится к высокоминерализованным (24,55 г/дм³) хлоридно-сульфатным натриево-магниевым водам и содержанием бальнеологически значимых компонентов (мкг/дм³): цинк – 23,3; медь – 4,0.

2. Агроландшафтные зоны практически не оказывают негативного влияния на озерные воды и донные

отложения из-за ограниченного выпаса скота на местных пастбищах и локального распространения пашни – потенциального поставщика аэрозолей и вредных компонентов (ядохимикатов, остатков неразложившихся минеральных удобрений).

3. Уровень загрязнения геологической среды в окрестностях оз. Шунет не выходит за рамки минимальных и низких значений суммарных показателей загрязнения и связан с природными, а не техногенными геохимическими аномалиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скорняков Н.В. Об озере Шунет // Торгово-промышленная газета. 1897. № 153.
2. Конаржевский И.К. Целебное озеро Шунет Минусинского уезда Енисейской губернии... Отдельная брошюра, 1900.
3. Силаенков С.Г. Материалы по изучению грязевых озёр Ширина района, курорт Шира летом 1926 года // Сибирский архив теоретической и клинической медицины. Томск : Красное Знамя, 1927. Кн. 6–7. С. 627–637.
4. Богачёв А.Н. Озеро Шунет // Вестник золотопромышлен. 1895. № 24. С. 117.
5. Людвиг Ф.В. Материалы к изучению химического состава некоторых горько-соленых озёр степей – Соляной, Абаканской, Сагайской и Качинской Минусинского округа Енисейской губернии : дис. ... магистра формирования. Юрьев, 1903. 200 с.
6. Курлов М.Г. Курорт озеро Шира. Томск : Красное Знамя, 1927. 33 с.
7. Предтеченский А.А. Курорты Сибири – оз. Шира и оз. Шунет // Сибирская лечебная газета. 1912. № 12. С. 144–147.
8. Эдельштейн Я.С. К вопросу об определении границ округа охраны озёр Шира, Иткуль и Шунет в Минусинском уезде // Известия Геологического Комитета. 1914. Т. 33, № 9. С. 388–412.
9. Завадовский К.Н. Материалы по курорту «Шира» (исследование озёр района Ширина курорта) // Сибирский архив теоретической и клинической медицины. Томск : Красное Знамя, 1927. Т. II, кн. 1–2. С. 132–137.
10. Парначёв В.П., Макаренко Н.А., Клопотова Н.Г. и др. Изучение и оценка эксплуатационных запасов лечебной грязи озера Утичь-3 в Ширина районе Республики Хакасия : в 2 кн. Томск, 2006. Кн. 1: Текст отчета: 74 с., 10 ил., 7 табл., 6 прил.; Кн. 2: Приложения и рисунки. 92 с., 60 прил., 24 рис.
11. Парначёв В.П., Макаренко Н.А., Петров А.И. и др. Геоэкологические особенности и бальнеологическая оценка озера Шунет (Ширинский район, Республика Хакасия). Отчет об итогах выполнения хозяйственных работ по теме № 265 за 1999 год. Томск, 1999. 78 с.
12. Природные воды Ширина района Республики Хакасия / под ред. В.П. Парначёва. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. 183 с.
13. Малахов А.М., Скорняков В.А., Цыцарин Г.В. Гидроминеральные ресурсы курорта озеро Шира // Материалы по изучению лечебных грязей, грязевых озёр и месторождений. М. : Центральный НИИ курортологии и физиотерапии, 1963. С. 51–151.
14. Требования к горно-санитарной охране месторождений минеральных вод и лечебных грязей. МЗ № 96-1997 / сост. В.Б. Адилов, А.В. Дубовский, В.И. Зотова и др. М. : МЗРФ, 1997. 19 с.
15. Критерии оценки качества лечебных грязей при их разведке, использовании и охране. М., 1987. 40 с.
16. Парначёв В.П., Макаренко Н.А., Копылова Ю.Г. и др. Исследование рапы минеральных озёр и солончаков Республики Хакасия с целью оценки особенностей распределения редких щелочей, галогенных и сопутствующих элементов (литий, рубидий, цезий, бром, бор, фтор). Отчет об итогах выполнения хозяйственных работ за 1997–1999 гг. (х/д № 284; 3-Т). Томск, 2000. 267 с.
17. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : АН СССР, 1957. 238 с.
18. Рихванов Л.П., Нарзулаев С.Б., Язиков Е.Г. и др. Геохимия почв и здоровье детей Томска. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1993. 142 с.
19. Саев Ю.Е. и др. Геохимия окружающей среды. М. : Недра, 1990. 335 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 30 ноября 2015 г.

THE ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL STATE OF LAKE SHUNET AND ITS SURROUNDINGS (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

Tomsk State University Journal, 2015, 400, 371–380. DOI: 10.17223/15617793/400/58

Makarenko Nikolay A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: geokart@ggf.tsu.ru

Arkhipova Natalia V. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: arhipovanv@ggf.tsu.ru

Keywords: Lake Shunet; lake water; curative mud; soils; level of pollution; Republic of Khakassia.

Lake Shunet is located in the south-western part of the Chebakova-Balahtinskiy hollow in the Minusinsk intermontane trough 10 km South-West of the resort Lake Shira. The host rocks are Lower Devonian sedimentary rocks of the Biskarskas series, magmatic formations of which have contrasting trachyrhyolite(trachydacite)-basaltic composition. The water surface area of the lake is 0.46 km², maximum depth of it is 6.7 m, the absolute mark of water level is 418.2 m. The lake is endorheic, on the southern bank a small freshwater key flows into it. The water of Lake Shunet belongs to highly mineralized (24,55 g/dm³) chloride-sulphate sodium-magnesium waters. The absence of toxic contaminant nitrite and nitrate ions is marked in the lake water. The sanitary-bacteriological condition of the lake water is regarded as safe. The main value of Lake Shunet is its medical mud. Silty sediments of Lake Shunet contain sulfides, organic matter. These sediments relate to medium mineralized middle-sulphide silt curative muds by their key physical-chemical parameters. Silt deposits of the lake meet sanitary standards for therapeutic mud both by the titer of the coliform bacteria and by the titer of perfringens clostridia and *Pseudomonas aeruginosa*. The ecological situation on sanitary-microbiological criteria is satisfactory. Agrolandscape zones practically do not have a negative impact on the lake water and bottom sediments because of the limited cattle grazing on local pastures. The predominant type of soil is chernozem, south and ordinary, but because the lake is surrounded by fairly high ridges and hills, there are complex combinations of chernozem with mountain and poorly developed soils. Salinity type is mainly chloride-sulphate. The comparison of background values with soil clark by A.P. Vinogradov shows that the soil in the nature conservation areas of Lake Shunet is enriched in Li, Cu, Mo, V, Sr, Ba, but poor in Ni, Zr, Y, Ga, Be, U, Th. The concentration coefficients, calculated on the maximum values and normalized on MPC, are higher than one for: Sr (1,7), V (2,7), Ni (1,6), Cu (1,7), Zn (1,4), Sn (1,3), Mo (1,5). The total value of the pollution index is 4,9, which corresponds to the acceptable level of pollution.

REFERENCES

1. Skorniyakov, N.V. (1897) Ob ozere Shunet [On Lake Shunet]. *Torgovo-promyshlennaya gazeta*. 153.
2. Konarzhievskiy, I.K. (1900) *Tselebnoe ozero Shunet Minusinskogo uезда Eniseyskoy gubernii*... [Healing Lake Shunet of Minusinsk District, Yenisei Province]. A separate brochure.

3. Silaenkov, S.G. (1927) *Materialy po izucheniyu gryazevykh ozer Shirinskogo rayona, kurort Shira letom 1926 goda* [Materials for the Study of mud lakes of the Shira area, Shira resort, in summer 1926]. Siberian Archive of Theoretical and Clinical Medicine. Books 6–7. Tomsk: Krasnoe Znamya. pp. 627–637.
4. Bogachev, A.N. (1895) Ozero Shunet [Lake Shunet]. *Vestnik zolotopromyshlennika*. 24. pp. 117.
5. Lyudvig, F.V. (1903) *Materialy k izucheniyu khimicheskogo sostava nekotorykh gor'ko-solenykh ozer stepey – Solyanoy, Abakanskoy, Sagayskoy i Kachinskoy Minusinskogo okruga Eniseyskoy gubernii* [Materials for the study of the chemical composition of some bitter-salt lakes of the steppes Solyanaya, Abakan, Sagay and Kachin of the Minusinsk District, Yenisei Province]. Master of Formation Diss. Yuriev.
6. Kurlov, M.G. (1927) *Kurort ozero Shira* [Lake Shira Resort]. Tomsk : Krasnoe Znamya.
7. Predtechenskiy, A.A. (1912) Kurorty Sibiri – oz. Shira i oz. Shunet [Resorts of Siberia: Lake Shira and Lake Shunet]. *Sibirskaya lechebnaya gazeta*. 12. pp. 144–147.
8. Edel'shteyn, Ya.S. (1914) K voprosu ob opredelenii granits okruga okhrany ozer Shira, Itkul' i Shunet v Minusinskom uezde [On setting the boundaries of the protection district of lakes Shira, Itkul and Shunet in the Minusinsk District]. *Izvestiya Geol. Komiteta*. 33: 9. pp. 388–412.
9. Zavadovskiy, K.N. (1927) *Materialy po kurortu «Shira» (issledovanie ozer rayona Shirinskogo kurorta)* [Information on the Shira Resort (a study of the lakes of the Shira Resort District)]. Siberian Archive of Theoretical and Clinical Medicine. Books 1–2. Tomsk: Krasnoe Znamya. pp. 132–137.
10. Parnachev, V.P. et al. (2006) *Izucheniye i otsenka ekspluatatsionnykh zapasov lechebnoy gryazi ozero Utich'e-3 v Shirinskom rayone Respubliki Khakasiya : v 2 kn.* [The study and estimation of operational stocks of curative mud of Lake Utichye-3 in the Shira District of the Republic of Khakassia: in 2 books]. Tomsk.
11. Parnachev, V.P. et al. (1999) *Geoekologicheskie osobennosti i bal'neologicheskaya otsenka ozero Shunet (Shirinskiy rayon, Respublika Khakasiya)* [Geoecological features and balneological assessment of Lake Shunet (Shira District, Republic of Khakassia)]. A report on results of implementation of contractual works for Project 265 in 1999. Tomsk.
12. Parnachev, V.P. (ed.) (2003) *Prirodnye vody Shirinskogo rayona Respubliki* [Natural waters of the Shira District of the Republic of Khakassia]. Tomsk: Tomsk State University.
13. Malakhov, A.M., Skorniyakov, V.A. & Tsytarin, G.V. (1963) Gidromineral'nye resursy kurorta ozero Shira [Hydromineral resources of the Lake Shira Resort]. In: *Materialy po izucheniyu lechebnykh gryazey, gryazevykh ozer i mestorozhdeniy* [Materials for the study of therapeutic mud, mud lakes and fields]. Moscow: Tsentral'nyy NII kurortologii i fizioterapii.
14. Adilov, V.B. et al. (1997) *Trebovaniya k gorno-sanitarnoy okhrane mestorozhdeniy mineral'nykh vod i lechebnykh gryazey. MZ № 96-1997* [Requirements for the mining and sanitary protection of deposits of mineral waters and therapeutic muds. Ministry of Health 96-1997]. Moscow: MZ RF.
15. USSR Ministry of Health. (1987) *Kriterii otsenki kachestva lechebnykh gryazey pri ikh razvedke, ispol'zovanii i okhrane* [Criteria for assessing the quality of therapeutic mud with their exploration, use and protection]. Moscow: MZ RF.
16. Parnachev, V.P. et al. (2000) *Issledovanie rapy mineral'nykh ozer i solonchakov Respubliki Khakasiya s tsel'yu otsenki osobennostey raspredeleniya redkikh shchelochey, galogennykh i soputstvuyushchikh elementov (litiy, rubidiy, tseziy, brom, bor, fluor)* [A study of the brine of mineral lakes and salt marshes of the Republic of Khakassia to assess the features of the distribution of rare alkali, halogen and accompanying elements (lithium, rubidium, cesium, bromine, boron, fluorine)]. A report on results of implementation of contractual work in 1997–1999 (Contract No. 284; 3-T). Tomsk.
17. Vinogradov, A.P. (1957) *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and trace chemical elements in soils]. Moscow: AN SSSR.
18. Rikhvanov, L.P. et al. (1993). *Geokhimiya pochvy i zdorov'e detey Tomsk* [Soil geochemistry and the health of Tomsk children]. Tomsk: Tomsk State University.
19. Saet, Yu.E. et al. (1990) *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow: Nedra.

Received: 30 November 2015