

ЛИТИЙ-УРАНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ СОЛЕННЫХ ОЗЕР И ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУВЫ

Ч.К. Ойдул

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

Соленые озера и минерализованные подземные воды являются объектом повышенного интереса и интенсивного изучения в качестве источника рентабельного извлечения не только традиционных продуктов, используемых для нужд (поваренная соль, сода, сульфат натрия), но и других полезных компонентов: соединений лития, брома, калия, бора, магния, урана и т.д. Экономический интерес к гидроминеральному сырью в качестве источника полезных ископаемых определяется тем, что по сравнению с обычными технологиями извлечения из горных пород, здесь исключаются дорогостоящие этапы разработки и эксплуатации шахт или карьеров, дробления пород, предварительного концентрирования и последующего перевода компонентов в раствор. Бессточные минерализованные озера и солончаки в пределах Тувы находятся преимущественно на территории Убсунурской, Тувинской, Турано-Уюкской котловин. Специализированные работы на наличие гидроминеральных ресурсов в этих объектах ранее не проводились. В настоящее время новые аппаратные и методические возможности анализа вод и донных отложений создают благоприятные условия для детального изучения их вещественного состава. В этой связи проводились исследования по изучению многокомпонентного состава соленых озер, минерализованных подземных рассолов на данной территории при финансовой поддержке интеграционного проекта «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий: рудогенерирующий потенциал, новые технологии комплексной переработки, экологическая безопасность» № 110, результаты которых обсуждаются в данной работе. В исследованных нами озерах и подземных рассолах Центральной Тувы концентрация лития в воде не превышает фоновых содержаний (на уровне озер Южной Сибири) (0,0042–0,71 мг/л). Вместе с тем выявлено повышенное содержание урана в воде (0,07–0,092 г/т), в донных отложениях (1,92–9 г/т) соленых озер и в пресноводных подземных рассолах (0,003–0,18 мг/л), превышающее среднюю концентрацию его в морской (океанической) воде (0,003 мг/л). Если учесть, что технология извлечения урана из воды возможна при содержании его в воде в количестве 0,003 мг/л (из морской воды), то концентрации более одной десятой заслуживают внимания. Помимо урана отмечаются аномалии и по другим ценным компонентам, таким как бор, бром, йод, стронций.

Ключевые слова: гидроминеральные ресурсы, геохимия, прогиб, солёносный горизонт, впадина, микрокомпоненты, минерализация, подземный рассол, аржааны.

Введение

В Центральной Туве соленые озера сосредоточены на территории Тувинской (озера Хадын (рис. 1, 1), Сватиково (рис. 1, 2), Каък-Хол (рис. 1, 3), Хаак-Хол (рис. 1, 5), Чедер (рис. 1, 4)) и Турано-Уюкской (оз. Белое, аржаан и ряд мелких озер к северо-востоку от котловины) котловин. Общими чертами этих озер являются небольшая глубина, расположение в днищах бессточных межсопочных впадин в зоне сухого климата с резкими колебаниями температур. На оз. Чедер находится круглогодичный действующий курорт. Озера Хадын, Дус-Хол (Сватиково) несут огромную сезонную антропогенную нагрузку в летнее время. Оз. Каък-Хол (Грязнуха, соседствующее с оз. Сватиково) подобной нагрузки не испытывает, но грязь активно вывозится туристами за пределы Республики Тува.

Озера Турано-Уюкской (рис. 1, 15–18) котловины находятся на более высоком гипсометрическом уровне, на предгорье Куртушибинского хребта, чем

озера Тувинской котловины. Места таежные и практически не используются в лечебных целях среди населения из-за слабой солоноватости.

Подземные минерализованные рассолы (источники) тяготеют преимущественно к горным обрамлениям Тувинского прогиба и делятся на холодные пресноводные и соленые.

К пресноводным относятся источники: Кара-Суг (рис. 1, 6), Торгалыг (северный) (рис. 1, 12, Кегээн-Булак (рис. 1, 21), Алды-Доргун (рис. 1, 8), Талдыгадыр (рис. 1, 11), Ангырактыг (рис. 1, 9), Улаатай (рис. 1, 10), источник по правому борту р. Чоза; к соленым – Хурегечи (рис. 1, 14), Ажыг-Суг (рис. 1, 7), Южный Торгалыг (аржаан Кооп Терек (рис. 1, 24)), источник на месторождении Дус-Да (рис. 1, 13), руч. Дусдуг-Хем (правый приток р. Шуй) (рис. 1, 23), скв. Тосбулак (рис. 1, 9), Кундус (Бобры) (рис. 1, 20), родники восточный и южный у оз. Сватиково.

Накопление солей в озерах связано с растворением эвапоритовых минералов, о чем свидетельствуют Дус-

Датское месторождение и Торгалыгское и Элегестинское проявления каменной соли с процессами континентального засоления [Гусева и др., 2018]. Первые сведения о составе соленых озер по Тувинскому прогибу приводятся в монографии Е.В. Пиннекера «Ми-

неральные воды Тувы» [Пиннекер, 1968] по результатам работ Тувинского гидрогеологического отряда Института земной коры. Озеро Чедер как функционирующий курорт подвергалось неоднократному обследованию разными авторами [Блюменфельд, 1960].

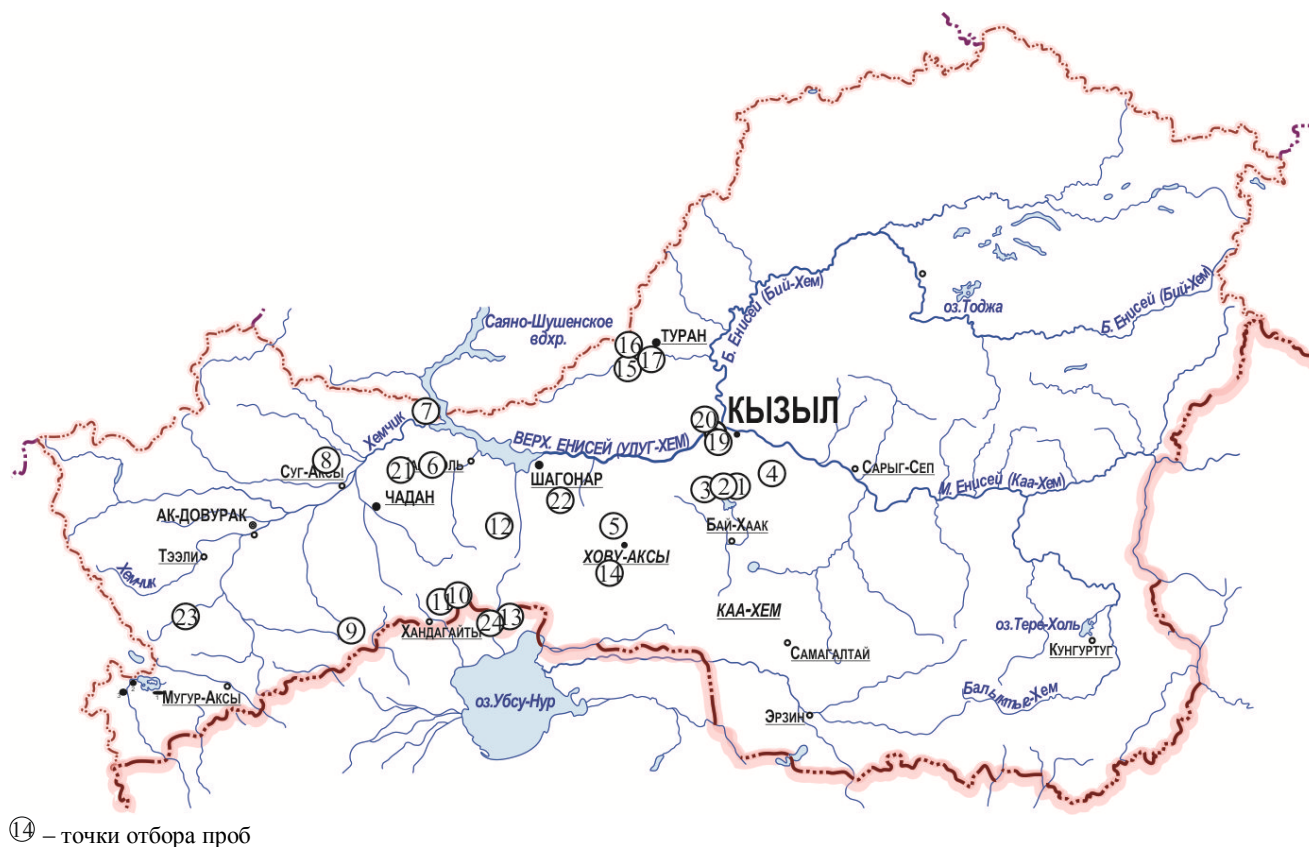


Рис. 1. Обзорная карта Тувы

Fig. 1. Overview map of Tuva

Сведения о других озерах практически отсутствовали, некоторые из них освещались в работах [Лепешков, Соловьев, Смирнова, 1956; Богородицкий, Валединский, 1957]. Состав соленых озер этой котловины изучался также Тувинской геологоразведочной экспедицией [Меткин и др., 1963; Фисенко и др., 1984]. При этом исследовался преимущественно общий химический состав вод, а содержание микрокомпонентов оставалось неизвестным. Членами экспедиции на оз. Каьк-Хол (Грязнуха) был произведен подсчет запасов лечебной грязи. В настоящее время новые аппаратурные и методические возможности анализа вод и донных отложений создают благоприятные условия для детального изучения вещественного состава озер. В этой связи изучение многокомпонентного состава соленых озер, минерализованных подземных рассолов на данной территории представляет интерес и с точки зрения распространенности в природных средах элементов редкоме-

тальной и редкоземельной минерализаций. В настоящей работе изложены результаты геохимических исследований озерных вод и подземных рассолов, проведенных с целью обнаружения гидроминеральных ресурсов. Подробная характеристика химического состава подземных вод Центральной Тувы и механизмы их формирования представлены в работе [Гусева и др., 2018]. В данной статье мы остановимся на геохимической характеристике природных вод.

Методика исследований

Для определения общего химического состава отбиралась проба воды (1 л) в пластиковую бутылку и 0,3 л – на содержание микроэлементов. На озерах пробы отбирались в 50 м от берега. Фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм, а затем подкисляли концентрированной азотной кислотой марки осч. На месте отбора пробы определяли значения

pH, Eh и удельной электропроводности воды с использованием откалиброванного иономера Анион 7051 (Россия); содержание компонентов карбонатной системы (карбонат- и гидрокарбонат-ионов), диоксида кремния определяли сразу после отбора пробы общепринятыми методами анализа вод [Резников, Муликовская, Соколов, 1970]. Химический состав вод анализировался в научно-образовательном центре «Вода» Института природных ресурсов ТПУ (г. Томск). Микрокомпонентный (полный геохимический) состав вод определен в Институте химии твердых тел и механохимии (ИХТТМ СО РАН, г. Новосибирск) на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500a (США) в режиме спектр-полуколичественного анализа с максимальным разбавлением проб воды в 6 100 раз. Калибровочным раствором для настройки спектрометра и анализа служил эталонный раствор 10 ppb Li, Y, Ce, Co, Tl в 2%-й HNO₃ (Agilent Technologies). Пробы разбавлялись высокочистой водой с сопротивлением 18,2 МΩ при 25°C, полученной на установке Direct-Q 3, UVMillipore (Россия). Азотная кислота марки осч перегонялась в установке по перегонке кислот из фторопласта. Ошибка определения не превышала ±30%.

Основные черты геологического строения Тувинского прогиба и геоморфологическое положение озер

Изучаемые озерные площади входят в мезокайнозойские котловины – Тувинскую, Турано-Уюкскую, расположенные в пределах Тувинского межгорного прогиба. В геолого-структурном плане данная геологическая структура является рифтогенной зоной. В позднеордовикское время (460–450 млн л. н.) на восточной половине Тувы произошло масштабное батолитообразование (Каахемский, Хамсаринский, Бийхемский, Восточно-Тувинский батолиты), которые спаяли в единое целое все структуры Восточной Тувы, сформировав каледонский полиаккреционный суперконтинент в составе Центрально-Азиатского суперконтинента. В это время в Западной Туве позднеколлизийное батолитообразование сопровождалось развитием ордовикских прогибов (опусканием рельефа), заполняющихся грубой молассой с незначительным вулканизмом (Хемчикско-Систигхемский прогиб). К раннему девону произошло столкновение Сибирского кратона и Центрально-Азиатского каледонского суперконтинента (в том числе и территория Тувы) вдоль трансформной границы. Это привело к образованию серии расколов-сдвигов, по которым формировался Тувинский межгорный прогиб рифтогенного происхождения [Сугоракова, Ойдуп, 2010]. Он выполнен вулканогенно-осадочными отложениями девона–нижнего карбона,

при этом вулканические образования (основного и кислого состава) сосредоточены в нижнедевонской толще. В юрский период в регионе накапливались континентальные угленосные отложения, сохранившиеся в отдельных мульдах. В неоген–четвертичное время произошли рост современных горных сооружений Тувы и накопление рыхлых отложений в долинах рек и озер. По составу резко доминируют породы алюмосиликатного состава – песчаники, алевролиты, эффузивы основного и кислого состава. Карбонатные породы образуют редкие маломощные прослои среди терригенных пород силура, девона и карбона. Лишь в фундаменте распространены мощные толщи (до 300 м) мраморизованных известняков.

Особенности данной геологической структуры: 1) на северном (Аянгаты-Шуй, Бажын-Алак, Уюк) и южном (Деспен-Самагалтай, Улуг-Шанган) обрамлении прогиба имеются серии хвостов-выступов, где сосредоточены рудопоявления редких, редко-земельных и радиоактивных элементов; 2) в нижнем девоне находится соленосный горизонт (Дус-Дагское месторождение, Торгалыгское, Элегестинское проявления каменной соли); 3) на северо-западном фланге Турано-Уюкской котловины – излияние молодых базальтов в олигоцене (28 млн лет) [Сугоракова, Ярмолюк, Лебедев, 2003].

Большая часть Тувинской котловины выполнена платформенными осадками, известными как Улуг-Хемский угольный бассейн. Он приурочен к северо-восточной части Тувинского межгорного прогиба. Отложения межгорного прогиба представлены средне-верхнепалеозойскими орогенными образованиями, представленными вулканогенной формацией нижнего девона и серо-, пестро- и красноцветной молассовой формацией средне-верхнедевонского и нижне-каменноугольного возраста. Эти отложения занимают ложе и ближайшие обрамления Улуг-Хемского угольного бассейна. Образования самого угольного бассейна представлены песчаниками, алевролитами, конгломератами, углями эрбекской свиты, также песчаниками, алевролитами, известняками аргиллитами и углями салдамской свиты. На описываемой территории днища долин, подножия склонов занимают рыхлые четвертичные отложения делювиально-пролювиального, эолового и аллювиального происхождения, пески, супеси, глины, суглинки с примесями щебня, гальки и гравийно-галечными смесями. Все вышеперечисленные факторы являются благоприятными для накопления промышленно значимых концентраций полезных компонентов в водах озер. Основное пополнение водных ресурсов озер происходит за счет сезонных атмосферных осадков на водосборной площади озер, а также благодаря разгрузке подземных вод. Климат резко континентальный. Зима холодная, малоснежная, но из-за низкой влажности (75–80 %) морозы легко переносятся.

Озера Тувинской котловины. **Оз. Хадын** (51°21' 183" с.ш.; 94°30'202" в.д.) расположено в 45–48 км южнее г. Кызыл, находится на северо-востоке бессточной Хадынской впадины с северо-западным простиранием. По площади является самым большим водоемом на этой впадине. С восточной стороны в озеро впадает р. Хадын. Кроме того, озеро питается атмосферными осадками и глубинными водами, на юго-восточном берегу отмечены лишь следы подземных источников, питающих озеро. Восточный и северный берега пологие, мелкие. Южный склон мелкосопочный (заросшие песчаные дюны), берег озера местами крутой, глубо-

кий. Ближе к восточному берегу имеется островок. В днище озера залегают озерные четвертичные отложения, пестро- и сероцветные песчаники, алевролиты, известняки илёморовской, уюкской свит верхних ярусов среднего девона. Содержание металлов (железа, меди, цинка, свинца, молибдена, сурьмы, алюминия) в воде аномально высокое, превышает содержание в морской воде в десятки и сотни раз (табл. 1). Из микроэлементов: содержание лития ниже, чем в морской воде, т.е. на уровне озер Южной Сибири; цезий, уран, торий превышают уровень содержания в морской воде в несколько десятков раз, вольфрам – более 700 раз.

Таблица 1

Геохимический состав воды соленых озер Тувинской котловины, мг/л

Table 1

Geochemical composition of water in salt lakes of the Tuva Basin, mg/l

Элемент	Сватиково (Дус-Хол)	Хадын	Грязнуха (Кабяк-Хол)	Чедер	Хаак-Хол	Морская вода [ГОСТ. Р 54316–2011]
V	0,0100	0,00366	0,0042	0,0061	0,003200	0,003
Cr	–	–	53	–	<2,000E-4	0,00002
Mn	0,0290	0,0610	0,0100	0,0250	<1,700E-5	0,002
Fe	2,0100	4,9410	0,8600	2,6200	<7,700E-4	0,01
Cu	0,9150	0,3780	0,1800	0,7930	<3,700E-5	0,003
Zn	0,0560	0,8540	0,0460	0,0494	<1,200E-4	0,01
Pb	0,1037	0,1281	0,0130	0,0915	<7,900E-6	0,00001
Mo	0,0460	0,0250	0,0140	0,0450	0,02900	0,01
Sb	0,0073	0,0054	0,00094	0,01037	<2,400E-5	0,0005
Al	0,1280	0,4000	0,6400	0,1560	<3,800E-51	0,01
As	0,0390	–	–	0,0170	0,007900	0,0001
B	6,1000	2,9200	0,1300	4,3900	1,100	4,6
Br	85,4000	21,9600	5,2000	73,2000	13,00	66
Li	0,1220	0,1159	0,0390	0,1400	0,06000	0,15
Ge	0,0043	–	–	0,0280	0,004000	0,00006
Rb	0,0097	0,0061	–	0,0110	0,001200	0,2
Sr	5,8500	0,0793	7,9000	3,6600	1,500	8,0
W	0,0044	0,0732	–	0,0430	0,002200	0,0001
Cs	0,0085	0,0183	0,0015	0,0061	<6,600E-6	0,00037
Ba	1040	384	390	340	<5,200E-5	0,02
Ta	–	<0,0001	–	–	1,600E-5	–
Th	0,000366	0,0004	0,0000065	0,0355	3,800E-5	0,00001
U	0,0524	0,0730	0,0230	0,0915	0,06800	0,003

Примечание: Анализы выполнены методом ICP-MS в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, аналитик С.С. Шацкая.

Note: Analyzes were performed by ICP-MS at the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, analyst S.S. Shatskaya.

Оз. Сватиково (Дус-Хол) (51°21'458" с.ш. 94°25'586" в.д.) находится в 2 км к западу от оз. Хадын через возвышенный заросший песчаный дюн. Абсолютная отметка 707 м. Форма озера овальная, площадь около 0,55 км². Максимальная глубина до 3,5 м (западная половина). На восточном и южном берегах есть выходы слегка солоноватых насыщенных, газированных подземных рассолов, являющихся главными питающими источниками озера. Эти воды используют отдыхающие для питья. В отличие от оз. Хадын ложе оз. Сватиково

представлено исключительно отложениями эрбекской угленосной свиты средней юры: песчаники, гравелиты, алевролиты, угли. Северный и южный берега пологие, южный – песчаный, северный – заболоченный и заросший. На западном и восточном берегах отмечаются выходы коренных пород. В составе, так же как на соседнем оз. Хадын, много железа, меди, цинка, свинца, молибдена, сурьмы, алюминия. В отличие от оз. Хадын, в составе появляется мышьяк. Концентрация бора, брома, урана превышает концентрацию в морской воде (см. табл. 1).

Оз. Грязнуха (Каък-Хол) расположено в 3,5 км к юго-западу от оз. Сватиково (51°21'241" с.ш., 94°23'242" в.д.). Типичный материковый самосадочный водоем, заполняет одну из бессточных депрессий Хадынской впадины. Озеро топкое, мелкое, маленькое по площади и водности. Имеет овальную форму, вытянуто с северо-запада на юго-восток. Площадь – 0,715 км². Берега пологие, озеро сливается с общим рельефом местности. Ландшафт степной, полупустынный, на песчаных почвах и песках – в виде мелких бугров и барханов, абсолютная отметка 699,5 м. Питается атмосферными осадками и родником Кара-Суг. Доля питания идет от оз. Кулузун в 200 м на северо-восток и гипсометрически выше на 5 м. В настоящее время данное озеро засыхает, зарастает. Слой воды мощностью 0,3 м, редко 0,7 м. На оз. Кулузун вода слабосоленоватая. Содержание лития и урана в воде ниже, чем в остальных соседних озерах: 0,038 и 0,023 мг/л соответственно, также минимальны содержания по бору и бромю.

Оз. Чедер находится в 35 км от г. Кызыл по трассе М-54 к юго-востоку. Длина 4,5 км, ширина 0,8 до 1,5 км. Максимальная глубина до 2 м, общая площадь водной глади около 5 км². Берега пологие, заболоченные. С юго-востока в озеро впадает руч. Кужур-Судак. В отличие от вышеописанных озер, ложа Чедера представлена четвертичными озерными отложениями на песчаниках, алевролитах, известняках и эффузивах кислого, среднего состава тапсынской свиты нижнего кембрия. На юго-западе озера выходы серо-, пестроцветных песчаников, алевролитов, мергелей, известковистых сланцев дерзигской свиты нижнего-среднего силура. Микроэлементный состав

характеризуется наличием бора (4,4), брома (73), мышьяка, лития на уровне или незначительно превышающем уровень содержания в морской воде, урана больше в несколько десятков раз.

Оз. Хаак-Хол (Хак-Хол по Пиннекеру) (51°19'705" с.ш.; 93°33'678" в.д.) находится в 12 км от трассы Кызыл–Хову-Аксы по правой стороне в бессточной впадине. По дну озеро залегают юрские отложения эрбекской свиты – песчаники и алевролиты с прослоями углей на юго-восточной половине и к северу-западу экиоттутгской свиты нижнекаменноугольной системы – красноцветные песчаники, алевролиты, реже известняки. Площадь озера 5,342 м². Берега пологие, заболоченные и топкие. Подход к озеру только с юго-западной стороны. Краевая зона озера неглубокая, и вода покрыта разноцветной тиной. В 1,5 км от западного берега на территории полевого стана пробурена скважина, вода из нее солоноватая с минерализацией сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевого химического типа, pH 7,61. Микроэлементный состав такой же, как предыдущие озера, но намного беднее. Исключение составляет уран (0,068 мг/л).

Подземные рассолы (источники) на территории делаются на холодные пресноводные и соленые.

К пресноводным относятся: Кара-Суг, Торгалыг (северный), Кегээн-Булак, Алды-Доргун, Талдыгадыр, Ангырактыг, Улаатай, источник по правому борту р. Чоза; к соленым – Хурегечи, Ажыг-Суг, Южный Торгалыг (аржаан Кооп Терек), источник на месторождении Дус-Даг, руч. Дусдуг-Хем (правый приток р. Шуй), Тосбулак, Кундус (Бобры), родники восточный и южный оз. Сватиково.

Таблица 2

Геохимический состав пресных подземных рассолов, мг/л

Table 2

Geochemical composition of fresh underground brines, mg/l

Элемент	Талдыгадыр	Ангырактыг	Улаатай	Алды-Доргун	Торгалыг (северный)	Кара-Суг	Кегээн-Булак	Кларк речной воды [Справочник... 1990]
Li	0,044	0,035	0,057	0,36	0,0094	0,0054	0,0042	0,0025
Be	<0,00098	0,00098	—	<0,00098	—	—	—	—
B	0,35	0,31	0,025	0,48	0,022	0,086	0,022	—
Na	53	24,5	—	74	—	—	—	—
Mg	10	7,8	—	5,7	—	—	—	—
Al	0,17	0,225	<0,00024	0,21	—	0,35	0,55	0,16
Si	21	25	—	22	—	—	—	—
P	2,9	3,25	—	3,3	—	—	—	—
S	160	120	—	98	—	—	—	—
Cl	2,2	490	—	310	—	—	—	—
K	3,1	2,4	—	2,6	—	—	—	—
Ca	30	15	—	11	—	—	—	—
Sc	0,0033	0,0028	—	0,0022	—	—	—	—
Ti	0,012	0,01	—	0,01	—	—	—	0,003
V	0,0027	0,002	<0,00016	0,0023	0,0034	<0,0001	<0,00016	0,001
Cr	0,016	0,013	<0,0015	0,02	—	—	<0,0015	0,001
Mn	0,03	0,034	0,024	0,017	0,036	0,016	0,019	0,01
Fe	2	2,1	<0,006	2,1	0,14	<0,006	<0,006	0,04

Элемент	Талдыг-адыр	Ангырак-тыг	Улаатай	Алды-Доргун	Торгалыг (северный)	Кара-Суг	Кегээн-Булак	Кларк речной воды [Справочник... 1990]
Co	0,0019	0,0016	<0,00015	0,0028	0,00062	—	<0,0001	0,0003
Ni	0,026	0,03	0,022	0,034	0,062	<0,02	0,025	0,0025
Cu	0,1	0,097	0,0003	0,1	<0,0003	0,11	<0,0003	0,007
Zn	0,85	0,68	<0,001	0,69	0,2	0,13	<0,001	0,02
Ga	0,0047	0,0029	—	0,0029	—	—	—	0,0001
Ge	0,0025	0,003	<0,00069	0,0033	0,00096	—	0,00016	0,00007
As	0,0078	0,0065	<0,0012	0,01	—	—	<0,0012	0,002
Se	0,13	0,12	<0,065	0,086	—	—	<0,0099	0,0002
Br	2	1,45	0,0084	1,3	<0,001	<0,13	0,092	0,02
Rb	0,004	0,0017	0,0093	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,00015	0,002
Sr	1,8	0,255	0,16	0,24	0,26	0,37	0,23	0,05
Y	0,00071	0,0009	<0,00009	0,0013	—	—	<0,00009	0,0007
Zr	0,0033	0,0024	0,017	0,003	—	0,022	0,018	0,0026
Nb	0,00058	0,006	—	0,00072	—	—	—	0,000001
Mo	0,0066	0,0081	<0,00064	0,091	0,01	<0,00064	<0,00064	0,001
Cd	0,0024	0,0026	—	0,0021	—	—	—	0,0002
In	0,00053	0,00053	—	0,00055	—	—	—	—
Sn	0,01	0,0093	—	0,0084	—	—	—	0,00004
Sb	0,0028	0,0047	<0,00036	0,003	<0,00036	0,00036	0,00036	0,001
Te	0,0058	0,0032	—	<0,0032	—	—	—	—
I	0,28	0,255	—	0,33	—	—	—	0,002
Cs	0,0011	0,0012	<0,0001	0,0039	—	—	<0,0001	0,00003
Ba	0,055	0,033	0,0009	0,03	0,037	—	0,17	0,03
La	0,013	0,0135	—	0,019	—	—	—	0,00005
Ce	0,0012	0,0011	—	0,0013	—	—	—	0,00008
Pr	0,000058	0,000083	—	0,0001	<0,0001	—	<0,0002	—
Nd	<0,0002	0,00045	—	0,0002	—	—	<0,0005	—
Sm	<0,00023	0,00023	—	<0,00023	—	—	—	0,000008
Eu	<0,000063	0,000063	<0,00016	<0,0001	—	0,00043	<0,00036	0,000001
Gd	<0,00019	0,000020	<0,00052	<0,00019	—	—	<0,00052	—
Tb	<0,000031	0,000036	—	—	—	—	—	0,000001
Dy	<0,00012	0,00012	—	<0,00012	—	—	—	0,000005
Ho	—	—	—	—	—	—	—	0,000001
Er	<0,0001	0,0001	—	<0,0001	—	—	—	0,000004
Tm	—	—	—	—	—	0<000089	—	0,000001
Yb	<0,00013	0,00013	—	<0,00013	<0,0004	—	<0,0004	0,000004
Lu	—	—	—	—	—	—	—	0,000001
Hf	<0,0001	0,0001	<0,0008	<0,0001	<0,0004	<0,00033	—	—
W	0,0047	0,009	0,00073	0,07000	0,016	0,0095	0,00064	0,00003
Re	<0,0001	0,0001	—	<0,0001	—	—	—	—
Os	<0,00017	0,00017	—	<0,00017	—	—	—	—
Ru	<0,00034	0,00034	—	<0,00034	—	—	—	—
Rh	0,000061	0,00006	—	<0,0001	—	—	—	—
Pd	0,00027	0,00027	—	0,00044	—	—	—	—
Ag	0,007	0,0035	—	0,014	—	—	—	0,0002
Ir	<0,0001	0,0001	—	<0,0001	—	—	—	—
Pt	<0,00015	0,00015	—	<0,00015	—	—	—	—
Au	0,00019	0,00015	—	0,00035	—	—	—	0,000002
Hg	0,0067	0,0065	—	0,0046	—	—	—	0,00007
Tl	0,0011	0,001	—	0,001	—	—	—	0,001
Pb	0,021	0,0022	—	0,023	0,066	0,2	<0,00024	0,001
Bi	0,005	0,0041	—	0,0039	—	—	—	—
Th	—	0,0001	<0,00013	0,0001	<0,00013	<0,00013	<0,00013	0,0001
U	0,0066	0,019	0,18	0,15	0,0028	0,0051	0,0074	0,0005

Примечание: Анализы выполнены методом ICP-MS в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, аналитик С.С. Шацкая.

Note: Analyzes were performed by ICP-MS at the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, analyst S.S. Shatskaya.

Источники Кара-Суг, Ажыг-Суг, Улаатай, источник по правому борту р. Чоза, так ли иначе находятся на территории проявления карбонатитовой зоны с комплексными рудными узлами Fe, Ba, Sr, F,

U, P3Э. Карбонатитовая зона простирается в субмеридиональном направлении в Центральной Туве. Район распространения позднемезозойских карбонатитов охватывает структуры Тувинского рифтогенного прогиба, Хемчикско-Систигхемского прогиба и Куртушибинской зоны Западного Саяна. Самыми известными и наиболее изученными из них являются Карасутский и Улаатай-Чозский комплексные рудные узлы Fe, Ba, Sr, F, U, P3Э. Источники Кара-Суг, Ажыг-Суг расположены на западных флангах, а Улаатай, аржаану р. Чоза – непосредственно среди рудных тел.

Минерализация воды на Улаатай – 1,80; Кара-Суг – 0,2; аржаан у р. Чоза – 1,2, а на Ажыг-Суг – 5,290 г/л. По результатам полного геохимического анализа, каких-либо аномальных содержаний редких и редкоземельных элементов в водах данных источников не обнаружено (табл. 2, 3). Фиксируются повышенные содержания по селену, более чем в 300 раз превышающие содержание в речной воде. В повышенных концентрациях фиксируются стронций, бром, йод. Содержание урана в воде из источника Улаатай составляет 0,18 мг/л. Столь повышенные концентрации урана объясняются тем, что на южном склоне хребта Танну-Ола находится Улаатай-Чозский рудный узел. Он состоит из сближенных друг к другу Тээли-Оргудыдского, Улаатайского, Северо-Чозского и Южно-Чозского полей. Эти поля карбонатитов представлены двумя основными типами – анкерит-кальцитовыми и сидеритовыми, которые встречаются как обособленно, так и совместно в составе отдельных их проявлений. Сидеритовые карбонатиты в большинстве случаев обогащены флюоритом, баритом, баритоцелестином, бастнезитом, уранинитом и представляют собой комплексные многокомпонентные руды. На источнике Улаатай роднички выходят непосредственно из-под рудных тел субширотного простирания частично и полностью окисленных урансодержащих сидеритовых карбонатитов. Торий как элемент-гидролизат не может накапливаться в водах под воздействием экзогенных процессов разрушения алюмосиликатных пород, а стремится к образованию гидроокислов и осаждению со вторичной фазой в условиях окислительной среды, что и доказывает низкое его содержание здесь.

В водах источников **Кегээн-Булак, Торгалыг (северный), Алды-Доргун, Талдыгадыр, Ангырактыг** минерализация воды колеблется от 0,218 до 0,394 г/л, отмечается концентрация тяжелых и цветных металлов, в некоторых водах их содержание превышает содержание в речной воде в несколько десятков (железа – более 53) раз. В повышенных концентрациях фиксируются стронций, селен, бром, йод. Содержание урана превышает более 300 раз содержание в речной воде на Алды-Доргун (0,15 мг/л), а в остальных – на уровне содержания в речной воде.

В районе **Дус-Дагского** месторождения каменной соли (50°42'56,8" с.ш.; 92°43'51,7" в.д.) нами исследованы подземные, крепкие рассолы хлоридного натриевого состава, приуроченные непосредственно к соленосным отложениям. Здесь разгрузка подземных вод наблюдается на северо-западном борту уступа карьера месторождения каменной соли на абсолютной отметке 1 117 м. От источника вода ручейком заполняет нижний отработанный забой, что говорит о его достаточно высоком дебите. Дус-Дагское месторождение каменной соли находится на юге Тувы в правом борту лога Кендей, на левом берегу р. Южный Торгалыг в переходной зоне от средне-низкогорного рельефа подножья южного склона хребта Западный Танну-Ола к степным и полупустынным пространствам Убсунурской котловины. Орография района месторождения представлена переходной зоной от средне-, низкогорного рельефа подножья южного склона хребта Западный Танну-Ола к степным и полупустынным пространствам Убсунурской котловины. Преобладают абсолютные высотные отметки 1 100–1 600 м над уровнем моря. В районе Дус-Дагского месторождения развиты отложения девонской системы, представленные средним и верхним отделами. Средний отдел девонской системы подразделяется на эйфельский и живетский ярусы. Отложения живетского возраста подразделяются на три свиты: ихедушингольскую, илеморовскую и уюкскую. Ихедушингольская свита составляет центральную часть Дус-Дагского месторождения и характеризуется двучленным строением: нижняя подсвита – соленосная алевро-глинистая и верхняя – песчано-алевритовая. Нижняя подсвита ихедушингольской свиты, являющаяся собственно соленосной, представлена толщей светло-зеленых, реже лиловых, бурых, серых, часто гипсоносных, аргиллизированных глин с маломощными (до первых метров) прослоями алевролитов и мелко-, тонкозернистых известковистых песчаников. Глинистая толща содержит линзу каменной соли, составляющую разведанное полезное ископаемое. Содержание в воде: йода – 1,8; стронция – 11; мышьяка – 0,083; лития – 0,71; ртути – 0,08 мг/л, выше, чем в морской; бора – 0,054; брома – 24; урана – ниже 0,002 мг/л. Вместе с тем присутствуют в пределах обнаружения золото, серебро и элементы платиновой группы.

Источник Кооп Терек, в 10 км к западу от карьера Дус-Даг (50°43'55,4" с.ш.; 92°36'52,7" в.д., на отметках 1 070 м в поле красноцветных песчано-глинистых пород среднего девона с пластами каменной соли. Еще одна точка разгрузки хлоридных натриевых соленых вод. Этот очаг разгрузки соленых вод расположен на левом берегу р. Южный Торгалыг. В.В. Зайков, Е.В. Онуфриева и В.Г. Ворончихин в 1962–1965 гг. [Зайков, Онуфриева, Ворончихин, 1965] обнаружили восемь соленых родников, которые рас-

сеиваются в гравийно-галечниковых отложениях, создают заболоченность и разгружаются в р. Южный

Торгалыг. В настоящее время – три родника со слабым дебитом, может быть, из-за засушливого лета.

Таблица 3

Геохимический состав соленых подземных рассолов Тувинского прогиба, мг/л

Table 3

Geochemical composition of salt brines of the Tuva trough, mg/l

№	Элемент	Ажыг-Суг	Родник у Сватиково	Хурегечи (средн.)	№	Элемент	Ажыг-Суг	Родник у Сватиково	Хурегечи (средн.)
1	Li	0,28	0,025	0,0102	32	Nb	6,900E-4	3,800E-4	0,00032
2	Be	0,012	<9,800E-4	<0,00025	33	Mo	0,004	0,0051	0,003
3	B	0,47	0,9200	0,07	34	Cd	0,007	0,0024	<0,000081
4	Na	98	300,0	471	35	In	7,800E-4	0,0011	0,00002
5	Mg	500	86,00	23	36	Sn	0,01	0,017	0,0047
6	Al	86	0,37	<0,000038	37	Sb	0,0031	0,0025	<0,000024
7	Si	37	16,00	0,47	38	I	0,26	0,62	0,017
8	P	4,2	2,5	<0,00053	39	Cs	0,0037	0,098	0,00014
9	S	1,2	160,0	215	40	Ba	0,031	0,043	0,043
10	Cl	210	1,4	880	41	Hf	<1,000E-4	<1,000E-4	0,00003
11	K	2,7	3,6	1,63	42	Ta	1,600E-4	<3,100E-5	0,00001
12	Ca	140	50,00	148	43	W	0,0079	0,0061	0,0003
13	Sc	0,0061	0,0026	0,00015	44	Re	4,800E-4	<8,300E-5	0,00003
14	Ti	0,0061	0,01	<0,00029	45	Hg	0,0085	0,0084	0,0001
15	V	0,0039	0,0046	<0,000021	46	Pb	0,039	0,074	<0,000008
16	Cr	0,017	0,015	0,0002	47	Bi	0,0047	0,0097	<0,000005
17	Mn	15	0,042	<0,000017	48	Th	9,700E-5	6,900E-5	0,000006
18	Fe	2,5	2,9	1,39	49	U	0,0056	0,0097	0,0025
19	Co	0,84	0,0053	0,00043	50	La	0,052	0,055	0,007
20	Ni	2,6	0,04	0,128	51	Ce	0,079	0,0032	0,0002
21	Cu	0,23	0,28	<0,000037	52	Pr	0,014	2,800E-4	<0,000005
22	Zn	1,2	0,32	<0,00012	53	Nd	0,095	7,900E-4	<0,000025
23	Ga	0,003	0,0035	0,0013	54	Sm	0,032	3,200E-4	<0,000028
24	Ge	0,013	0,003	0,0014	55	Eu	0,012	1,800E-4	0,00001
25	As	0,0064	0,0094	0,0008	56	Gd	0,056	2,300E-4	<0,000024
26	Se	0,13	0,12	0,0014	57	Tb	0,0098	<3,100E-5	<0,000004
27	Br	1,8	11,00	0,31	58	Dy	0,059	1,700E-4	<0,000015
28	Rb	0,0039	0,0013	0,0024	59	Ho	0,01	<3,100E-5	<0,000004
29	Sr	0,48	7	5,7	60	Er	0,027	<9,100E-5	0,00022
30	Y	0,29	0,0018	<0,000009	61	Tm	0,0035	<2,900E-5	<0,000004
31	Zr	0,0032	0,0023	0,0015	62	Yb	0,018	<1,300E-4	<0,000016
					63	Lu	0,0025	<2,900E-5	<0,000004

Примечание: ЭПГ, Ag, Au, In – в пределах обнаружения; HP", кроме La, Ce, – в пределах обнаружения. Анализы выполнены методом ICP-MS в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, аналитик С.С. Шацкая.

Note: PGE, Ag, Au, In – within detection; HP" except La, Ce – within detection. Analyzes were performed by ICP-MS at the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, analyst S.S. Shatskaya.

Источники Хурегечи (аржаан Хурегечи) расположен на северном склоне хр. Восточный Танну-Ола и находятся в полосе девонских отложений, где предполагается наличие пластов каменной соли, за счет выщелачивания которых могут образовываться соленые воды. Возможное наличие пластов каменной соли в данном регионе косвенно подтверждается тем, что к северу от места расположения источников Хурегечи, через небольшой хребет, в долине р. Элегест имеется обособленная горка, местные жители называют ее «Дус-Даг» (соленая гора), сложенная отложениями кендейской (?) свиты. Местность вокруг этой горы отличается множеством солончаков. Выходы родни-

ков источника Хурегечи приурочены к верховью и приустьевой части сухого распадка, впадающего по правому борту к устью р. Хурегечи, левого притока р. Элегест. Сложная тектоническая зона: тектонические контакты нижнекембрийских и девонских отложений проходят по распадку в северо-восточном и северо-западном направлениях. Первый анализ воды выполнен В.К. Соловьевым, а наиболее полное описание соленых источников в устье р. Хурегечи привел В.В. Зайков, где им было отмечено наличие 10 рассеянных выходов соленой воды с расходом отдельных струй от 0,01 до 2 л/с [Зайков, Онуфриева, Ворончихин, 1965].

Верхний Хурегечи. В верховье распадка разгрузка подземных вод происходит из мощного тектонического разлома северо-западного простирания, выполненного липкой голубоватой глиной мощностью до 6–7 м.

Родники нижней группы источника выходят на поверхность по левому борту распадка в приустьевой ее части, на границе прибрежной террасы у основании горы. Абсолютная отметка 1 249 м, координаты 51°00' 34,25" с.ш., 093°11'38,29" в.д. Здесь каптированы пять выходов подземных вод. В 2012 г. автором проведено обследование воды родника с наибольшим дебитом по сравнению с другими выходами нижней группы. В отличие от родников верхней группы здесь в анионном составе кроме хлорид-ионов существенную роль играют сульфат-ионы, в катионном составе увеличилась доля ионов кальция при уменьшении доли ионов натрия. Минерализация воды на Верхнем Хурегечи от 2,46–2,49 г/л, а на Нижнем – 3,67–3,69 г/л. Содержание лития низкое, 0,01 мг/л, урана – на уровне морской воды, 0,0031 мг/л, стронция – превышает более 6 мг/л. Выше предела обнаружения РЗЭ и элементы платиновой группы, золото и серебро. В малых количествах из высокотоксичных элементов фиксируются ртуть и селен.

Источник **Дустуг-Хем** (Шуй, 50°42'44,8" с.ш., 90°16'98" в.д.), на южном склоне хр. Шапшал. Ручей Дустуг-Хем (соленая река) является правым притоком р. Шуй, выходы подземных вод находятся в 3 км от устья ручья. Источник разгружается на высоте 1 520 м над уровнем моря. Разгрузка подземных вод в данной точке находится на Аянгаты-Шуйском сбросо-сдвиговом хвосте северного обрамления Тувинского прогиба, что подтверждает наличие глубинного компонента гелия в пробе воды в концен-

трациях $155\text{--}265 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{см}^3 \text{ H}_2\text{O}$ [Дучков и др., 2010]. Соленосный состав подземных вод вероятно, за счет девонского соленосного горизонта. В составе воды лития – 0,35 мг/л, урана – 0,0151, мышьяка – 0,14, стронция – 1,25 мг/л. Из благородных металлов серебро – 0,0002 мг/л из разряда высокотоксичных – селен – 0,04036 мг/л.

Скважина Тос-Булак. По трассе М-54 по правой стороне при движении в сторону Эрзина в 9 км от Кызыла пробурена скважина на левом берегу ручья Тос-Булак. Отмечается низкое содержание лития в воде: 0,021 мг/л, при этом концентрация урана (0,014 мг/л) превышает концентрацию в морской воде в 4 раза; бора – 0,51; брома – 3,1; стронция – 3,3; йода – 1,1. Кроме того, в пределах обнаружения метода фиксируются РЗЭ, элементы платиновой группы, золото и серебро. Из высокотоксичных отмечаются ртуть 0,0065 и селен 0,1 мг/л соответственно.

Источники Кундус (Бобры). Множество выходов подземных вод находится на правом берегу Енисея в 2 км от нижнего моста. Содержание лития и урана ниже, чем на Тосбулаке: 0,011 и 0,0079 мг/л соответственно. Концентрация бора, брома, йода, стронция на порядок ниже, чем на Тосбулаке. Присутствуют РЗЭ, элементы платиновой группы, золото, серебро, селен, ртуть выше порога чувствительности метода.

Родники на западном и восточном берегах оз. Сватиково (Дус-Хол) и состав подземных вод из скважины хозяйственно-питьевого назначения. Неоднократное опробование этих объектов показало определенную стабильность состава вод и подверженность грунтовых вод процессам континентального засоления. Содержаниями лития – 0,021, урана – 0,0097–0,0156 мг/л.

Таблица 4

Литий, уран в водах и донных осадках минерализованных озер и подземных рассолов на территории Центральной Тувы

Table 1

Lithium, uranium in waters and bottom sediments of mineralized lakes and underground brines in the territory of Central Tuva

Озеро	Минерализация, г/л	рН	Концентрация в воде, в мг/л		Концентрация в донных осадках, г/т	
			литий	уран	литий	уран
Оз е р а						
Хадын	9,46	9,46	0,116	0,073	8	1,92
Сватиково (Дус-Хол)	107–249	7,96	0,122	0,0524	5,1	9
Грязнуха (Каък-Хол)	654,740	7,10	0,038	0,023	15,5	3,84
Чедер	67,180	9,10	0,140	0,092	17,8	3,8
Хаак-Хол	8,559	9,25	0,06	0,068	0,0012	0,0003
Белое	5,007	8,73	0,13	0,0081	0,0019	0,0038
Аржаан	0,893	9,77	0,02	0,0028	0,0094	0,0076
Кислое	2,2810	6	0,019	0,0029	0,0099	0,0010
Безымянное	1,380	7,75	0,016	0,0022	0,01	0,007
Со л е н ы е и с т о ч н и к и						
Родик восточнее оз. Сватиково	2,366	7,81	0,025	0,01	–	–

Озеро	Минерализация, г/л	pH	Концентрация в воде, в мг/л		Концентрация в донных осадках, г/т	
			литий	уран	литий	уран
Хурегечи нижний	3,672–3,690	7,74	0,01	0,0031	–	–
Хурегечи верхний	2,453–2,490	7,97	0,01	0,0031	–	–
Ажыг-Суг	5,279	7,34	0,28	0,0066	–	–
Тосбулак	1,738	7,48	0,021	0,0014	–	–
Кундус	0,590	7,97	0,011	0,008	–	–
Дустуг-Хем	4,374	8,33	0,35	0,0151	–	–
Дус-Даг	314,257	6,33	0,71	0,019	–	–
Пресноводные источники						
Скважина у оз. Хаак	1,378	7,61	0,037	0,024	–	–
Кара-Суг	0,76	8,0	0,0054	0,0051	–	–
Торгалыг (северный)	0,67	8,09	0,0094	0,0028	–	–
Алды-Доргун	0,255	8,1	0,36	0,15	–	–
Талдыгадыр	0,394	7,92	0,044	0,0066	–	–
Ангырактыг	0,216	7,90	0,035	0,02	–	–
Улаатай	1,80–2,0	4,5–6	0,057	0,18	–	–
Кегээн-Булак	0,4–0,5	5,7	0,0042	0,0074	–	–
Сенек	0,56	6,0	0,037	0,017	–	–

Турано-Уюкская котловина. Ложе котловины представлено отложениями таксыл-ачатоольской свиты ордовик–нижнего силура: красноцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты, и отложениями кендейской свиты нижнего девона: основные, средние и кислые эффузивы.

Оз. Белое находится в 13 км от г. Турана к юго-западу. Абсолютная отметка 830 м, берега заросшие камышом, пологие и заболоченные, глубина небольшая. Донные отложения представлены тонким илом, мощность колеблется от 0,2 до 1,2 м, с запахом сероводорода. Минерализация воды – 5,007 г/л, химический тип – сульфатно-хлоридно-натриевый.

Оз. Аржаан. К юго-востоку в 1,5–2 км от с. Аржаан расположено маленькое озеро условно нами названо так. Озеро мелкое (0,2–0,6 м), пресноводное, гуляет скот. Общая площадь не более 0,81 км². Минерализация воды – 0,893 г/л, пресная, химический тип – карбонатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевый.

К северо-востоку от этих озер находятся оз. Кислое и несколько озерков и солончаков. Доступ к последним очень сложный из-за заболоченности берегов, а на солончаке слой воды над иловым материалом до 5 см, ил глубиной 0,6–1,4 м, жидкий, топкий.

На оз. **Кислое** минерализация воды от 2,650 на глубине 0,3 м и до 2,971 г/л на глубине 1,45 м. На соседнем озере без названия минерализация около 1,380 г/л. Химический тип воды гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый, как на оз. Кислое. В целом концентрация микрокомпонентов в воде и донных осадках намного беднее, чем в озерах Тувинской котловины. Содержание лития в этих озерах колеблется от 0,016 до 0,13 мг/л, т.е. ниже содержания в морской воде; урана – от 0,0022 до 0,0081 мг/л. В донных осадках лития еще меньше, чем в озерной воде, уран на уровне содержания в морской воде или

превышает до 2 раз. Содержание мышьяка в воде превышает содержание в морской воде от 2 до 4 раз, содержание брома – 0,61–6,3 мг/л; йода – 0,05–1,1; бора – 0,062–0,8 мг/л.

Обсуждение

В Центральной Туве особенности геологической структуры в сочетании с другими факторами могли быть более благоприятными для накопления промышленно значимых концентраций полезных компонентов (в том числе лития, урана). Вместе с тем, по результатам анализов, концентрация лития в подземных водах не достигает промышленных содержаний. Концентрирование микроэлементов в подземных водах контролируется исключительно извлечением их из горных пород при выщелачивании. Другие источники вещества отсутствуют. К примеру, уран при благоприятных гидрогеохимических условиях накапливается в подземных водах и вне районов его месторождения. В озерах Западной Монголии источником урана выступают мезозойские рифтовые дайковые комплексы с сульфосольной минерализацией. Бикарбонат, карбонат ионов в подземных водах при взаимодействии с этой породой приводит к образованию карбонатных комплексов уранила [Исупов и др., 2012]. Разгрузка подземных вод непосредственно в озера приводит к накоплению соединений урана в озерной воде.

Исследованные нами источники содержат повышенные концентрации урана (0,031–0,18 мг/л), превышающие среднюю его концентрацию в морской (океанической) воде (0,003 мг/л). Исключением является источник Тосбулак, где урана 0,001 мг/л. В этой связи несомненный интерес вызывает проведение поисково-оценочных работ в подземных и поверхностных водах

на предмет обнаружения урана. Особенно в тех подземных водах, которые находятся по северному обрамлению Тувинского прогиба и расположены в ареале распространения карбонатитовых тел с комплексным оруденением на Fe, Ba, Sr, F, U, PЗЭ и гранитного батолита сутхольского комплекса. В них содержание урана достигает до 0,18 мг/л. Различные живые организмы, в том числе и человек, обладают огромной адаптивной силой, способны приспосабливаться к превышающим или, наоборот, ниже пороговых значений концентрациям. Вероятно, в этой связи активные пользователи подземными водами не получают ощутимых отрицательных реакций даже при наличии высокоток-

сичных элементов. Подземные воды обогащены не только редкими и редкоземельными элементами, также в них присутствуют, в пределах обнаружения выбранного метода анализа, элементы платиновой группы, золото и серебро.

Автор признательна С.С. Шацкой за выполнение геохимических исследований методом ICP-MS. Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий: рудогенерирующий потенциал, новые технологии комплексной переработки, экологическая безопасность» № 110.

ЛИТЕРАТУРА

- Блюменфельд А.О. Курортные богатства Тувы. Кызыл : Тувин. книжн. изд-во, 1960. 68 с.
- Богородицкий К.Ф., Валединский В.И. Гидроминеральные ресурсы (Тувинской АО) // Природные условия Тувинской АО : труды Тувинской комплексной экспедиции СОПС. М., 1957. Вып. 3. С. 12–16.
- ГОСТ Р 54316–2011. Воды минерализованные природные питьевые. Общие технические условия. Введ. 2012–07–01. 41 с.
- Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Ойду Ч.К., Аракчаа К.Д., Рычкова К.М., Хвасцевская А.А., Аюнова О.Д. Формирование химического состава подземных соленых и рассольных вод Тувинского прогиба и его обрамления // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 2. С. 172–182.
- Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Каменский И.Л., Соколова Л.С. Оценки потока по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 2. С. 264–275.
- Зайков В.В., Онуфриева Е.В., Ворончихин В.Г. Отчет о результатах работ поисково-оценочного отряда на калийные соли за 1962 г.
- Исупов В.П., Ариунбилэг С., Разворотнева Л.И., Ляхов Н.З., Шварцев С.Л., Владимиров А.Г., Колпакова М.Н., Шацкая С.С., Чупахина Л.Э., Мороз Е.Н., Куйбида Л.В. Геохимическая модель накопления урана в озере Шаазгай-Нуур (Северо-Западная Монголия) // Доклады академии наук. 2012. Т. 447, № 6. С. 658–663.
- Лепешков И.Н., Соловьев В.К., Смирнова Н.Н. К физико-химической характеристике соляных озер Тувы // Известия сектора физико-химического анализа. 1956. Т. XXVII. С. 84–85.
- Меткин В.А. и др. Окончательный отчет Шарасурской ГСП за 1961–1963 гг. (Материалы к геологической карте Союза ССР м-ба 1:200 000).
- Пиннекер Е.В. Минеральные воды Тувы. Кызыл : Тувин. книж. изд-во, 1968. 105 с.
- Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М. : Недра, 1970. 488 с.
- Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. М. : Недра, 1990. 335 с.
- Сугорокова А.М., Ойду Ч.К. Краткий очерк геологического строения и металлогении Тувы на основе современных данных. Кызыл : Изд-во Тувикопр СО РАН, 2010. С. 3–7.
- Сугорокова А.М., Ярмолук В.В., Лебедев В.И. Кайнозойский вулканизм Тувы. Кызыл : Тувикопр СО РАН, 2003. 92 с.
- Фисенко Н.А. и др. Подземные воды листов М-46-XVII, М-46-XVIII, XXIV. (Окончательный отчет Тесхемской партии по результатам проведения гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 на площади листов М-46-XVII, М-46-XVIII/XXIV за 1980–1984).

Автор:

Ойду Чойганмаа Кыргысовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геодинамики, магматизма и рудообразования, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия. E-mail: oydup_ch@mail.ru

Geosphere Research, 2018, 3, 22–33. DOI: 10.17223/25421379/8/2

Ch.K. Oydup

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia

LITHIUM URANIUM MINERALIZATION OF SALT LAKES AND UNDERGROUND SOURCES OF CENTRAL TUVA

Salted lakes and mineralized groundwater are the object of increased interest and intensive study as a source of cost-effective extraction of not only traditional products used for needs (sodium chloride, sodium bicarbonate, sodium sulphate), but also other useful components: lithium, bromine, potassium, boron compounds, magnesium, uranium, etc. Economic interest in hydromineral raw materials as a source of minerals is determined by the fact that, in comparison with conventional mining technologies, expensive stages of mining and quarrying, crushing rocks, pre-concentrating and subsequent transfer of components into the solution are excluded. Stocks of valua-

ble components, for example lithium, are estimated in hundreds and more thousands of tons in the salars of South America (Chile, Bolivia, Argentina), as well as in the saline lakes of China.

Bottomless mineralized lakes and solonchaks within Tuva are located mainly on the territory of the Ubsunur, Tuva, Turan-Uyuk basins. Specialized works on the presence of hydromineral resources in these objects have not been conducted previously. At present, new instrumentation and methodological possibilities for analyzing waters and bottom sediments create favorable conditions for a detailed study of their material composition.

In this connection, a study was carried out to study the multicomponent composition of saline lakes, mineralized underground brines in this area with the financial support of the integration project "Hydromineral Resources of Siberia and Neighboring Territories: Ore-generating Potential, New Technologies for Complex Processing, Environmental Safety" No. 110, the results discussed in this work.

The concentration of lithium in water studied by us in the lakes and underground brines of Central Tuva does not exceed the background contents (at the level of the lakes of Southern Siberia) (0.0042–0.71 mg/l). At the same time, an increased uranium content in water (0.07–0.092 ppm), in bottom sediments (1.92–9 ppm) of saline lakes and in freshwater subterranean brines (0.003–0.18 mg/l), exceeding the average concentration of its marine (oceanic) water (0.003 mg/l). If we consider that the technology of extracting uranium from water is possible when its content in water is 0.003 mg/l (from sea water), then concentrations of more than one dozen deserve attention.

In addition to uranium, anomalies are noted for other valuable components, boron, bromine, iodine, strontium. From the number of toxic elements arsenic, selenium, mercury are present, their participation in the biological process and the impact on living organisms should still be investigated.

Keywords: *hydromineral resources, geochemistry, deflection, saline horizon, depression, microcomponents, mineralization, underground brine, arzaans.*

References

- Blumenfeld A.O. *Kurortnyye bogatstva Tuvy* [Resort riches of Tuva]. Kyzyl :Tuv. Book. Ed., 1960. 68 p. In Russian
- Bogoroditsky K.F., Valedinsky V.I. *Gidromineral'nyy resursy (Tuvinskoy AO)* [Hydromineral resources of Tuva autonomous region]. In the book "Natural conditions of the Tuva AO" / Tr. Tuvinsk. complex. expedition SOPS, v. 3. Ed. AN SSSR, Moscow, 1957. pp. 12–16. In Russian
- GOST R 54316–2011. *Vody mineralizovannyye prirodnyye pit'yevyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. Vved. 2012–07–01* [Mineralized natural drinking water. General technical conditions. Enter 2012–07–01]. 41 p. In Russian
- Guseva N.V., Kopylova Yu.G., Oidup Ch.K., Aracchaa K.D., Rychkova K.M., Khvashchevskaya A.A., Ayunova O.D. Formation of the chemical composition of brackish and brine groundwater in the tuva depression and surrounding areas // Russian Geology and Geophysics. № 2. pp. 135–143
- Duchkov A.D., Rychkova K.M., Lebedev V.I., Kamenskii I.L., Sokolova L.S. Estimation of heat flow in tuva from data on helium isotopes in thermal mineral springs // Russian Geology and Geophysics. 2010. № 2, pp. 209–219.
- Saykov V. V., Onuphrieva E.V., Voronchichin V.G. *Otchet o resultatax rabot poiskovo-osnochnogo otryda na kaliynye soli. 1963–1965gg.* [Report on the results of the search and appraisal detachment of potash salts for 1962]. In Russian
- Isupov V.P., Ariunbileg S., Razvorotneva L.I., Lyakhov N.Z., Shvartsev S.L., Vladimirov A.G., Kolpakova M.N., Shatskaya S.S., Chupakhina L.E., Moroz E.N., Kuybida L.V. *Geokhimicheskaya model' nakopleniya urana v ozere SHaazgayNuur (Severo-Zapadnaya Mongoliya)* [Geochemical model of uranium accumulation in Lake ShaaazgayNuur (North-West Mongolia)] // Doklady Earth Sciences. 2012. T. 447. №6. pp. 658–663. In Russian
- Lepeshkov IN, Soloviev VK, Smirnova N.N. *K fiziko-khimicheskoy kharakteristike solyanykh ozer Tuvy* [To the physico-chemical characteristics of the salt lakes of Tuva] / Izv. sects. fiz-him. analysis, v. XXVII, 1956. In Russian
- Metkin V.A. *Oconchatel'nyy otchet Sharasurscoy GCP sa 1961–1963.* (Materialy k geologicheskoy karte USSR mashtab: 1: 200 000). In Russian
- Pinneker E.V. *Mineralnyye vody Tuvy* [Mineral waters of Tuva] / Tuva. Izd., Kyzyl, 1968, 105 p. In Russian
- Reznikov AA, Mulikovskaya EP, Sokolov I. Yu. *Metody analiza prirodnykh vod* [Methods of Natural Water Analysis]. Moscow: Nedra, 1970. 488 p. In Russian
- Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopayemykh* [Handbook of geochemical mineral prospecting] / A.P. Solovov, A.Ya. Arkhipov, V.A. Bugrov and others. Moscow: Nedra, 1990. 335 p. In Russian
- Sugorakova A.M., Oidup Ch.K. *Kratkiy ocherk geologicheskogo stroeniya i metallogenii Tuvy na osnove sovremennykh dannykh* [A brief sketch of the geological structure and metallogeny of Tuva on the basis of modern data] / Kyzyl: Publishing house of TuVI-KOPR of the SB RAS. 2010. pp. 3–7. In Russian
- Sugorakova A.M., Yarmolyuk V.V., Lebedev V.I. *Kaynozoy'skiy vulkanizm Tuvy* [Cenozoic volcanism of Tuva]. Kyzyl: TuVIKOPR of the SB RAS. 2003. 92 p. In Russian
- Fisenko N.A. *Podzemnyye vody listov M-46-XVII, M-46-XVIII, XXIV. (Oconchatel'nyy otchet Teskhemscoy partii po rezul'tatam provedeniya gidrogeologicheskoy s'yemki m-bv 1:200000 na ploshchadi listov M-46-XVII, M-46- XVIII/XXIV za 1980–1984f.)* [Underground waters of sheets M-46-XVII, M-46-XVIII, XXIV. (oconchatel'nyy otchet Teshemscoy partii po rezultatam gidrogeologicheskoy semci mb. 1: 200000 na ploshchadi listov M-46-XVII, M-46- XVIII / XXIV for 1980–1984)]. In Russian

Author:

Oydup Choiganmaa K., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geodynamics, Magmatism and Ore Formation, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: oydup_ch@mail.ru