

УДК 551.481.1

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-3(89-97)

А.М. ПЛЮСНИН*, ******, **Е.Г. ПЕРЯЗЕВА***, **М.К. ЧЕРНЯВСКИЙ***, **Д.И. ЖАМБАЛОВА***,
Р.Ц. БУДАЕВ*, **Н.А. АНГАХАЕВА***

*Геологический институт СО РАН, 670000, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия, plusnin@ginst.ru, peryazeva75@mail.ru, mitchel@ginst.ru, dachima@mail.ru, budrin@ginst.ru, ms.angakhaeva@mail.ru

**Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
670013, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в, стр. 1, Россия, plusnin@ginst.ru

ГЕНЕЗИС ВОДЫ И РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ СОДОВЫХ ОЗЕР НИЖНЕГО КУЙТУНА БАРГУЗИНСКОЙ ВПАДИНЫ

Рассмотрены условия формирования ресурсов и химического состава минеральных озер, приуроченных к уникальному природному образованию Баргузинской межгорной впадины — Нижнему куйтуну. Представлены результаты изучения строения поверхности этого песчаного массива. Показано, что его формирование связано с особенностями тектонического развития Баргузинской впадины. Отмечается, что блок пород, слагающий Нижний куйтун, разбит тектоническими разломами на несколько мелких частей, и это оказало определяющее влияние на его современный облик. Рассматриваемые озера располагаются в северной части Нижнего куйтуна в урочище Нухе-Нур, в хорошо выраженной в рельефе бессточной котловине. Образование этой котловины произошло на стадии вздымания блока пород, когда интенсивно раздробленные породы, расположенные на пересечении разломов, отставали в вертикальном движении. В сформировавшуюся котловину происходит сток поверхностных и подземных вод, которые дренируют осадочные отложения Нижнего куйтуна. Приведены данные, доказывающие, что озера располагаются в воронках вымывания песчано-глинистых отложений. На основе количественного определения химического состава воды и газов доказано, что в формировании ресурсов и химического состава вод озер, расположенных в урочище Нухе-Нур, главную роль играют инфильтрационные воды песчаных отложений Нижнего куйтуна и азотные трещинно-жильные воды. Предложена гидролого-гидрогеологическая модель формирования ресурсов рассматриваемых озер. В засушливый период, когда количество вод, инфильтрующихся через песчаные отложения Нижнего куйтуна, уменьшается, доля глубинных трещинно-жильных вод становится выше, поэтому в озерах возрастает минерализация воды, растет содержание фтора, натрия, вольфрама, молибдена. Во влажные годы вклад дренажных вод в формирование ресурсов озера увеличивается, и концентрация этих элементов снижается.

Ключевые слова: рифт, песчаная толща, тектонические разломы, инфильтрационные и трещинно-жильные воды, химический состав воды и газов.

A.M. PLYUSNIN*, ******, **E.G. PERYAZEVA***, **M.K. CHERNYAVSKI***, **D.I. ZHAMBALOVA***,
R.Ts. BUDAEV*, **N.A. ANGAKHAEVA***

*Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
670000, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 6a, Russia, plusnin@ginst.ru, peryazeva75@mail.ru, mitchel@ginst.ru,
dachima@mail.ru, budrin@ginst.ru, ms.angarkhaeva@mail.ru

**East Siberian State University of Technology and Management,
670013, Ulan-Ude, ul. Klyuchevskaya, 40v, str. 1, Russia, plusnin@ginst.ru

GENESIS OF WATER AND DISSOLVED MATTER IN SODA LAKES OF NIZHNII KUITUN OF THE BARGUZIN DEPRESSION

We examine the formation conditions for the resources and chemical composition of mineral lakes located in the vicinities to the unique natural site of the Barguzin intermontane depression, Nizhnii Kuitun. Presented are the results from studying the surface structure of this sand massif. It is shown that its formation is associated with peculiar features in the tectonic development of the Barguzin depression. It is pointed out that the block of rocks forming Nizhnii Kuitun is broken up by tectonic faults into several smaller parts, and this had a determining impact on its modern appearance. The lakes under study are situated in the northern part of Nizhnii Kuitun, in the Nukhe Nur urochishche, in the topographically clearly pronounced drainless depression. The formation of this depression occurred during the uplifting stage of the block of rocks when intensively fragmented rocks, located at the interface of the faults, lagged behind in vertical movement. The depression receives the runoff of surface and

underground waters which drain sedimentary deposits of Nizhnii Kuitun. Data are provided to demonstrate that the lakes are situated in the ablation funnels of sand-clay sediments. On the basis of a quantitative determination of the chemical composition of water and gases, it is proved that seepage waters of sandy sediments of Nizhnii Kuitun and nitrogenous fissure-vein waters play the main role in the formation of resources and chemical composition of the lake water in the area of the Nukhe-Nur urochishche. The hydrological-hydrogeological model of the formation of the lakes under study is suggested. In a dry period when the amount of water infiltrating through the sand deposits of Nizhnii Kuitun decreases, the proportion of deep fissure-vein waters increases; therefore, water mineralization increases in the lakes as well as fluorine, sodium, tungsten and molybdenum contents. In wet years, the contribution of drainage waters to the formation of the lake's resources increases, and the concentration of these elements decreases.

Keywords: rift, sand stratum, tectonic fault, seepage and fissure-vein waters, chemical composition of water and gases.

ВВЕДЕНИЕ

В средней части Баргузинской впадины (Бурятия) находятся три содовых озера, вызывающих интерес у нескольких поколений исследователей. Эти водоемы связаны с песчаным образованием,



Рис. 1. Космоснимок Нижнего куйтуна, расположенного в Баргузинской впадине.

Озера: 1 — Саган-Нур, 2 — Нухе-Нур северное, 3 — Нухе-Нур южное.

которое получило название Нижний куйтун. Два минеральных озера расположены внутри куйтуна — в котловине урочища Нухе-Нур, третье (оз. Саган-Нур) — на его окраине, в долины р. Аргада (рис. 1). Соотношение между площадью водосбора и площадью озер очень маленькое: для озер в урочище Нухе-Нур оно составляет 3,5, а для оз. Саган-Нур — 3. Несмотря на небольшую площадь водосбора, озера существуют длительное время и не пересыхают в засушливые годы. Это может быть связано с тем, что их питание в основном происходит за счет разгрузки подземных вод и только частично за счет атмосферных осадков и поверхностного стока. Вероятно, оз. Саган-Нур в паводки получает питание из р. Аргады. Расход воды озер происходит путем испарения, вымораживания и подземного стока. В работе приведены результаты исследования геолого-тектонического расположения котловин озер, химического состава воды и свободных газов, выделяющихся из донных отложений. На основании полученных материалов исследования выдвинута новая гипотеза образования котловин озер и объяснены особенности формирования химического состава заключенной в них воды.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Нами применен комплекс методов, включающий полевые наблюдения, камеральную обработку фотографических материалов, лабораторные исследования образцов проб воды и газа. Для установления геоморфологических особенностей территории и выявления простирающихся разрывных нарушений применено дешифрирование аэро- и космоснимков. Результаты измерения вынесены на космоснимок, что позволило сопоставить места размещения озер с данными дешифрирования, в том числе с простирающимися разрывных нарушений и расположением массивов песков, не закрепленных растительностью. Химический состав воды исследованных водоемов определен с помощью сертифицированных методик на современном аналитическом оборудовании — масс-спектрометрах ICP MS Element-2 и Element-XR — в центрах коллективного пользования Института геохимии СО РАН и Геологического института СО РАН. Состав свободных газов, выделяющихся из донных отложений озер, определен газохроматографическим методом на хроматографе «Хромос GX-1000» в химико-аналитической лаборатории ООО «ПГК «Сибгеоком»».

Геолого-тектоническое строение. По современным представлениям, Баргузинская впадина входит в Байкальскую рифтовую зону, возникшую в кайнозойский этап тектономагматической активизации. Мощность осадочных пород достигает 2–2,5 км [1]. Впадина состоит из блоков пород, которые испытывают неравномерные вертикальные движения. Выделяются четыре котловины, разделенные седловидными перемычками, над которыми осадочный чехол уменьшается до 600–700 м. В северо-западной части Баргузинской впадины происходит интенсивное погружение блоков пород в пределах ответвления Главного Байкальского сброса. Здесь Ю.А. Зориным [1] выделены два параллельных сброса, расположенных друг от друга на расстоянии 2–4 км. Амплитуда сбросов достигает 1500 м. Юго-восточная сторона впадины образована прогибом земной коры, который разорван рядом второстепенных сбросов [2]. В этом месте преобладают пологие изгибы кристаллического ложа. Амплитуды сбросов здесь не превышают первых сотен метров, и эти разломы мало влияют на общую картину плавного изменения мощности отложений.

В современную эпоху впадина испытывает интенсивные тектонические опускания. Участки новейших опусканий во внутреннем поле впадины выделяются заболоченными низинами. Основными геоморфологическими элементами являются пойма и надпойменные террасы, предгорные шлейфы и конусы выноса, аллювиально-пролювиальная равнина и террасоувалы. Пойма образует обширную озерно-аллювиальную равнину центрального поля впадины и фрагментарно прослеживается по долинам притоков р. Баргузин. Пойменная равнина изрезана многочисленными старицами, сетью рукавов и протоков, занята множеством различных по происхождению озер, термокарстовыми воронками, блюдцами, заболоченными низинами [3]. Осевая часть впадины занята поймой р. Баргузин. Ширина поймы колеблется от 5 км в центральной части, где располагаются Верхний и Нижний куйтуны, до 26 км в южной части впадины. Расширения характеризуются множеством протоков и озер, которые являются затопленными частями пойменной равнины. Эти признаки говорят о медленном погружении дна впадины либо о поднятии междувпадинных перемычек. Сужения поймы связаны с неравными осадочными препятствиями, каковыми являются куйтуны. Они представляют собой супесчаные и суглинистые холмы значительных размеров среди заболоченной долины. Размеры Нижнего куйтуна: ширина — от 14 до 20 км, длина — 20 км; Верхнего — ширина от 5 км на юге до 16 км на севере, длина — до 36 км. Оба куйтуна, особенно Нижний, оттесняют русло р. Баргузин к Баргузинскому хребту.

В геологической литературе куйтуны интерпретируются по-разному: как антиклинальные поднятия, подобные Академическому хребту Байкала [2], криогенные образования [4], террасы р. Баргузин и бывшего Баргузинского озера [5], флювиогляциальные отложения или эоловые наносы [6]. В.П. Исаев [7] описывает куйтуны как поле распространения грязевулканических потоков глины и песка, засыпавших все болота и оттеснивших реку Баргузин к Баргузинскому хребту. Котловина, в которой располагаются озера урочища Нухе-Нур, этим автором интерпретируется как кратер «грязевого» вулкана.

По мнению С.К. Кривоногова [8], Баргузинская впадина была областью эолового осадконакопления. В позднем плейстоцене накопилось несколько генераций эоловых отложений, которые и слагают куйтуны. За этот период происходило неоднократное перевевание песков, из-за чего между накопившимися пачками наблюдаются стратиграфические несогласия. По [8], слои, залегающие на глубине, показывают более сложную обстановку осадконакопления. В песках эолового ряда есть прослойки, отражающие участие в их образовании воды, а вблизи гор — участие склоновых процессов.

В последние 10–15 лет получены новые геофизические данные о глубинном строении Баргузинской впадины, позволяющие по-другому интерпретировать имеющуюся геологическую информацию о строении куйтунов. Так, по данным геоэлектрического зондирования Баргузинской впадины, куйтуны соответствуют блокам пород, немного приподнятым относительно прогибов фундамента [9]. В настоящее время высота подъема поверхности холма Нижнего куйтуна относительно русла р. Баргузин составляет 130 м. Вероятно, с учетом процессов эрозии, эту величину можно считать наименьшей высотой подъема блока пород, слагающих куйтун.

Основная масса песчаной толщи Нижнего куйтуна имеет преимущественно озерно-речной генезис. Накопление песков происходило в значительной степени в доледниковое время, так как спорово-пыльцевой анализ показывает, что в период образования куйтуна климат был умеренно теплым [10]. Мощность осадков четвертичного возраста — более 500 м, они представлены галечниками, песками, супесями, суглинками, глинами [5, 6, 11].

На территории Баргузинской впадины распространена островная многолетняя мерзлота. В юго-западной части впадины острова мерзлоты находятся в пойме и на низких террасах, мощность мерзлых пород — от 6 до 30 м [4]. В северо-восточной части мощность многолетнемерзлых пород возрастает.



Рис. 2. Система разрывных нарушений, проходящих через Нижний куйтун.

I–VIII — разрывные нарушения.

тает до 100 м и более. В районе куйтунов многолетняя мерзлота залегает на глубине 150 м от поверхности, мощность ее достигает 200–300 м. Эта глубокозалегающая мерзлота имеет островной характер [12]. Под руслами рек, заложенных по разрывным нарушениям, располагаются сквозные талики [13].

Широкое распространение открытых глубокозалегающих разломов — характерная черта района исследований. Ранее нами вкрест простирания Баргузинской впадины проводилось измерение содержания радона в почвенном воздухе [14]. Профиль протяженностью 35 км был заложен вдоль автомобильной дороги — от с. Сахули до с. Могойто и далее до с. Аргада. Проведено измерение радона в 142 точках наблюдения.

Содержание его в почвенном воздухе колеблется от 0,21 до 7,65 Бк/(м²·мин), в среднем 1,42 Бк/(м²·мин). Наиболее высокое содержание этого радиоактивного газа в почвенном воздухе фиксируется в долинах рек Баргузин и Аргады, что вполне согласуется с тезисом о заложении их русел по разрывным нарушениям и образованию здесь сквозных таликов. Однако, как показали измерения, и в центральной части впадины наблюдаются аномальные концентрации радона. Это, на наш взгляд, связано с тем, что хорошо проницаемые разрывные нарушения на территории Баргузинской впадины многочисленны, в их пределах располагаются талые породы, и по ним происходит миграция газов и воды из глубокозалегающих горизонтов.

На рис. 2 приведена сеть разрывных нарушений, которую нам удалось выделить по аэро- и космоснимкам на этом участке Баргузинской впадины. Разломы, вероятно, сформировались на ранней стадии образования впадины, но многие из них остаются активными до настоящего времени. По некоторым из них заложены русла рек, ручьев, временных водотоков. При вздымании блока пород, на котором располагается Нижний куйтун, эти разломы, очевидно, уже существовали. Естественно, что в этот период произошла их активизация, связанная с неравномерным вертикальным движением отдельных частей вздымающегося блока. По-видимому, наиболее раздробленная сейсмическими подвижками часть блока коренных пород, ограниченная разрывными нарушениями II, IV, V, VI (см. рис. 2), вздымалась медленнее. Поскольку при общей тенденции к вздыманию пород происходило обрушение раздробленного глыбового материала, то уже на этой стадии образовалась впадина в северной части Нижнего куйтуна.

Геолого-геоморфологическая характеристика котловины озер Нухе-Нур. Нижний куйтун представляет собой огромный совершенно безлесый песчаный холм, который резко, в виде ступени высотой 20–30 м возвышается над окружающей местностью (см. рис. 1). На поверхности куйтуна отмечается большое количество чередующихся валов, западин, холмиков и ям размером в десятки и сотни метров. Абсолютные отметки поверхности Нижнего куйтуна составляют 605–606 м над ур. моря. В северной части куйтуна имеется глубокая бессточная котловина, вытянутая в северо-восточном направлении, в которой располагаются два озера — Нухе-Нур южное и Нухе-Нур северное. Абсолютная отметка поверхности воды, определенная по космоснимкам в программе Google Earth Pro, для оз. Нухе-Нур южное составляет 485 м, северное — 487 м. Перемычка между озерами имеет абсолютные отметки поверхности 489–491 м. В самой северной части куйтуна находится оз. Саган-Нур, его водная поверхность расположена на высоте 483 м. Котловина этого озера отделена от урочища Нухе-Нур поднятием с абсолютными высотами 500–501 м. Река Аргада в районе оз. Саган-Нур имеет отметку 483 м, а р. Баргузин в устье р. Аргады — 481 м.

Из приведенных данных абсолютных высот расположения основных геоморфологических элементов Нижнего куйтуна можно заключить, что котловина урочища Нухе-Нур в настоящее время погружена относительно основного тела куйтуна на 120 м. Наиболее низкие места в этой котловине по абсолютным отметкам сопоставимы с высотами, на которых располагаются водотоки, определяющие базис эрозии в этом районе.

На момент обследования урочища Нухе-Нур, проведенного нами в августе 2014 г., южное и северное озера не сообщались между собой. Южное озеро имеет хорошо выраженную котловину. В юго-западной части она представляет собой заовраженную, вытянутую в юго-западном направлении узкую долину, сформированную временным водотоком. Днище этой долины выстлано тонкими заиленными песками с прослоями глины, дно сложено плотным суглинком. Перемыывающиеся временным водотоком пески по размерности соответствуют эоловым образованиям. В борту долины временного водотока, примыкающей к озерной котловине с юга, сформированы крутые откосы. В размытых водотоках образованиях наблюдается слоистость. Сверху залегают гумусовый горизонт мощностью 25 см, под ним горизонт супесей мощностью 5 см, затем горизонт коричневого цвета с растительными остатками мощностью 60 см и далее горизонт глинистых отложений. На западном обрывистом берегу озера нами выполнено описание рыхлых отложений, проявляющихся в обнажении. Сверху находится горизонт отложений, обогащенный гумусом мощностью 40–50 см, затем следует толща слежавшихся песчано-глинистых отложений мощностью до 6 м. В нижней части разреза, у уреза воды озера, располагаются гумусированные глинистые образования. На западном берегу нами обнаружена микрокотловина размывания глубиной 3–4 м и шириной 10–15 м с узким выходом к озеру. Дно котловины ровное, покрытое растительностью. В этом месте происходит разгрузка грунтовых вод в озеро по напластованиям глин. Северо-восточная часть озерной котловины имеет низкие берега со следами размыва текучей водой. В котловине южного озера происходит накопление рыхлых отложений, которые вымываются из тела куйтуна и сносятся временными водотоками с окружающей территории.

Озеро Нухе-Нур северное имеет крутые берега, сформированные в результате абразионной деятельности волн в многоводный период. На момент обследования вода находилась на значительном удалении от обрывистого берега. Озеро округлой формы, значительно меньше южного по размерам и глубине. Следов разгрузки грунтовых вод не выявлено, береговая полоса ровная, без воронок, промоин, оврагов, которые обычно формируются текучей водой. Вероятно, ресурсы этого озера в основном формируются в многоводный период за счет перетекания воды из южного озера через разделяющую озеро седловину.

Котловина оз. Саган-Нур имеет полуовальную форму, в юго-западном направлении она врезается в тело куйтуна. Юго-западный и западный берега этого озера обрывистые, сложены осадочными отложениями куйтуна, имеются следы их размывания временными водотоками. В этой части озеро получает питание за счет грунтовых вод, которые формируют ресурсы в северо-западной части Нижнего куйтуна. Юго-восточный и восточный берега заболочены. Здесь происходит разгрузка вод из озера подземным стоком в р. Аргаду.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1–3 представлен химический состав воды озер, определенный нами в пробах, взятых в 2010 и в 2014 гг. Наиболее высокая минерализация воды наблюдалась в 2014 г. для озер Нухе-Нур южного и Саган-Нур. Для оз. Нухе-Нур северного минерализация воды в оба года обследования была примерно на одном уровне. Из результатов анализа макрокомпонентного состава видно, что химиче-

Таблица 1

Макрокомпонентный состав вод озер, мг/л

Озеро	Год	Макрокомпонент									pH	Общая минерализация
		Na + K	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	F	Cl	NO ₃		
Нухе-Нур южное	2010	1355,1	9,0	39,5	2288	390	48	58,5	283,6	0,84	8,52	4481
	2014	7416,0	38,1	8,5	10 068	2460	740	411,6	1453,7	1,74	10,0	22 608
Нухе-Нур северное	2010	4506,4	38,1	5,5	6114	1770	469	63,6	921,7	0,38	8,9	13 894
	2014	3765,7	10,0	55,9	4393	1170	240	638,7	680,7	3,22	10,1	10 963
Саган-Нур	2010	64,8	23,0	9,1	237,9	15,0	0,2	4,1	5,7	0,7	9,5	371
	2014	258,0	28,1	14,6	628,5	6,0	0,6	57,2	12,7	1,59	8,6	1013

Таблица 2

Содержание редких щелочных, щелочноземельных элементов и бора, мкг/л

Озеро	Год	Элемент					
		Li	Rb	Cs	Sr	Ba	B
Нухе-Нур южное	2010	8,31	8,79	0,360	472,27	77,49	1425,6
	2014	10,24	4,28	0,04	142,98	54,52	388,9
Нухе-Нур северное	2010	10,27	8,28	0,164	309,81	99,68	715,3
	2014	5,07	3,47	0,02	366,11	32,89	1449,0
Саган-Нур	2010	5,71	2,12	0,037	368,57	29,41	28,7
	2014	4,14	0,74	0,03	244,32	23,67	31,0

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов, мкг/л

Озеро	Год	Элемент										
		V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	W	Pb	U
Нухе-Нур южное	2010	13,1	3,4	1,1	3,1	13,5	15,8	49,0	0,29	190,2	1,4	91,9
	2014	5,2	1,6	0,1	3,1	27,1	—	20,2	0,27	169,2	5,0	61,9
Нухе-Нур северное	2010	35,9	4,9	2,1	6,1	11,1	18,1	73,2	0,28	47,8	2,4	13,4
	2014	32,9	2,1	0,6	4,5	7,14	0,25	127,0	0,65	67,7	1,6	18,2
Саган-Нур	2010	1,9	0,7	0,5	2,1	2,37	16,0	4,03	0,08	0,4	1,3	0,72
	2014	1,7	0,4	0,2	1,2	2,01	9,23	2,65	0,01	1,9	0,4	0,64

Примечание. Прочерк — не определялось.

ский состав озер подвержен существенным изменениям (см. табл. 1–3). Особенно это заметно для озер Нухе-Нур южного и Саган-Нур. В них наблюдается значительная изменчивость содержания гидрокарбоната, хлорида, фторида (см. табл. 1). Концентрации гидрокарбонат-иона и карбонат-иона превышают содержание других анионов. Суммарное содержание гидрокарбоната и карбоната в озерах за все годы наблюдения превышает 65 ммоль%. Из других анионов наибольшими концентрациями выделяется хлорид. Обращает на себя внимание очень высокое содержание фторида, сопоставимое с концентрацией хлорида. Из катионов в растворе доминирует натрий, содержание которого в озерах, установленное в оба года обследования, более 80 ммоль%. По классификации О.А. Алёкина [15], вода в рассматриваемых озерах относится к содовому типу [15]. Озера урочища Нухе-Нур характеризуются очень высокой концентрацией в воде бора. Содержание стронция относительно стабильно в водах оз. Нухе-Нур северного и подвержено значительным колебаниям в пробах, проанализированных в разные годы, для озер Нухе-Нур южного и Саган-Нур (см. табл. 2).

Из тяжелых металлов относительно высоким содержанием выделяются вольфрам и молибден сопоставимым с их концентрацией в термальных водах рассматриваемого района [16]. Обнаружено также повышенное содержание урана (см. табл. 3).

Имеются значительные различия в составе свободного газа, выделяющегося из донных отложений озер (табл. 4). Озеро Нухе-Нур южное характеризуется преобладанием в газовом составе азота, в северном озере и Саган-Нуре преобладает метан. Котловина южного озера характеризуется повышенным

Таблица 4

Состав свободного газа, выделяющегося из донных отложений озер, об. %

Озеро	Газ									
	CO ₂	He10 ⁻⁴	H ₂ 10 ⁻⁴	O ₂	N ₂	CH ₄	n-C ₄ H ₁₀ 10 ⁻⁷	i-C ₅ H ₁₂ 10 ⁻⁶	n-C ₅ H ₁₂ 10 ⁻⁶	C ₆ H ₁₄ 10 ⁻⁶
Нухе-Нур южное (восточный берег)	0,03	855	24,7	1,16	90,54	7,44	67	0,92	9,52	2,75
Нухе-Нур южное (западный берег)	0,01	618	0,93	1,78	74,07	23,33	0,0	0,89	2,06	2,92
Нухе-Нур северное	0,00	11,3	20,8	0,85	43,42	55	142	53,0	4,34	2,64
Саган-Нур	2,42	26,1	25,7	1,2	37,79	57,84	1140	0,00	185,0	3,0

потоком гелия, концентрация которого в воде озера сопоставима с таковой в азотных термальных водах, разгружающихся в этом районе [17]. Для озер Саган-Нур и Нухе-Нур северного в свободно выделяющемся газе также обнаружены относительно повышенные концентрации тяжелых углеводородов.

Полученные результаты исследования позволяют предположить, что формирование ресурсов и химического состава вод рассматриваемых озер в значительной степени связано со сложившейся тектонической обстановкой в районе, в частности с вздыманием Нижнего куйтуна и образованием на этой территории открытых разрывных нарушений.

На формирование ресурсов воды, заключенной в озерах, значительное влияние оказывает песчаная толща куйтуна. Оно проявляется в сборе атмосферных осадков, выпадающих на всей площади залегания песков, переводе их в подземный сток и транспортировании к месту разгрузки. Песчаная толща куйтуна неоднородна по проницаемости для воды. Имеются слои хорошо проницаемых песков, которые сменяются слоями глины. Над активными разломами в результате тектонических движений при вздымании блока произошло нарушение слоистости осадочных пород. Пески в этих местах стали более проницаемыми для воды по сравнению с песками, залегающими над монолитными блоками. В толще с нарушенной слоистостью залегания песков сформировался сосредоточенный сток инфильтрующихся с поверхности атмосферных и поверхностных вод. Основной объем подземного стока, вероятно из-за наклона блоков коренных пород, ориентирован в северном направлении, преимущественно в урочище Нухе-Нур и в сторону котловины оз. Саган-Нур. Под воздействием этого потока воды произошла деградация многолетней мерзлоты, из песчаной толщи стали вымываться частицы глины и песка. В результате этого на склонах песчаной толщи сформировались воронки вымывания. По такому механизму происходит врезание котловины оз. Саган-Нур в песчаную толщу Нижнего куйтуна. Мощность промываемой водой песчаной толщи постепенно возрастала и достигла современного базиса эрозии. В настоящее время время выпадающие над Нижним куйтуном атмосферные осадки проходят через толщу песков до уровня размещения озер и питают их в виде потока грунтовых вод, привнося химические элементы, выщелачиваемые из песков. Наиболее яркий представитель этой группы элементов — уран.

С другой стороны, на этой территории имеется большое количество открытых разрывных нарушений, к которым приурочены трещинно-жильные воды. Разгрузка этих вод может происходить не только на границе гидрогеологических массивов и межгорной впадины, где расположены известные источники азотных термальных вод этого района (Аллинский, Кучегерский, Сеюйский и др.), но и в центральной части впадины, что продемонстрировано выше на примере распределения содержания радона в почвенном воздухе. Наиболее вероятными местами разгрузки трещинно-жильных вод могут быть понижения рельефа, связанные с руслами рек и котловинами озер. Такая закономерность разгрузки трещинно-жильных вод является общей для Байкальской рифтовой зоны, что было показано ранее для побережья оз. Байкал [14].

Рассматриваемые озера располагаются на выявленных нами разноориентированных разломах и в местах их пересечения и сочленения, где может происходить разгрузка трещинно-жильных вод. Вероятно, в месте пересечения разрывных нарушений IV, V и VI (см. рис. 2) сформировалась хорошо проницаемая зона, по которой происходит разгрузка азотных термальных вод, придающих специфический облик воде оз. Нухе-Нур южного и газовым эманациям в этом месте. С ними связаны высокие концентрации фтора, бора, вольфрама, азота, гелия и др. На рис. 3

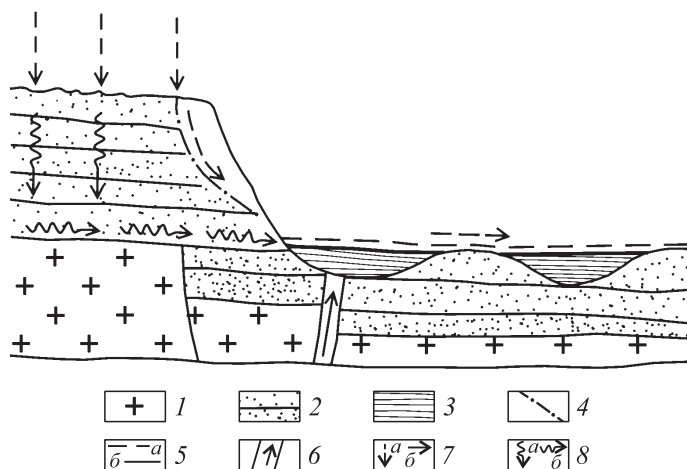


Рис. 3. Схема формирования ресурсов поверхностных вод урочища Нухе-Нур.

1 — коренные породы; 2 — песчано-глинистые отложения Нижнего куйтуна; 3 — заключенная в озерах вода; 4 — поверхность промоин на склонах; 5 — уровень воды в озерах (a — в многоводный период, б — в засушливый); 6 — поток трещинно-жильных вод; 7 — движение атмосферных (a) и поверхностных (b) вод; 8 — движение инфильтрационных (a) и грунтовых (b) вод в толще песков.

приведена схема функционирования системы поверхностных и подземных вод урочища Нухе-Нур. В засушливый период вклад глубинных трещинно-жильных вод в формирование ресурсов поверхностных вод возрастает, поэтому повышается минерализация воды, растут концентрации фтора, натрия, вольфрама и молибдена. Во влажные годы в формировании ресурсов озера большую роль играют дренажные воды, и концентрация этих элементов падает. Ресурсы оз. Нухе-Нур северного формируются в многоводный период года, когда из южного озера начинает поступать вода по соединяющему их каналу. В обоих озерах происходит концентрирование веществ за счет испарения и вымораживания воды.

Удаление молекул растворителя приводит к росту минерализации воды и насыщению ее относительно труднорастворимых соединений — глин, карбонатов. Как показано в [18], все озерные содовые воды в Забайкалье достигают равновесия относительно кальцита и магнезита. В силу этого мы наблюдаем низкие концентрации кальция и магния в озерных водах.

Озеро Нухе-Нур северное имеет более стабильный химический состав воды, так как, в отличие от южного озера, не подвергается воздействию глубинных трещинно-жильных вод и на него в меньшей степени воздействуют маломинерализованные дренажные воды Нижнего куйтуна. На оз. Саган-Нур определяющее влияние оказывают подрусловые воды р. Аргады, часть химических веществ поступает с дренажными водами из песчаных отложений куйтуна. В озере установился застойный режим, интенсивно развивается биота. Состав свободных газов, выделяющихся из донных отложений, обусловлен процессами разложения органического вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены особенности геологического и геоморфологического строения уникального природного образования Баргузинской впадины — песчаного массива Нижний куйтун. Показано, что в его образовании определяющую роль играли особенности тектонического развития Баргузинской впадины. В результате вздымания блока коренных пород, слагающих впадину, песчаные отложения стали подвергаться интенсивному дренированию атмосферными и поверхностными водами. Вследствие этого произошла деградация многолетней мерзлоты, сформировались воронки вымывания, в которых накапливались дренажные воды. Ранее сформированные тектонические нарушения были активизированы, на пересечении разрывных нарушений образовались проницаемые для газов и воды зоны, по которым к поверхности стали поступать термальные воды.

Рассмотрена новая модель функционирования природной гидролого-гидрогеологической системы в бессточном урочище Нухе-Нур Нижнего куйтуна Баргузинской впадины. Показано, что водные ресурсы озер в основном формируются в результате сосредоточенного стока инфильтрующихся через песчаные отложения атмосферных осадков, которые собираются со значительной части Нижнего куйтуна. В оз. Нухе-Нур южное по глубоко залегающим разрывным нарушениям разгружаются азотные термальные воды, которые придают специфический геохимический облик этому озеру. В результате активно протекающих процессов испарения и вымораживания происходит концентрирование растворов и трансформация химического состава воды озер по содовому направлению.

Урочище Нухе-Нур с расположенными в нем минеральными озерами представляет собой объект, обладающий большой эстетической ценностью и имеющий перспективы использования в рекреационных и оздоровительных целях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (0340–2016–0006) и Российского фонда фундаментальных исследований (18–45–030003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорин Ю.А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. — М.: Наука, 1971. — 168 с.
2. Ламакин В.В. Неотектоника Байкальской впадины // Труды Геол. ин-та АН СССР. — М.: Наука, 1968. — Вып. 187. — 248 с.
3. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Ломоносов И.С. Гидрогеология Прибайкалья. — М.: Наука, 1968. — 172 с.
4. Лещиков Ф.Н., Зарубин Н.Е. Мерзлые породы и мерзлотные процессы Баргузинской впадины и ее горного обрамления // Изв. Забайк. филиала ГО СССР. — 1968. — Т. 4, вып. 1. — С. 63–71.

5. **Логачёв Н.А.** Саяно-Байкальское становое нагорье // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. — М.: Наука, 1974. — С. 16–162.
6. **Флоренсов Н.А.** Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. — 237 с.
7. **Исаев В.П., Исаев П.В.** Перспективы нефтегазоносности межгорных впадин Бурятии // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 12. — С. 32–37.
8. **Кривоногов С.К.** Осадконакопление во впадинах рифтовой зоны в позднем плейстоцене и голоцене: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН, 2010. — 32 с.
9. **Эпов М.И., Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.** Геоэлектрическая модель Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. — 2007. — Т. 48, № 7. — С. 811–829.
10. **Базаров Д.Б.** Кайнозой Прибайкалья и Западного Забайкалья. — Новосибирск: Наука, 1986. — 182 с.
11. **Адушинов А.А.** Гидрогеологические и гидрологические условия Баргузинской впадины в связи с мелиорацией земель // Гидрогеологические проблемы мелиорации земель Бурятии: Труды Геол. ин-та. — Улан-Удэ: Изд-во Бурят. филиала СО АН СССР, 1976. — Вып. 6 (14). — С. 36–59.
12. **Булмасов А.П.** Структура и аномалии силы тяжести криогенного происхождения // Геология и геофизика. — 1963. — № 2. — С. 75–85.
13. **Замана Л.В.** Мерзлотно-гидрогеологические и мелиоративные условия Баргузинской впадины. — Новосибирск: Наука, 1988. — 126 с.
14. **Плюснин А.М., Астахов Н.Е., Перязева Е.Г.** Радон в поверхностных и подземных водах Забайкалья: условия и закономерности растворения: Материалы III Междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». — Томск, 2009. — С. 444–448.
15. **Алёкин О.А.** Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 443 с.
16. **Плюснин А.М., Чернявский М.К., Посохов В.Ф.** Условия формирования гидротерм Баргузинского Прибайкалья по данным микроэлементного и изотопного состава // Геохимия. — 2008. — № 10. — С. 1063–1072.
17. **Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К.** Гидрогеохимические особенности состава азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54, № 5. — С. 647–664.
18. **Борзенко С.В.** Геохимия соленых озер Восточного Забайкалья: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Томск, 2018. — 42 с.

Поступила в редакцию 10.10.2018

После доработки 17.05.2019

Принята к публикации 24.03.2020