

УДК 551.481.1

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-4(105-114)

Е.Г. ПЕРЯЗЕВА, А.М. ПЛЮСНИН, Д.И. ЖАМБАЛОВА

Геологический институт Сибирского отделения РАН, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия,
peryazeva75@mail.ru, plusnin@ginst.ru, dachima@mail.ru

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД МЕЖДУРЕЧЬЯ РЕК ОЛОКИТА И ХОЛОДНОЙ (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Исследованная территория располагается на водоразделе поверхностного стока в озеро Байкал и реку Витим. Показано, что в условиях гольцовых и тундровых ландшафтов значительная часть выпадающих атмосферных осадков (700–800 мм/год) стекает по поверхности (более 70 %). На формирование речной сети, густота которой составляет 0,8 км/км², большое влияние оказали разрывная тектоника и горно-долинное оледенение. В районе имеется несколько озер ледникового происхождения, в которых заключены значительные запасы чистой воды. Долины всех крупных рек заложены по разрывным нарушениям, которые хорошо выделяются в рельефе и активны до настоящего времени. Река Холодная, русло которой заложено по глубинному разлому, исполняет роль региональной естественной дренажной системы. По ней осуществляется основной сток поверхностных и подземных вод с этой территории. В условиях интенсивного водообмена в районе формируются маломинерализованные воды гидрокарбонатного кальциевого состава. В местах расположения карбонатных пород наблюдается локальный рост минерализации речных и озерных вод, которая может достигать 100 мг/л. Холоднинское полиметаллическое месторождение оказывает влияние на формирование микроэлементного состава озер Аэлита, Авкитское, Метеоритное. Повышенные содержания цинка наблюдаются в реках Холодной, Тые, Гасан-Дяките. На примере озера Аэлита показано, что микроэлементы поступают в поверхностные воды путем разгрузки минерализованных трещинно-жильных вод.

Ключевые слова: гольцовые и тундровые ландшафты, пресные поверхностные воды, разломы, микроэлементы, редкоземельные элементы.

E.G. PERYAZEVA, A.M. PLYUSNIN, D.I. ZHAMBALOVA

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

HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFACE WATER FORMATION IN THE OLOKIT–KHOLODNAYA INTERFLUVE AREA (NORTHERN CISBAIKALIA)

The study area is located on the watershed of the surface runoff into Lake Baikal and the Vitim river. It has been shown that in the settings of goletz tundra landscapes a considerable proportion of atmospheric precipitation (700–800 mm/year) flows down the surface (more than 70 %). Fault tectonics and mountain-valley glaciation have had a dramatic effect on the formation of the river network whose degree of channelization is 0.8 km/km². The area has several lakes of glacial origin which contain considerable reserves of clean water. The valleys of all large rivers are located on faults which are well distinguishable in the relief and have been active to date. The Kholodnaya river whose channel runs on a deep fault serves as the regional natural drainage system. The runoff of surface and subsurface water from this territory enters largely the river. The low-mineralized water of hydrocarbonate calcium composition is due to an intense water exchange. We can notice the high level of lake and river water mineralization. The places where carbonate rocks are located show a local increase in mineralization of river and lake water which can reach 100 mg/L. The Kholodnaya polymetallic deposit influences the formation of the trace element composition of the Aelita, Avkitskoe, Meteoritnoe lakes. Increased zinc content is observed in the Kholodnaya, Tyaa and Gasan-Dyakit rivers. A case study of Lake Aelita showed that trace elements enter the surface water due to drainage of fissure-vein water.

Keywords: goletz and tundra landscapes, fresh surface water, faults, trace elements, rare earth elements.

ВВЕДЕНИЕ

Междуречье рек Олоkit и Холодной располагается в северо-восточной части Республики Бурятия, в пределах распространения высокогорных гольцовых и тундровых ландшафтов. Несмотря на значи-

тельную удаленность от крупных промышленных и культурных центров, эта территория относительно легкодоступна. В районе длительное время производилась разведка Холоднинского полиметаллического месторождения, в связи с чем была создана сеть автомобильных дорог. Месторождение расположено в Центральной экологической зоне оз. Байкал и по существующим законам РФ не может быть вовлечено в хозяйственную деятельность, поэтому для развития территории необходимо искать другие направления. В районе имеется ряд уникальных природных объектов и при соответствующем информационном обеспечении здесь может быть организован экологический туризм. В данной статье приведены результаты исследования водных объектов, расположенных на этой территории.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

Исследуемая территория располагается на водоразделе бассейнов оз. Байкал и р. Витим. Наиболее высокие абсолютные отметки связаны с Сыннырским хребтом, где голец Иняптук достигает отметки 2514 м. Блок пород, слагающий этот хребет, разделяет две зоны разломов, протягивающихся в северо-восточном направлении, с которыми связаны известные месторождения и проявления рудной минерализации. Эти разрывные нарушения участвуют в современном рельефообразовании, по ним происходили подвижки в плейстоцене, с ними связаны поверхностное разрывообразование, провалы грунта и другие признаки сейсмической активности [1]. Разломы открыты для проникновения атмосферных осадков и, несомненно, оказывают влияние на формирование ресурсов и химический состав подземных и поверхностных вод.

Холоднинская зона разломов имеет протяжение в 350 км, прослеживается от мыса Котельниковский на Байкале, через нижнюю часть долины р. Тьи, верховье рек Холодной и Чаи до низовьев р. Конкудеры [2]. В бассейнах рек Холодной, Чаи и Майгунды эта зона разломов контролирует размещение Холоднинской межгорной впадины, выполненной конгломератами, песчаниками и алевролитами. Протяженность впадины 20 км, ширина 12 км. В пределах впадины широко распространены ледниковые отложения. Во впадине имеются многочисленные изолированные от поймы р. Холодной микрокотловины, в которые заключены озера. Наиболее крупные из них — Номама, Асектамур, Баир и Аэлита. В пределах Холоднинской зоны разломов находятся озера Авкитское и Метеоритное, которые связаны с тектоническими процессами, протекавшими при формировании одноименного месторождения, и располагаются, соответственно, на его юго-западном и северо-восточном флангах (рис. 1).

Олокитская зона разломов протягивается вдоль долин рек Тьи и Олокит, протяженность до 250 км, ширина в среднем течении р. Олокит достигает 3 км. В бассейне реки Тьи к Олокитской зоне разломов приурочены вытянутые вдоль нее тела основных и ультраосновных пород, в частности, Йоко-Довыренский габбро-перидотитовый массив [3, 4]. Блоковые движения в пределах массива сопровождались внедрением щелочных и нефелиновых сиенитов, образовавших Северо-Байкальскую щелочную провинцию [5]. По Олокитской зоне разломов заложены долины р. Олокит, которая течет в северо-восточном направлении, и р. Ондоко, текущей в юго-западном направлении. В пределах Олокитской зоны разломов располагается оз. Иняптукское.

Наиболее крупная разрывная структура района — это Холоднинский разлом (рис. 2, I). Он наиболее глубокий и протяженный в районе; зона разлома представлена серией параллельных кулисообразных и ветвящихся сместителей, разделяющих блоки интенсивно дислоцированных и милонитизированных пород. На Холоднинском месторождении разлом ограничивает с юга блок пород авкитской свиты, подстилающих рудовмещающую толщу. С северо-запада этот блок ограничивается Авкитским разломом (см. рис. 2, II), который прослеживается вдоль юго-восточного фланга рудного поля, играя роль южного ограничителя продуктивной толщи пород. Авкитский разлом, как и расположенные севернее от него Центральный (см. рис. 2, III) и Тыйский (см. рис. 2, IV), представляет собой структуру второго порядка по отношению к Холоднинскому глубинному разлому. Он отходит от последнего в месте изгиба северо-восточного простирания на восток-северо-восточное, оперяя его в плане, и прослеживается далее на юго-запад до сочленения с Тья-Мамским разломом.

Авкитский разлом представляет собой крупную структуру глубокого заложения со значительной амплитудой смещения. В центральной части рудного поля разлом простирается на северо-восток. На северо-восточном фланге рудного поля он дугообразно изгибается к северу. Его зона имеет мощность 70–140 м и представлена серией сместителей, выполненных интенсивно дробленными и перемьятыми известняками, доломитами, гранат-кварцево-двуслюдяными сланцами. Разлом открыт для проникновения атмосферных и поверхностных вод. Из него в разведочные штольни, пройденные на месторождении, поступают высокоминерализованные воды.



Рис. 1. Космоснимок территории Олокиит-Холоднинского междуречья.

1 — поверхностные водотоки; 2 — озера; 3 — территория размещения объектов природно-техногенной системы Холоднинского месторождения; 4 — границы Холоднинской межгорной впадины.

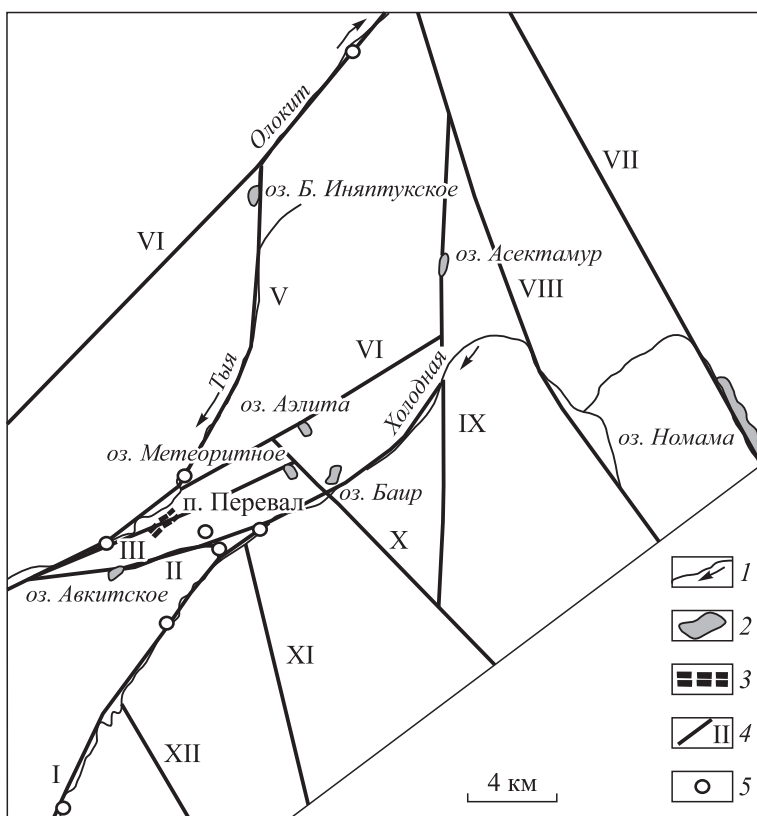


Рис. 2. Схема расположения активных разрывных нарушений, выявленных по аэрокосмоснимкам, с места опробования поверхностных вод.

1 — направление течения водотоков; 2 — места расположения озер; 3 — поселок геологов; 4 — разрывные нарушения, выявленные при дешифрировании космоснимков (I — Холоднинский, II — Авкитский, III — Центральный, IV — Тыйский, V—XII — безымянные разломы); 5 — места опробования поверхностных вод.

Центральный разлом прослеживается через все рудное поле с юго-запада на северо-восток в его средней части, разделяя поля выходов пород верхней (кварцитовый) и нижней (черносланцевой) подсвиты ондоксской свиты. Он представлен широкой зоной интенсивного смятия, метаморфизма и метасоматоза, достигающей местами ширины 200–300 м. Простирается разлома северо-восточное 60–70°, падение крутое (70–80°) на северо-запад. В его зоне широкое развитие имеют метасоматиты, порфиробластовые породы и прожилковая галенит-сфалеритовая минерализация.

Тыйский разлом ограничивает рудное поле с северо-запада. По нему породы рудного поля, метаморфизованные в эпидот-амфиболитовой фации, контактируют со слабометаморфизованными черносланцевыми терригенно-карбонатными породами ондоксской свиты. Повышенный метаморфизм блока пород рудного поля объясняется его межразломным положением и интенсивной дислоцированностью вблизи зоны Холоднинского глубинного разлома. Тыйский разлом имеет северо-восточное простирание, близкое к Авкитскому и Центральному, но падает, по данным геофизических исследований, на юго-восток под углом 75–90°. Мощность полосы интенсивного дробления и смятия пород в зоне разлома достигает 100 м. Вдоль зоны разлома в Тыйской зоне пород ондоксской свиты прослеживается серия интрузивных тел габбро-диабазов. На северо-восточном фланге рудного поля Тыйский разлом сближается с Авкитским и Центральным и причленяется к Холоднинскому глубинному. На западе, на выклинивании рудного поля, отмеченные разломы также сливаются и продолжаются в виде единой структуры на сочленении с Тья-Мамским разломом.

Помимо главных разрывных нарушений в пределах рудного поля развиты продольные разрывные нарушения более мелкого масштаба. Большинство из них имеет взбросовый характер с вздыманием северо-западных блоков по отношению к юго-восточным. В плане они почти параллельны основным разломам или сочленяются с ними под острыми углами. В пределах рудного поля также отмечаются поперечные нарушения северо-западного и северо-восточного простирания. Наиболее часто они отмечаются в северной части рудного поля, в полосе развития пород верхней (кварцитовый) подсвиты ондоксской свиты. В пределах собственно рудных участков, сложенных породами черносланцевой подсвиты, они встречаются реже, имеют крутые углы падения, сколовый характер и небольшие углы смещения. По времени образования они наиболее поздние. Поперечные разломы фиксируются в обнажениях зонами трещиноватости, сопровождаемыми зеркалами скольжения и глиной трения [6].

Территория характеризуется сплошным и прерывистым распространением многолетней мерзлоты. Ею занята значительная площадь района, мощность мерзлоты составляет 10–200 м. Наиболее широко криолитозона распространена в высокогорной части хребтов и в пределах днищ межгорных впадин. В осевой части хребтов температура мерзлых пород составляет –8 °С, в глубоко врезанных долинах рек и межгорных впадинах она близка к 0 °С. Участки склонов горных хребтов, предгорные шельфы с конусами выноса обычно лишены мерзлых пород. Многолетнемерзлые породы во многих местах чередуются с подрусовыми и пойменными таликами [7]. Для поверхностных водотоков и водоемов многолетнемерзлые породы часто являются водоупорами. В пределах открытых глубоко проникающих разрывных нарушений сформированы талики, по которым происходит разгрузка трещинно-жильных вод в поверхностные водотоки и водоемы.

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Основной источник питания поверхностных и подземных вод всех типов в районе — это атмосферные осадки (700–800 мм/год), 80–90 % которых выпадает в теплый период года. В гидрологическом отношении район характеризуется высоким коэффициентом поверхностного стока (более 70 %), густота речной сети 0,8 км/км² [8]. Распределение стока внутри года неравномерное. По характеру водного режима все реки данного района относятся к типу с четко выраженным весенне-летним половодьем, дождевыми паводками в теплую часть года, летне-осенней и зимней меженью. Максимальные расходы воды наблюдаются в июне–июле. Многие реки, даже с небольшими площадями водосборов, в зимний период не промерзают.

Река Холодная имеет хорошо врезанную долину с крутыми берегами, которая исполняет в рассматриваемом районе роль региональной естественной дренажной системы, так как располагается на наиболее низких абсолютных отметках. Русло реки заложено по Холоднинскому глубинному разлому. Уклон водной поверхности на рассматриваемом участке достигает 10–12 м/км, вода даже в межень движется с большой скоростью, поэтому русло реки сложено крупноглыбовым материалом. В питание реки в межень большой вклад вносят трещинно-жильные воды, разгрузка которых происходит с обоих берегов и непосредственно в русло реки, в связи с чем зимой на многих участках во льду образуются полыньи.

Река Тья в верхнем течении имеет слабо врезанную широкую долину, в которой распространены тундровые ландшафты. Уклон водной поверхности составляет 2 м/км, русло сложено песчаными и илистыми отложениями. Берега реки во многих местах заболочены.

В северо-восточной части рассматриваемой территории располагается долина р. Олокит. Русло реки выработано в пределах интенсивно раздробленных пород Тыйского разлома. Сток воды осуществляется в сторону р. Витим. В верховье река широко растекается по долине, местами сформировано несколько рукавов. Уклон водной поверхности составляет 5 м/км. В русле сформировано несколько осередков. Водность реки сильно меняется по сезонам года. Водосборная площадь расположена в пределах гольцовых ландшафтов, поэтому при выпадении атмосферных осадков быстро формируется паводковый сток. Аллювиальные отложения водотока представлены валунами, гравием, галькой. В долине реки за счет разгрузки трещинно-жильных вод в зимнее время формируется наледь площадью более 5 км². В этом месте валунно-галечные отложения покрыты слоем оксидов железа.

Озеро Асектамур (56°19'50,30" с. ш., 110°07'19,13" в. д.) расположено в хорошо выраженной котловине, вытянутой в северо-северо-восточном направлении в пределах локального разлома, опояривающего Холоднинский разлом. Высота над уровнем моря равна 1224 м, длина озера составляет 1 км, ширина — 0,4 км, глубина — до 9 м. Берега озера заболочены, дно каменистое, на берегах во многих местах обнаружены валуны интрузивных пород. Западный берег крутой, сложен отложениями ледниковой морены. В озере заключены слабоминерализованные воды: содержание сульфат-иона равно 3,6 мг/л, нитрат-иона — 0,29, фосфат-иона — 0,01 мг/л, рН 7,29.

Озеро Номама (56°17'50,30" с. ш., 110°15'39,69" в. д., h = 1296 м над ур. моря) расположено в пределах хорошо выраженного разлома северо-западного направления. С юга, востока и запада оно ограждено крутыми скалистыми берегами. Осыпи горных пород достигают береговой полосы. Озеро имеет вытянутую форму, его длина составляет 6 км, ширина — 300 м, глубина, по оценкам местных жителей, более 100 м. В северной части из озера вытекает речка, которая прорезает делювиальные, пролювиальные и ледниковые отложения мощностью 70–80 м. Берега сложены слабо окатанными глыбами сланцев, гранитов, которые представляют собой элювиальные отложения. В озере заключены маломинерализованные воды: содержание сульфат-иона равно 3,3 мг/л, нитрат-иона — 0,49, фосфат-иона — <0,01 мг/л, рН 6,95.

Авкитское озеро (56°12'41,50' с. ш., 109°46'54,29" в. д., h = 1136 м над ур. моря) расположено на выположенном водоразделе рек Тьи и Холодной в пределах одноименного разлома, имеет форму чуть вытянутого в широтном направлении пятиугольника. Ширина его составляет 300 м, длина — 400 м. Берега озера сложены крупными глыбами сланцев. Северный и южный берега крутые, западный и восточный — заболоченные.

Озеро Иняптукское (56°27'07,44" с. ш., 110°01'05,94" в. д., h = 1317 м над ур. моря) расположено в приводораздельной части на северо-восточной оконечности Довыренского массива. Длина озера 800 м, ширина — 400 м, берега сложены сланцами. С запада в озеро впадают два ручья с небольшим дебитом. В северо-восточной части из водоема вытекает ручей, который впадает в р. Олокит. Образование озера связано с тектоническими подвижками по разлому, разделяющему Довыренский массив и Ондокскую впадину. Разлом представляет собой взброс, в рельефе он выражается уступами в 2–3 м и резким перепадом высот на 150–200 м. Озеро образовалось на пересечении этого разлома с разрывным нарушением северо-западного направления, по которому заложена долина р. Олокит в верхнем течении.

Озеро Баир (56°15'24,39" с. ш., 109°56'13,56" в. д., h = 1125 м над ур. моря) расположено в долине р. Холодной, но отделено от нее хребтиком высотой 200 м. Озеро имеет ледниково-тектоническое происхождение, сложено неотсортированным окатанным материалом. Расположено в пределах развития Тыйского разлома, вытянуто в направлении его простираения. В западной части водоема в понижении рельефа сформировано болото.

Озеро Аэлита (56°16'13,81" с. ш., 109°56'17,88" в. д., h = 1050 м над ур. моря) расположено в долине р. Холодной. Его образование может быть связано с Холоднинским или Авкитским разломами, поскольку озеро так же вытянуто — в северо-восточном направлении. Максимальная ширина водоема 500 м, длина — 1000 м. Вблизи берега фиксируются окатанные глыбы различных пород, берег заболоченный, мощность торфа достигает 0,5 м и более, имеются бугры мерзлотного пучения. Дно заилено. Это озеро имеет, вероятно, ледниково-тектоническое происхождение.

Озеро Метеоритное (56°15'32,63" с. ш., 109°53'59,77" в. д., h = 1371 м над ур. моря) расположено в 1170 м от южной оконечности оз. Аэлита на водоразделе рек Холодной и Тьи. Озерная котловина имеет размеры 150 × 100 м. Длина озера 70 м, ширина — 30 м, глубина — 0,5 м, площадь водной по-

верхности меняется по сезонам года. Дно сложено неокатанными обломками сланцев. На окраине озерной котловины имеются мерзлотные медальоны глинистых отложений с галькой по краям. На берегу найден валун шаровидной формы диаметром 25–30 см, поэтому мы назвали это безымянное озеро Метеоритным. Питание этого водоема, вероятно, происходит за счет атмосферных осадков и таяния снега. Водоупором служит многолетняя мерзлота.

В табл. 1 и 2 представлен макрокомпонентный состав изученных водных объектов.

Для всех обследованных водных объектов характерна очень малая минерализация. Общая минерализация речных вод составляет 66–118 мг/л, озерных — 20–110 мг/л. В анионном составе преобладает гидрокарбонат, в катионном — кальций. Заметный рост минерализации воды для отдельных водотоков и водоемов, вероятно, связан с растворением карбонатных пород. Относительно повышенные содержания фторид-иона в р. Холодной и руч. Авкитском указывают на воздействие трещинно-жильных вод, поступающих из разломов, по которым заложены их русла.

Таблица 1

Макрокомпонентный состав поверхностных водотоков Северного Прибайкалья, мг/л

Место опробования	Компонент										pH	Общая минерализация
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ²⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ SiO ₃		
р. Холодная	3,65	12,02	0,62	44,23	0,83	2,13	0,12	0,05	0,02	5,0	6,9	66,73
р. Тья (выше поселка)	0,64	22,04	4,01	76,27	3,84	4,25	0,05	1,64	0,17	9,18	7,91	118,78
руч. Авкитский	4,82	19,04	3,67	73,20	5,00	5,85	0,11	0,53	0,42	7,34	7,34	117,23
р. Олоkit	3,45	18,04	4,86	74,73	7,29	2,48	0,05	0,13	0,02	5,16	8,3	114,21
руч. Пьяный ключ	4,97	7,01	3,16	29,29	6,04	5,67	0,05	5,43	0,25	12,68	7,17	70,00
руч. Гасан-Дьяkit	12,15	5,31	1,58	15,86	7,88	4,25	0,05	25,0	0,22	8,74	6,77	77,94
Среднее	4,95	13,91	2,98	52,26	5,14	4,1	0,07	5,46	0,18	8,02	7,4	94,15

Таблица 2

Макрокомпонентный состав озер бассейна рек Холодной и Олоkit, мг/л

Озеро	Компонент										pH	Общая минерализация
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ²⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ SiO ₃		
Иняптукское	9,20	7,67	7,55	74,73	4,67	2,77	0,05	0,05	0,02	6,72	7,09	110,74
Баир	5,37	16,03	2,82	68,63	2,67	2,27	0,05	1,67	0,14	10,31	7,64	106,04
Аэлита	3,50	16,03	3,67	51,85	17,00	2,20	0,05	0,05	0,24	3,36	7,16	96,59
Метеоритное	5,11	1,00	0,02	12,20	0,02	2,34	0,05	0,4	0,02	0,78	5,44	21,54
Авкитское	2,69	8,02	2,44	38,13	8,02	2,98	0,05	0,98	0,5	2,89	6,51	58,80
Среднее	5,17	9,75	3,3	49,1	4,87	2,51	0,05	0,88	0,18	4,81	6,77	78,74

Таблица 3

Микроэлементный состав поверхностных водотоков Северного Прибайкалья, мкг/л

Элемент	Река			Ручей		
	Холодная	Тья (выше поселка)	Олоkit	Авкитский	Пьяный ключ	Гасан-Дьяkit
V	0,17	0,03	0,011	0,080	0,27	0,14
Cr	0,79	0,35	3,64	1,27	3,12	4,91
Co	0,20	0,13	0,0114	0,030	6,82	2,11
Ni	1,47	1,08	0,22	0,89	43,94	19,15
Cu	3,72	1,63	2,08	1,63	79,16	29,24
Zn	97,11	38,40	5,52	5,80	281,11	275,92
Mo	0,59	0,28	0,12	0,09	0,36	0,40
Cd	0,16	0,04	0,006	0,016	4,73	0,87
W	0,03	0,02	0,0065	0,0069	0,05	0,06
Pb	0,44	0,33	0,034	0,09	3,91	5,17
U	0,46	0,24	0,24	0,17	1,80	2,33
As	0,14	0,12	0,12	0,12	0,018	0,05

Микроэлементный состав воды озер Северного Прибайкалья, мкг/л

Элемент	Озеро					
	Авкитское	Иняптукское	Баир	Аэлита	Метеоритное	Байкал
Al	31,0	11,0	10,0	630,0	63,0	3,87
Fe	24,0	17,0	43,0	1220,0	7,0	110,0
V	0,036	0,063	0,056	1,59	0,005	0,43
Cr	1,33	0,49	0,127	11,5	0,047	2,43
Co	0,013	0,014	0,021	0,68	0,34	0,18
Ni	0,88	0,95	0,62	1,58	0,46	0,84
Cu	14,7	0,87	0,87	3,92	0,85	1,43
Zn	3,2	0,98	25,5	20,4	38,0	3,85
Mo	0,047	0,13	0,14	0,07	0,003	1,69
Cd	0,012	0,005	0,011	0,07	0,12	0,01
W	0,006	0,009	0,006	0,014	0,003	0,07
Pb	0,06	0,04	0,11	1,5	0,84	0,03

В макрокомпонентном составе вод следует обратить внимание на содержание сульфат-иона. В реках оно не коррелирует с ростом общей минерализации, так как в известняках сульфидной серы мало, а минеральный состав воды в основном формируется за счет растворения именно этих пород, широко распространенных в районе. Поступление сульфат-иона в воды изучаемой территории связано с окислением рассеянной в породах сульфидной минерализации. На это указывают высокие содержания ряда микроэлементов (см. табл. 3). Наиболее высокая концентрация установлена для цинка — главного рудного элемента Холоднинского месторождения.

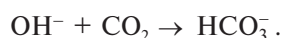
В водах озер отмечаются высокие содержания железа, алюминия и цинка (табл. 4), особенно выделяются озера Аэлита, Метеоритное и Авкитское.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

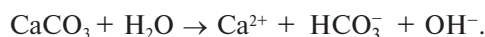
Главная водная артерия рассматриваемого района — это р. Холодная. По ней осуществляется основной сток воды и растворенных веществ с этой территории в р. Кичеру и далее в оз. Байкал. На ее гидрохимический режим большое влияние оказывают сложившиеся геолого-тектонические условия, связанные с формированием Холоднинского полиметаллического месторождения. Возникшие на стадии рудоотложения разноориентированные разрывные нарушения в настоящее время открыты для проникновения атмосферных вод. При взаимодействии с рудной минерализацией они обогащаются продуктами окислительного разложения сульфидов и разгружаются во многих местах в р. Холодную. В реке установлены значительные колебания концентрации цинка при опробовании в нескольких местах [9, 10]. Высокие содержания этого элемента установлены и в р. Тые, что, несомненно, связано с воздействием рудной минерализации, приуроченной к северо-западным флангам Холоднинского месторождения. Несмотря на высокие концентрации в этих реках цинка, который поступает в раствор при окислении сульфидной минерализации, pH растворов остается нейтральным и слабощелочным. Это связано с тем, что на месторождении преимущественно окисляется сфалерит, по следующим реакциям [11]:



В результате реакций выделяется избыточное количество гидроксил-иона, и в растворах устанавливается щелочная среда. Часть гидроксил-иона взаимодействует с углекислым газом, который возникает при разложении органического вещества с образованием гидрокарбонат-иона, щелочность несколько снижается:



Основная масса гидрокарбоната, присутствующего в водах рек, образуется в результате гидролиза карбонатных минералов, поэтому в растворе одновременно накапливаются кальций и магний. Воды в рассматриваемом районе маломинерализованные, далеки от насыщения, а наиболее распространенный минерал — это кальцит, который растворяется по следующей схеме:



Если среди горных пород присутствует доломит, в растворе одновременно с кальцием накапливается магний.

В результате этих реакций образуется гидроксильная группа, и рН растворов возрастает, но при наличии углекислого газа большая часть образующейся щелочности нейтрализуется по приведенной выше реакции. При $\text{pH} > 8$ происходит преобразование гидрокарбонат-иона в карбонат-ион:



Поэтому при растворении карбонатов и интенсивном поступлении в раствор гидроксил-иона щелочность растворов редко достигает значений $\text{pH} 9$ [12].

Наиболее интенсивно воды руч. Авкитский подвергаются воздействию рудной минерализации месторождения в его устьевой части, где ручей дренирует грунтовые воды, загрязненные отвалами разведочных штолен [13]. Относительно ручьев Гасан-Дякит и Пьяный ключ, где обнаружены высокие содержания ряда тяжелых металлов, можно предположить, что на них воздействует рудная минерализация, сформировавшаяся в оперяющих месторождение разрывных нарушениях. Такие же аномалии, связанные с окологорными изменениями пород, были выявлены на Озерном полиметаллическом месторождении [14].

Химический состав воды, заключенной в озерах, во многом определяется геолого-гидрогеологическими условиями района. Их ресурсы формируются за счет атмосферных осадков и поверхностных вод, стекающих с водосборной площади. Расход воды происходит за счет поверхностного и подземного стоков, испарение воды играет незначительную роль. Химический состав озер определяется питающими водами. Поверхностный сток в водоемы происходит в основном по ледниково-осадочным отложениям, которые слабо подвержены процессам выветривания, поэтому озерные воды слабоминерализованы. Только там, где на водосборной площади залегают карбонатные породы, общая минерализация достигает 100 мг/л и выше. В анионном составе преобладает гидрокарбонат-ион. Доля сульфат-

иона возрастает в озерах, испытывающих воздействие Холоднинского месторождения. В оз. Аэлите зафиксированы его наиболее высокие содержания. Вероятно, в формировании ресурсов этого озера значительную роль играют трещинно-жильные воды, формирующие химический состав в пределах месторождения. Их разгрузка в озеро может быть связана с открытыми разрывными нарушениями северо-восточного простирания. Вода оз. Аэлита резко отличается относительно высоким содержанием железа, алюминия, цинка и ряда других тяжелых металлов (см. табл. 4).

О химическом составе трещинно-жильных вод, распространенных в исследуемом районе, можно судить по рудничным водам, изливающимся из двух разведочных штолен Холоднинского месторождения (табл. 5).

Как показали разведочные работы, проводимые на месторождении, главная роль в обводненности горных выработок принадлежит тектонической зоне Авкитского разлома с карстовыми полостями и каналами в карбонатных породах. Трещинно-жильные воды Авкитского разлома, вероятно, разгружаются в водотоки и водоемы, которые располагаются в пределах его простирания. Как видно из данных табл. 5, трещинно-жильные воды характеризуются аномально высокой концентрацией цинка, содержание других тяжелых металлов на несколько порядков ниже. Показатель рН характерен для обстановки, близкой к нейтральной.

Таблица 5

Физические параметры и химический состав рудничных вод Холоднинского месторождения

Параметр	Ручей из штольни № 1	Ручей из штольни № 2
Дебит, л/с	1,3	30,0
Температура, °С	0,8–3,9	1,9–5,6
рН	7,1–7,24	7,07–7,15
Сухой остаток, мг/л	736–821	478–485
Сульфат-ион, мг/л	499	141
Химические элементы, мкг/л:		
Li	4,91	2,24
Sr	501,4	626,4
Cr	0,094	0,067
Mn	969,8	494,1
Fe	420,1	12,4
Co	18,39	4,02
Ni	29,39	9,52
Cu	1,44	5,41
Zn	21 104,1	5491,0
As	0,227	1,597
Cd	9,15	0,81
Ta	0,001	0,0003
Pb	0,238	0,105

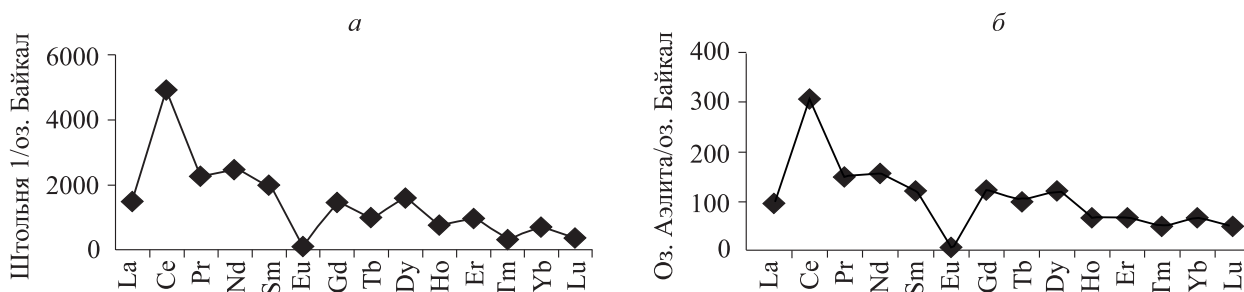


Рис. 3. Распределение содержания лантаноидов в рудничных водах штольни № 1 (а) и в оз. Аэлига (б), нормированное по содержаниям в оз. Байкал.

Влияние разгрузки трещинно-жильных вод на химический состав оз. Аэлига иллюстрируется распределением концентраций редкоземельных элементов. На рис. 3 приведены концентрации лантаноидов, нормированные к содержаниям в озере Байкал.

Нами проведено сравнение концентраций редких земель в рудничных водах, изливающихся из штольни № 1, и в водах оз. Аэлига. Конфигурация распределения лантаноидов в этих водных объектах практически идентичная, хотя концентрация элементов различается более чем в 15 раз. Это позволяет нам утверждать, что микроэлементный состав этого озера формируется под воздействием рудной минерализации месторождения.

Наиболее низкие значения рН зафиксированы для озер Метеоритное и Авкитское, которые находятся под воздействием стока с техногенных образований, связанных с разведкой месторождения в районе зоны «Рыжая» и юго-западных флангов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования актуальны в свете новых представлений о развитии региона и приоритетной задачи по созданию условий для развития экологического туризма. Район исследования характеризуется широким распространением гольцовых ландшафтов, которые испытали интенсивное воздействие горно-долинного оледенения. В образовании котловин большинства из рассмотренных водных объектов приняли участие ледники, которые двигались с хребтов. Следы их движения до сих пор видны на местности — это передовые и боковые морены. Некоторые водоемы располагаются в ледниковых карах (оз. Иняптукское), другие образовались в результате перекрытия стока поверхностных вод моренными отложениями (оз. Номама). Озера в рассматриваемом районе, как правило, глубокие. Так, глубина оз. Номама превышает 100 м, а оз. Асектамур — >20 м. В формировании озерных вод принимают участие талые воды, которые стекают с водосборной площади весной и летом. Некоторые снежники, расположенные на северных склонах гор, поставляют воду в озера все лето. В озерах заключены холодные маломинерализованные воды, насыщенные кислородом. Содержание кислорода в них, по данным наших измерений, достигает 14 мг/л, поэтому здесь прекрасно себя чувствуют хариус, ленок и другая ценная рыба.

В пределах территории размещения Холоднинского полиметаллического месторождения имеются природные образования, связанные с выходом руд на поверхность, где они интенсивно окисляются. Называется это место зона «Рыжая». Выпадающие атмосферные осадки формируют временные водотоки, вода которых имеет кислую реакцию среды. Вода стекает по склону и образует озеро. Имеются источники в долине р. Холодной, где происходит разгрузка трещинно-жильных вод, формирующих ресурсы в пределах Холоднинского месторождения. Эти источники трещинно-жильных вод и водоем приобрели уникальный геохимический облик. В них обнаруживаются очень высокие содержания сульфат-иона, железа, марганца и цинка. Содержание цинка достигает миллиграммовых значений. Известными представителями такого типа вод являются месторождения и проявления кислых сульфатных полиметаллических вод на Урале, связанные с Гайским медно-цинковым месторождением. На базе этого месторождения функционирует курорт Дегтярское.

Несомненно, исследование этих водных объектов будет представлять как научный, так и практический интерес.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лунина О.В. Разломы и сейсмически индуцированные геологические процессы на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. — 226 с.
2. Тектонические разломы Забайкалья / Отв. ред. В.В. Волков. — Новосибирск: Наука, 1978. — 112 с.
3. Конников Э.Г., Кислов Е.В., Качаровская Л.Н. Новые данные о петрологии и рудоносности Йоко-Довыренского никеленосного плутона // Геология и геофизика. — 1988. — Т. 29, № 3. — С. 36–40.
4. Кислов Е.В., Слипечук М.В. Рудоносные ультрамафит-мафитовые комплексы в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: Материалы V Междунар. конф. — Улан-Удэ: Изд-во Бур. ун-та, 2017. — С. 157–159.
5. Андреев Г.В., Посохов В.Ф., Шалагин В.Л. О возрасте Сыннырского массива // Геохимия. — 1991. — № 5. — С. 715–718.
6. Дистанов Э.Г., Ковалев Э.Г., Тарасова Р.С., Кочеткова К.В., Пономарев В.Г., Бусленко А.И., Гаськов И.В. Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение в докембрии Прибайкалья. — Новосибирск: Наука, 1982. — 208 с.
7. Мельничук Н.Л. Гидрогеология криолитозоны горно-складчатых областей Прибайкалья и Западного Забайкалья. — Винница: ЧП Балук И.Б., 2014. — 288 с.
8. Экологический атлас бассейна озера Байкал / Под ред. В.М. Плюснина, А.Р. Батуева, Л.М. Корытного. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015. — 145 с.
9. Перязева Е.Г., Плюснин А.М. Гидрогеохимия поверхностных и подземных вод бассейна р. Холодная // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы III Всерос. науч. конф. с междунар. участием. — Улан-Удэ: Изд-во Бур. науч. центра СО РАН, 2018. — С. 153–156.
10. Воробьёвская Е.Л., Кириллов С.Н., Слипечук М.В., Тульская Н.И., Устьянцев А.В., Цымбал М.Н. Оценка влияния Холоднинского полиметаллического месторождения на водные объекты Северного Прибайкалья // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22, № 12. — С. 68–73.
11. Плюснин А.М., Гунин В.И., Беломестнова Н.В. Количественная оценка преобразований в сульфидсодержащих отходах горнодобывающей промышленности // Геохимия. — 2002. — № 11. — С. 1197–1208.
12. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. — М.: Недра, 1998. — 366 с.
13. Антропова И.Г., Плюснин А.М., Ханхасаева С.Ц. Технологические решения для минимизации антропогенного влияния штольневых и рудничных вод Холоднинского месторождения на водные экосистемы // Научное обозрение. — 2015. — № 20. — С. 58–61.
14. Плюснин А.М., Перязева Е.Г. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Еравнинской котловины // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 2. — С. 67–74.

Поступила в редакцию 19.12.2019

После доработки 20.01.2020

Принята к публикации 25.06.2020