

## ФАКТОРЫ И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ СОЛЕННОГО ОЗЕРА НА БЕРЕГУ БАЙКАЛА<sup>1</sup>

© 2021 г. А. М. Плюснин<sup>а</sup>, А. В. Украинцев<sup>а</sup>, \*, М. К. Чернявский<sup>а</sup>,  
Е. Г. Перязева<sup>а</sup>, Н. А. Ангахаева<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, 670047 Россия

\*e-mail: ukrainsev87@bk.ru

Поступила в редакцию 13.04.2020 г.

После доработки 23.06.2020 г.

Принята к публикации 24.09.2020 г.

Рассмотрены условия, в которых формируются ресурсы и химический состав воды минерального оз. Бормашового, расположенного на п-ове Святой Нос на восточном побережье оз. Байкал. Представлены результаты исследования воды и свободного газа, выделяющегося из донных отложений источников и озера п-ова Святой Нос. Приведены результаты анализа проб воды, отобранных в безледный и ледовый периоды и исследованных на широкий круг химических элементов современными методами. Рассмотрены геологические условия, сложившиеся в исследуемом районе. Установлено, что породы в районе озера представлены элювиальными отложениями, образовавшимися при интенсивном физическом и в меньшей степени химическом выветривании гранитов. Показано, что питание озера происходит в основном за счет разгрузки трещинно-жильных и грунтовых вод, которые придают озерным водам специфический геохимический облик. В зимний период в результате разложения органических остатков донных отложений в озерной воде меняются физико-химические условия, возрастает содержание гидрокарбонат-иона, кальция, магния, редкоземельных элементов. Методом факторного анализа выделены ассоциации элементов, которые образуются под воздействием разгрузки глубинных трещинно-жильных вод, грунтовых вод, обогащенных продуктами разложения пород, прошедших стадию морозного выветривания и насыщения озерной воды углекислым газом в зимний период. Методом термодинамического моделирования определено, что в озере достигается равновесие относительно кальцита и доломита, в результате садки карбонатных минералов в озерной воде накапливаются натрий и гидрокарбонат-ион, вода становится содовой.

*Ключевые слова:* морозное выветривание, содовые воды, разломы, гидротермы, свободные газы, ассоциации элементов, вымораживание.

**DOI:** 10.31857/S0321059621020097

### ВВЕДЕНИЕ

На Баргузинско-Чивыркуйском перешейке, соединяющем п-ов Святой Нос с восточным берегом Байкала, находится соленое оз. Бормашовое – единственное минеральное озеро на восточном побережье этого самого крупного в мире пресного водоема. Вода, заключенная в озере, относится к содовому типу. До сих пор в опубликованной литературе не дано объяснения образования этого феномена, который более ста лет сохраняет особенность своего химического состава среди многочисленных пресных озер [4]. До поднятия уровня Байкала плотиной Иркутской ГЭС на этом месте была цепочка не соединенных друг с другом содовых озер [18]. Площадь зеркала

оз. Бормашового 1.3 км<sup>2</sup>, длина 1.5 км, максимальная ширина 1.2 км, максимальная глубина 2.2 м. Считается, что водоем питается атмосферными осадками, небольшими ручьями, стекающими с окружающих болот, и грунтовыми водами современных и верхнечетвертичных отложений [7, 8]. Озеро бессточное, разгрузка озерных вод происходит за счет испарения и подземным стоком. Формирование ресурсов и химического состава воды этого озера вызывает интерес у многих поколений исследователей [13, 16, 19]. Одним из факторов формирования его геохимических особенностей может быть поступление азотных термальных вод, которые придают специфический геохимический облик его воде [7, 16, 20]. На исследуемой территории термальные воды содержат в повышенной концентрации сульфат-ион и относятся к сульфатному натриевому химическому типу, и их разгрузка в озеро должна была про-

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН (проект IX.137.1.4, государственная регистрация АААА-А17-117021310076-3), частично при поддержке РФФИ (проект 18-45-030003).

явиться в химическом составе заключенной в нем воды [21]. Но этого не наблюдается. Для выяснения факторов, которые привели к образованию этого природного феномена, авторами статьи проведены детальные геолого-геохимические исследования в этом районе.

### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАРГУЗИН-ЧИВЫРКУЙСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

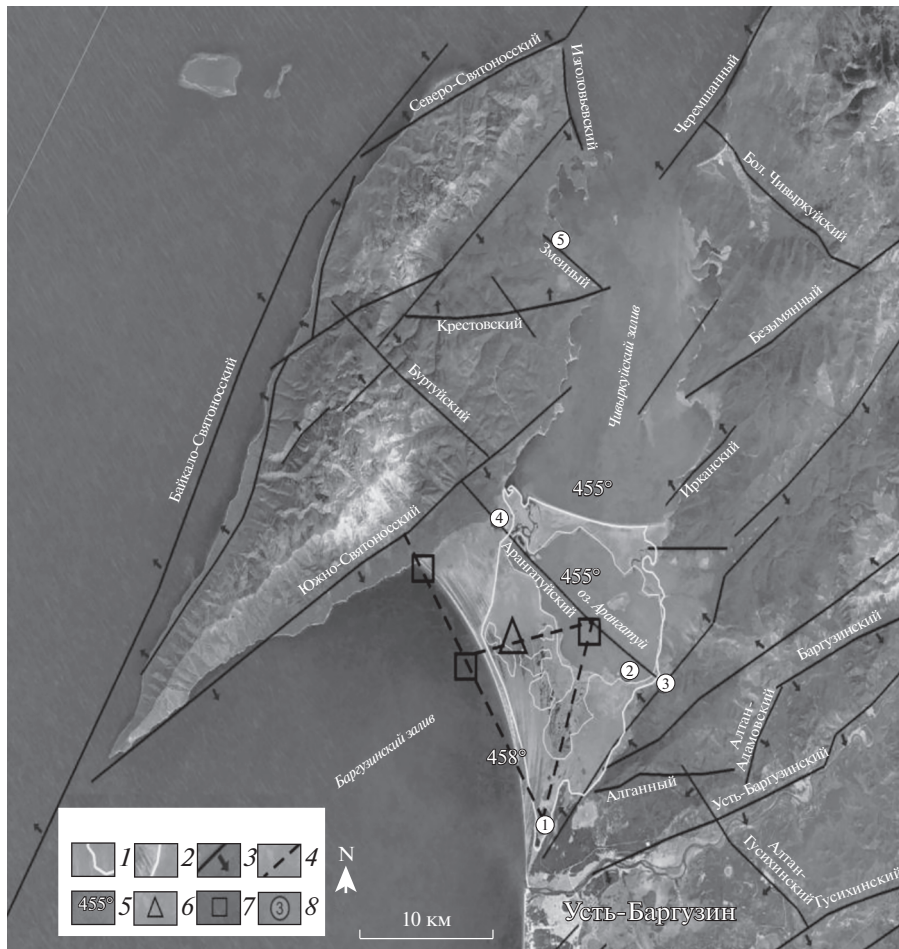
Баргузин-Чивыркуйский перешеек представляет собой грабен, который испытывает погружение в связи с развитием Байкальского рифта (рис. 1). С СЗ он ограничен разломом сбросового типа, который протягивается вдоль юго-восточной стороны п-ова Святой Нос. Направление простирания составляет  $58^\circ$ , направление падения  $148^\circ$ , угол падения  $50^\circ$  [14]. С ЮЗ грабен ограничен разломом, протягивающимся по ЮВ побережью оз. Арангатуй. Этот разлом сбросового типа простирается под углом  $40^\circ$ , угол падения —  $310^\circ$ . В условиях растяжения, преобладающих на территории, по этим субпараллельным разломам происходит опускание всего блока пород, слагающих перешеек. Вертикальные подвижки по разломам продолжаются до сих пор, эти разломы остаются проницаемыми для воды и газов [15]. Грабен разбит разломами на несколько разновеликих блоков, которые имеют наклон к центральной части перешейка и в разной степени испытывают погружение. В рельефе перешейка они выделяются ступенями с абсолютными отметками от 452 до 458 м. По разломам, разделяющим блоки, происходит подъем термальных вод и газов к поверхности; на рис. 1 обозначены места их разгрузки, выявленные ранее проведенными в этом районе исследованиями [7, 13]. Под воздействием глубинных трещинно-жильных вод в северной части перешейка поверхностные воды, заключенные в малых озерах и болоте, приобрели сульфат-ион в повышенных концентрациях [23]. Вода, заключенная в самом большом пресном озере перешейка — Арангатуйе, имеет двуслойное строение. Придонная вода относится к сульфатному натриевому химическому типу, приповерхностная — к гидрокарбонатному кальциево-натриевому типу [7].

Большинство исследователей считает, что перешеек образовался в результате интенсивного выпадения отложений, переносимых водными потоками с п-ова Святой Нос, Баргузинского хребта и из Баргузинской впадины [9, 12]. По современным представлениям, изначально Святой Нос был островом, а на месте перешейка был пролив, который постепенно заполнился осадками. На поверхности перешейка имеются песчаные валы, которые сформировались береговым прибоем. Конфигурация валов указывает на постепенное перемещение береговой полосы в сто-

рону Баргузинского залива [9]. В средней части перешейка в районе оз. Арангатуй мощность осадочных отложений, представленных озерно-речными отложениями, достигает 500 м, а на побережье Баргузинского залива — 360 м [7]. В их толще выделяются горизонты песков, глин, ила. Возраст осадочных пород установлен как миоцен-плиоцен-четвертичный [1, 12, 19]. Рыхлые отложения перешейка залегают на палеозойских гранитоидах крупнейшего в Центральной Азии Ангаро-Витимского батолита, породы которого слагают также п-ов Святой Нос и Баргузинский хребет [6, 13].

Другой характер имеют осадки, находящиеся в окрестностях оз. Бормашового. Здесь отложения сформировались в основном на суше. Скважина глубиной 59.8 м вскрыла четвертичные осадочные отложения, которые сверху представлены кварц-полевошпатовым разномелкозернистым (мощностью 7 м) и мелкозернистым (8 м) песком. Затем в разрезе находятся отложения глины (слой 2.5 м), которые сменяются кварц-полевошпатовым среднезернистым песком с дресвой (мощностью 9.6 м). В основной части разреза представлен кварц-полевошпатовый мелкозернистый глинистый песок с дресвой (32.7 м). Необходимо отметить присутствие в песке полевого шпата. Этот минерал, в отличие от кварца, в экзогенных условиях довольно активно взаимодействует с водой с образованием глины [24, 25]. А его присутствие в разрезе указывает на низкую степень взаимодействия этих пород с водой. В основном, вероятно, эти породы образовались за счет физического выветривания в континентальных условиях, на что указывает присутствие дресвы в осадках. Дресва — это порода типично континентальная, она не несет в себе следов переноса и обработки водой. Напротив, глина всегда образуется в присутствии воды, а глинистый горизонт мог сформироваться только в водном бассейне. На основе этого можно заключить, что район оз. Бормашового какое-то время был затоплен водой, когда и образовался горизонт пород, сложенных глиной. Но основная масса осадочных пород сформировалась в результате механического разрушения, физического и в меньшей степени химического выветривания интрузивных пород при недостатке влаги. Продукты выветривания не перемешались текущей водой, а сформировали отложения на склоне. Таким образом, хотя уровень воды в Байкале менялся, территория оз. Бормашового большую часть времени находилась на суше.

Каким образом могла образоваться эта толща осадочных пород? Дресва в условиях морозного климата образуется в увлажненных породах. В этом случае физическому выветриванию благоприятствует образование льда в трещинах. В этом районе основная часть пород, содержащих дресву, образовалась в период плейстоценового



**Рис. 1.** Космический снимок п-ова Святой Нос с Баргузин-Чивыркуйским перешейком с нанесенными разрывными нарушениями и местами опробования поверхностных и подземных вод. 1 – изолиния абсолютных отметок 455,5 м; 2 – изолиния 456 м; 3 – разрывные нарушения, стрелкой показано направление падения сброса; 4 – предполагаемые разрывные нарушения; 5 – абсолютные отметки поверхности; 6 – выявленные проявления грязевого вулканизма; 7 – места образования пропарин во льду и выделения метана; 8 – места отбора проб воды, газа (озера: 1 – Бормашовое, 2 – Арангатуй; источники: 3 – Арангатуйский, 4 – Кулины Болота, 5 – Змеиный).

горно-долинного оледенения, когда здесь преобладал суровый климат. С окружающих хребтов спускались ледники, уровень воды в Байкале был низким. В этих условиях породы интенсивно разрушались в зонах разломов за счет морозного выветривания, потому что там близко к поверхности поднимались трещинно-жильные воды. В зимний период вода в трещинах превращалась в лед и при расширении дробила породы. Таким образом, постепенно породы в пределах разломов вблизи поверхности оказались хорошо проницаемыми для воды. В них стала проникать вода с поверхности, началось движение воды вдоль разломов по направлению уклона под действием сил гравитации. Обмен воды в этих разломах стал больше по сравнению с окружающими породами, поэтому в них началось и более интенсивное взаимодействие воды с породами. В результате химического выветривания плагиоклаза образова-

лись глины, частицы которых из-за малых размеров уносились потоком движущейся воды. Поэтому в настоящее время разломы проявляются в рельефе линейно вытянутыми понижениями.

Поверхность Баргузин-Чивыркуйского грабена имеет общий наклон к С, в сторону Чивыркуйского залива. Наименьшие абсолютные отметки имеет котловина оз. Арангатуй, отметка уровня воды 455 м, поверхности дна 452–453 м. Это озеро сообщается протокой с Чивыркуйским заливом Байкала. От оз. Арангатуй к Ю простирается широкая заболоченная низина с абсолютными отметками поверхности ~455,5 м. Такая же абсолютная отметка и у водной поверхности оз. Бормашового, которое находится у самой южной оконечности перешейка. Немного южнее оз. Бормашового (~100 м) понижение в рельефе выклинивается, абсолютные отметки повышаются на

1.5–2 м. Низина, простирающаяся от оз. Арангатуй, не имеет выхода к Баргузинскому заливу.

Рассматриваемая низина с котловиной оз. Бормашового расположена в поле интенсивно разрушенных пород, связанных с процессами морозного выветривания в пределах разлома субмеридионального направления. Этот разлом присоединяется к сбросу, ограничивающему грабен Баргузин-Чивыркуйского перешейка с ЮВ (рис. 1). По сбросу в этот разлом поступают трещинно-жильные воды с Баргузинского хребта. Наиболее интенсивный сток с этого гидрогеологического массива происходит на пересечении разломов именно в районе оз. Бормашового, так как его котловина находится на пересечении разломов трех направлений (рис. 1). Блок коренных пород в этом месте раздробился и испытал погружение, понижение постепенно заполнилось осадочными породами. По разлому северо-западного направления с гидрогеологического массива Баргузинского хребта движутся трещинно-жильные воды, которые приносят тепло и придают специфический геохимический состав поверхностным водам в местах разгрузки. По субмеридиональному разлому, в пределах которого сформирована широкая зона хорошо проницаемых пород, происходит движение подземных вод в сторону оз. Арангатуй. Возможно, блоки пород, которые разграничивают этот разлом, наклонены друг к другу. Поэтому сток воды происходит интенсивно вблизи поверхности, уровень грунтовых вод приподнят и местность заболочена. Трещинно-жильные воды частично разгружаются непосредственно в оз. Бормашовое в виде восходящих источников, проходя через толщу осадочных пород. Места аквальной разгрузки – по границам блоков пород, вероятно, у западного и восточного берегов озера, так как с З и В котловина озера ограничена поднятиями, заросшими сосновым лесом, которые возвышаются над озером на 1.5–2 м.

Трещинно-жильные воды, разгружающиеся в котловину озера, проникают в недра в наиболее возвышенных частях окружающей территории. В пределах п-ова Святой Нос, который возвышается над перешейком на высоту >1400 м, формируются ресурсы термальных вод. Они глубоко проникают в недра, нагреваются и разгружаются в бух. Змеевой Чивыркуйского залива и на перешейке в местности Кулиные Болота в северо-западной части. В озеро они могут поступать с западного берега. Надо иметь в виду, что эти воды в значительной мере перехватываются разломами на границе гидрогеологического массива и впадины и в ее центральной части. До озера они доходят разбавленными поверхностными водами и не такими горячими, как в источниках. На В Баргузин-Чивыркуйский перешеек граничит с отрогами Баргузинского хребта, относительные пре-

вышения здесь составляют 600–700 м. Трещинно-жильные воды не так глубоко проникают в недра, поэтому в этом месте на хребте нет источников термальных вод. Только на юго-восточном берегу оз. Арангатуй с Баргузинского хребта разгружается источник холодных трещинно-жильных вод. Разгрузка этого источника происходит в пределах того же разлома, по которому с п-ова Святой Нос перемещаются термальные воды источника Кулиные Болота. В пределах котловины оз. Бормашового воды такого же химического типа могут разгружаться у его восточного берега.

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

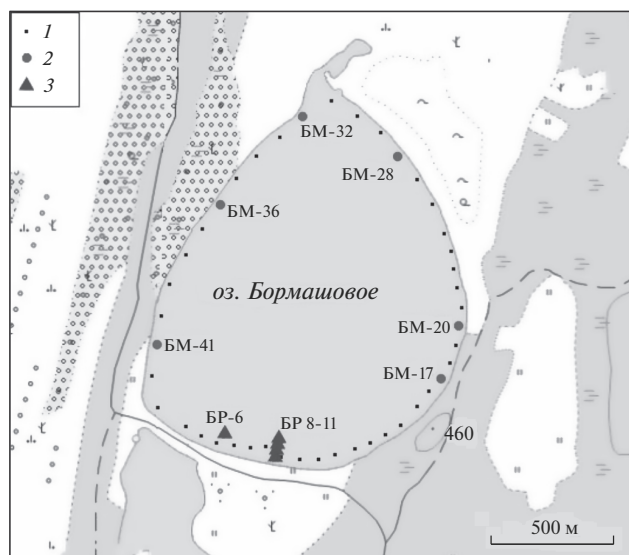
На формирование ресурсов и химического состава вод оз. Бормашового значительное влияние оказывает разгрузка трещинно-жильных вод, поэтому авторами изучены все доступные для исследования водопункты, расположенные на территории п-ова Святой Нос. Авторы предполагают, что разгрузка трещинно-жильных вод придает специфический геохимический облик придонной воде озера, поэтому провели измерение ее физико-химических параметров и исследование химического состава. При геохимических исследованиях были заданы профили вдоль западного и восточного берегов озера. Исследование озера проводилось в апреле и июле 2019 г. Весной опробование воды проводилось со льда, летом – с лодки, одновременно определяли географические координаты точек взятия проб. Точки наблюдения располагались в десяти метрах от берега, интервал между точками составлял 5 м. Схема опробования представлена на рис. 2. С помощью портативных приборов на глубине 1.5 м измеряли физико-химические параметры воды – температуру и pH. Проба воды отбиралась у дна озера специальным пробоотборником. Воду для анализа макрокомпонентов отбирали в пластиковые бутылки. Пробы воды на микроэлементы набирали в полипропиленовые контейнеры (15 мл), предварительно обработанные в лаборатории 0.1N азотной кислотой. На месте отбора проб образцы воды были пропущены через фильтры с порами размером 0.45 мкм и подкислены дважды перегнанной 0.1N азотной кислотой до pH 1–2. Пробы свободного газа, выделяющегося из донных отложений, отбирались методом вытеснения в стеклянные бутылки с гидрозатвором. При транспортировке до лаборатории бутылки хранились вниз горлышком. Анализ макрокомпонентного состава воды выполнен в сертифицированной лаборатории Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) по стандартным методикам. Анализ содержания микроэлементов проводился в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск) методом индуктивно связанной плазмы на

квадрупольном масс-спектрометре “Agilent 7500 се” (аналитик Е.П. Чебыкин). Состав свободного газа проанализирован методом газовой хроматографии в Научно-производственной фирме “Сибэкосервис” (г. Иркутск).

### ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории Баргузин-Чивыркуйского перешейка, кроме оз. Бормашового, расположено несколько водных объектов, исследование которых поможет выявить факторы, определяющие существование этого природного феномена. Самый крупный водоем на территории перешейка — оз. Арангатуй. Озеро питается стоком р. Буртуй с п-ова Святой Нос и р. Малый Чивыркуй с Баргузинского хребта. Имеется два источника азотных термальных вод. Змеиный источник разгружается в бух. Змеевой Чивыркуйского залива. Его ресурсы, химический состав воды и газа формируются в пределах п-ова Святой Нос. Термальный источник Кулиные Болота разгружается на территории перешейка, он проявляется на поверхности в виде нескольких мочажин с теплой водой. Площадь разгрузки теплых вод составляет  $>10000 \text{ м}^2$ . Этот источник также связан с гидротермальными системами п-ова Святой Нос. На юго-восточном побережье оз. Арангатуй происходит разгрузка источника пресных, холодных трещинно-жильных вод. Ресурсы, химический состав воды и газа этого источника связаны с Баргузинским хребтом. В табл. 1, 2 представлен химический состав этих водных объектов.

Как видно из результатов анализа, все исследованные водопункты п-ова Святой Нос характеризуются щелочной реакцией среды. В оз. Бормашовом установлено значение рН, близкое к характерным для азотных термальных вод. Концентрация натрия в водах озера доминирует над концентрациями других катионов, что характерно и для термальных вод. В озере установлены также высокие содержания фторид-иона, кремниевой кислоты, что характерно для термальных вод Байкальской рифтовой зоны. В отличие от термальных вод, в оз. Бормашовом обнаруживаются в повышенных концентрациях хлорид-ион,



**Рис. 2.** Картограмма территории опробования придонной воды оз. Бормашового. 1 — места измерения физико-химических параметров воды; 2, 3 — места отбора проб воды для определения химического состава воды летом и весной 2019 г. соответственно.

магний и в относительно низкой концентрации — сульфат-ион. Общая минерализация воды в озере в  $\geq 2$  раза выше, чем в других водопунктах. Несомненно, в озере происходит концентрирование растворенных веществ за счет удаления воды при испарении и за счет возгонки при образовании ледового покрова.

В микроэлементном составе оз. Бормашового выделяется в повышенных концентрациях группа химических элементов, характерных для азотных термальных вод этого района (табл. 2). Наиболее значимо разгрузка термальных вод проявляется в высоких содержаниях в озере фосфора, бора, алюминия, вольфрама, молибдена, мышьяка, селена. Разгрузка в озеро трещинно-жильных вод неглубокого заложения и грунтовых вод, вероятно, сказывается на росте концентрации таких элементов, как уран, железо, стронций.

Результаты исследования свободного газа, выделяющегося в местах разгрузки источников тре-

**Таблица 1.** Содержание макрокомпонентов в поверхностных и подземных водах п-ова Святой Нос, мг/дм<sup>3</sup> (здесь и в табл. 4 и 6: ПО — перманганатная окисляемость, ОМ — общая минерализация)

Водопроявление	рН	Na	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	F	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	ПО	ОМ
оз. Бормашовое	9.1	397.8	25	13.38	738.3	24.0	14.8	47.2	25.5	39.6	32.2	1464.9
оз. Арангатуй	7.5	13.5	10	3.04	61.0	0.1	3.3	9.5	1.83	3.5	15.6	108.6
Источник Кулиные Болота	9.6	243.8	2	0.01	91.5	21.0	125.0	31.2	35.5	198.2	5.3	735.0
Источник Змеиный	9.5	106.9	1	0.01	152.5	9.0	89.4	5.7	16.17	175.8	10.1	493.0
Источник Арангатуйский	7.8	4.4	8	8.51	57.9	0.1	2.3	6.4	1.86	37.1	0.7	114.7

**Таблица 2.** Содержание микроэлементов в водных объектах п-ова Святой Нос, мкг/дм<sup>3</sup>

Химический элемент	оз. Бормашовое	оз. Арангатуй	Источник Кулиные Болота	Источник Змеиный	Источник Арангатуйский
B	80	49	54	422	6
Li	9	10	126	42	3
Al	72.3	10.3	26.5	13.7	6.5
P	874	37	17	245	10
Ti	3.88	0.40	0.77	0.45	0.18
V	6.03	0.84	0.31	0.08	0.21
Cr	3.1	4.1	0.6	0.2	2.0
Mn	20.47	1.91	1.40	4.25	0.59
Fe	580.5	95.7	114.7	12.5	22.4
Co	0.138	0.029	0.043	0.027	0.013
Ni	0.90	0.59	0.66	0.36	0.45
Cu	3.70	2.17	1.55	0.45	2.49
Zn	12.3	16.2	10.6	5.1	10.6
As	3.66	0.67	0.56	0.05	0.08
Se	2.61	0.74	46.87	0.04	1.36
Rb	3.3	0.7	27.2	14.5	0.2
Sr	256	100	230	69	110
Y	0.1919	0.0089	0.0143	0.0045	0.0145
Zr	0.666	0.163	0.272	0.092	0.152
Mo	2.17	2.51	5.30	1.31	1.44
Cd	0.049	0.052	0.046	0.058	0.025
Sn	0.45	0.10	0.25	0.16	0.10
Sb	0.23	0.22	0.06	0.05	0.12
Cs	0.03	0.02	5.08	3.39	0.01
Ba	32	12	3	2	10
W	31.03	4.71	30.82	12.8	0.35
Pb	4.96	0.57	0.59	0.35	0.47
U	0.544	0.511	0.139	0.024	2.67

**Таблица 3.** Химический состав свободных газов в водопрооявлениях п-ова Святой Нос, %

Водопункт	Азот	Метан	Углекислый газ	Кислород	Гелий	Водород
оз. Бормашовое	74.5	22.6	1.4	0.75	$3.73 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-4}$
оз. Арангатуй	69.57	25.55	3.13	1.02	$3.77 \times 10^{-4}$	$5.68 \times 10^{-4}$
Источник Кулиные Болота	83.83	13.77	0	1.56	0.108	$3.98 \times 10^{-4}$
Источник Змеиный	98.9	0.13	0	0.045	0.155	$2.35 \times 10^{-4}$
Источник Арангатуйский	85.68	$1.76 \times 10^{-4}$	0.07	13.53	$2.92 \times 10^{-4}$	$9.32 \times 10^{-5}$

щинно-жилых вод и из донных отложений озер, представлены в табл. 3.

Во всех водопрооявлениях в свободном газе доминирует азот. Его максимальные содержания установлены в источниках термальных вод, что вполне согласуется с представлениями о его кон-

центрировании при длительном взаимодействии воды с алюмосиликатными горными породами [21]. Относительно высокие содержания метана установлены в обследованных озерах и источнике Кулиные Болота. Метан поступает в воду при разложении в восстановительных условиях органи-



**Таблица 4.** Содержание макрокомпонентов в оз. Бормашовом летом (пробы воды отобраны 16.07.2019), мг/дм<sup>3</sup>

№ пробы	T, °C	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	pH	ОМ
БМ-32	19.6	373.0	32.6	7.3	790.1	24.0	2.0	12.5	56.7	24.2	57.8	10.9	1416.9
БМ-36	18.7	377.9	27.0	10.9	805.4	31.5	0.6	12.7	55.3	21.0	51.1	10.7	1430.5
БМ-41	21.8	377.3	31.0	8.2	793.2	33.0	3.1	12.3	53.8	23.4	60.9	11.0	1428.4
Среднее у западного берега	20	376.1	30.2	8.8	796.2	29.5	1.9	12.5	55.3	22.9	56.6	10.8	1425.3
БМ-17	21.7	365.4	31.0	8.5	787.1	21.0	1.9	12.7	55.3	22.2	51.5	10.3	1393.8
БМ-20	22.2	363.0	31.0	7.9	774.9	21.0	2.0	12.3	54.6	23.9	48.0	10.8	1376.3
БМ-28	22.6	358.1	32.0	8.7	787.1	21.0	1.7	13.8	55.3	19.0	53.3	10.8	1388.3
Среднее у восточного берега	22	362.2	31.3	8.4	783.0	21.0	1.8	12.9	55.07	21.7	50.9	10.6	1386.1
Среднее по всему озеру	21	369.1	30.7	8.6	789.6	25.2	1.9	12.7	55.2	22.3	53.7	10.7	1405.7

ческих остатков, заключенных в осадочных породах, заполняющих грабен Баргузин-Чивыркуйского перешейка, а также из донных отложений озер и болот. Очень низкие содержания метана установлены в Арангатуйском источнике, так как элювиальные отложения, которые он дренирует, сформировались при морозном выветривании гранитов и практически не содержат органических веществ. В этом источнике установлены очень высокие содержания кислорода атмосферного происхождения, так как здесь происходит разгрузка трещинно-жильных вод неглубокого заложения. В других исследованных водопунктах содержание этого химически очень активного газа невелико, так как он поступает в воды только вблизи поверхности и быстро расходуется на реакции окисления. В относительно больших количествах в озерах обнаружен углекислый газ, что указывает на протекание окислительных процессов в донных отложениях. Интересны результаты определения гелия в этих водных объектах. Наблюдается большая дисперсия его концентрации в обследованных водопунктах, которая достигает величин трех математических порядков. Наиболее высокие содержания этого газа установлены в термальных водах, что объясняется связью этих вод с глубоко проникающими в недра тектоническими нарушениями. В свободном газе, выделяющемся из донных отложений оз. Бормашового, содержание гелия почти на порядок выше, чем в оз. Арангатуй. Возможно, это связано с тем, что в акватории оз. Бормашового есть тектонические нарушения, открытые для проникновения газов из недр. По этим разломам, вероятно, поступают азот, гелий, а с водой привносятся растворенные химические элементы, накопившиеся при ее длительном взаимодействии с породами.

Летом 2019 г. авторами проведено геолого-геохимическое обследование всей акватории озера, отобрано и проанализировано шесть проб воды, схема опробования приведена на рис. 2; результаты анализов представлены в табл. 4, 5.

По данным анализа макрокомпонентного состава, вода, заключенная в оз. Бормашовом, имеет неоднородный химический состав. Общая минерализация воды возле западного берега в среднем составляет 1425 мг/дм<sup>3</sup>, тогда как возле восточного берега — всего 1386 мг/дм<sup>3</sup>. Возле западного берега установлены существенно более высокие содержания натрия и гидрокарбонат-карбонат-ионов, фторид-иона и кремниевой кислоты. Вода имеет более щелочную реакцию среды.

У западного побережья зафиксированы повышенные относительно средних значений содержания бора, вольфрама, меди, никеля, олова и сурьмы. В микроэлементном составе воды, отобранной у восточного берега озера, повышенными содержаниями отличаются алюминий, фосфор, марганец, железо, цинк и свинец.

Зимой озеро покрывается льдом, мощность ледяного покрова достигает 1.5–1.7 м. На поверхности льда наблюдаются ледяные наросты округлой формы, связанные с прорывом высокоминерализованных вод из межледового пространства во время формирования ледяного покрова, на поверхности льда видны выцветы солей. Результаты анализа водных проб приведены в табл. 6 и 7.

В ледовый период наблюдаются более высокая общая минерализация озерной воды и рост концентрации других компонентов; так, в ледовый период соленость воды в озере была выше, чем летом в 1.3 раза. Концентрирование солей при формировании ледового покрова происходит в основном за счет вымораживания воды из раствора, вследствие чего растворенные вещества накапливаются в остающейся жидкой фазе. Некоторые компоненты не подчиняются этой общей закономерности. Так, по сравнению с ростом общего содержания растворенных веществ, в подледный период установлено значительно более высокое концентрирование кальция, нитрат-иона, сульфат-иона и карбонат-гидрокарбонат-ионов. Авторы предполагают, что в зимний период на формирование химического состава воды в

**Таблица 5.** Содержание микроэлементов в оз. Бормашовом летом (июль 2019 г.), мкг/дм<sup>3</sup>

Химический элемент	БМ-32	БМ-36	БМ-41	Среднее, западное побережье	БМ-17	БМ-20	БМ-28	Среднее, восточное побережье
Li	10.2	10.2	10.7	10.3	10	10.4	10.3	10.2
B	139	134	136	136.3	133	137	132	134
Rb	4.9	5	5.1	5	5.2	5	5.2	5.1
Cs	0.024	0.024	0.02	0.022	0.138	0.041	0.037	0.072
Sr	310	310	320	313.3	320	320	310	316.6
Ba	49	49	56	51.3	49	50	51	50
Al	103	106	115	108	76	103	230	136.3
P	1420	1440	1380	1413	1420	1460	1470	1450
Ti	5.8	7.2	5.7	6.2	4.1	4.8	13	7.3
V	26	26	28	26.7	27	27	30	28
Cr	1.1	1.21	1.48	1.26	1.06	1.3	1.59	1.32
Mn	7.9	4.9	10.3	7.7	11.7	10.4	36	19.3
Fe	360	350	430	380	340	360	760	466
Co	0.28	0.23	0.3	0.27	0.28	0.31	0.49	0.36
Ni	6.1	3.7	2.6	4.1	1.26	0.79	0.95	1
Cu	4.1	5.6	5.9	5.2	4.1	5.3	5.3	4.9
Zn	5.8	8.3	18.6	10.9	5.4	21	17	14.5
Cd	0.036	0.047	0.049	0.044	0.052	0.07	0.07	0.064
Pb	0.25	0.89	1.89	1.01	0.87	2	1.68	1.52
Bi	0.037	0.02	0.103	0.05	0.008	0.03	1.16	0.4
As	3.7	3.7	3.8	3.75	3.8	3.9	3.7	3.8
Mo	1.43	1.52	1.49	1.48	1.51	1.62	1.47	1.53
Sn	0.43	0.38	0.34	0.38	0.46	0.22	0.27	0.32
Sb	0.4	0.32	0.26	0.33	0.25	0.24	0.27	0.25
W	44	45	45	44.5	42	43	44	43
Th	0.167	0.19	0.176	0.17	0.126	0.172	0.25	0.18
U	0.73	0.83	0.8	0.77	0.67	0.72	0.78	0.72

**Таблица 6.** Содержание макрокомпонентов в оз. Бормашовом в подледный период (пробы отобраны 10.04.2019, мг/дм<sup>3</sup> (здесь и в табл. 7 КК – отношение средних содержаний компонентов в пробах озерной воды, когда оно было покрыто льдом (10.04.2019) к содержаниям в пробах, отобранных в безледный период (16.07.2019 г.))

№	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	pH	ОМ
БР-6	461.3	48.1	9.7	1080.0	55.5	2.6	18.9	63.8	28.5	81.2	8.6	1819.9
БР-8	485.3	44.0	12.1	1195.9	27.0	1.9	26.7	61.7	28.5	76.9	8.9	1931.9
БР-9	456.5	50.1	9.7	1073.9	54.0	5.4	15.6	60.2	31.5	79.8	8.8	1807.4
БР-10	440.1	50.1	7.3	1061.7	57.0	6.5	25.9	63.1	27	78.6	8.4	1808.8
БР-11	446.1	50.1	8.5	1122.7	36.0	4.9	27.5	63.1	28	80.3	8.4	1858.1
Среднее	457.9	48.5	9.5	1106.8	45.9	4.3	22.9	62.38	28.7	79.4	8.6	1845.2
КК	1.24	1.58	1.1	1.4	1.82	2.26	1.8	1.1	1.29	1.48		1.3

озере большое влияние оказывает процесс окислительного разложения накопившейся за лето растительности и залегающего почти по всей ак-

ватории озера сапропеля. Образующийся при разложении органического вещества донных отложений углекислый газ из-за ледового покрова



**Таблица 7.** Содержание микроэлементов в оз. Бормашовом в подледный период, мкг/дм<sup>3</sup> (среднее, “зима” – среднее содержание в пробах воды, когда озеро было покрыто льдом (10.04.2019); среднее, “лето” – среднее содержание в пробах, отобранных в безледный период (16.07.2019))

Химический элемент	БР-10	БР-11	БР-9	БР-6	БР-8	Среднее, “зима”	Среднее, “лето”	КК
Li	15.6	15.9	15.8	15.6	15.3	15.6	10.3	1.5
B	220	220	220	220	220	220.0	135.1	1.6
Rb	6.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.06	5.1	1.4
Cs	0.012	0.013	0.013	0.024	0.018	0.02	0.047	0.4
Sr	460	490	480	480	480	478.0	314.9	1.5
Ba	76	83	79	71	80	77.8	50.6	1.5
Al	18.8	65	38	22	31	34.9	122.1	0.3
P	1880	2000	2000	2100	2100	2016.0	1431.5	1.4
Ti	1.9	2.5	1.4	2.9	1.6	2	6.7	0.3
V	42	42	41	41	42	41.6	27.3	1.5
Cr	1.39	1.37	1.36	1.9	1.8	1.5	1.29	1.2
Mn	2.3	4.8	1.47	4.7	4.4	3.5	13.5	0.2
Fe	70	123	94	107	111	101	423	0.2
Co	0.22	0.22	0.21	0.29	0.26	0.24	0.31	0.8
Ni	5.9	12.7	6		4.6	6.7	2.55	2.6
Cu	5.3	8.7	5.3		5.8	6.2	5	1.2
Zn	3.6	12.1	4.7	1.9	3.7	5.2	12.7	0.4
Cd	0.025	0.045	0.042	4.5	0.07	0.05	0.054	0.9
Pb	0.13	0.1	0.068	5.9	0.097	0.12	1.16	0.1
Bi	0.0052	0.007	0.0052	0.0056	0.007	0.01	0.045	0.2
As	5.6	5.3	5.3	5.9	5.4	5.5	3.77	1.4
Mo	3.3	3.1	2.7	5.1	3.3	3.5	1.5	2.3
Sn	0.68	0.5	0.12	0.4	0.2	0.38	0.35	1.1
Sb	0.42	0.51	0.49	0.56	0.59	0.51	0.29	1.7
W	65	66	63	63	64	64.2	43.7	1.5
Th	0.128	0.2	0.158	0.122	0.158	0.15	0.17	0.9
U	1.17	1.04	0.96	1.16	1.06	1.08	0.74	1.4

не может удаляться из воды. Его парциальное давление и содержание в растворенном состоянии возрастают, вследствие чего уменьшается рН воды озера. Растворимость карбоната кальция с ростом парциального давления возрастает, соответственно интенсивно растет содержание кальция и карбонат-иона в озерной воде. Так как угольная кислота нейтрализует избыточную щелочность, реакция озерной воды становится менее щелочной. В этих условиях равновесие между продуктами диссоциации угольной кислоты нарушается из-за образования гидрокарбонат-иона, поэтому в подледный период наблюдается более интенсивный рост его концентрации, чем рост общей минерализации воды.

В ледовый период наблюдается рост концентрации химических элементов, которые поступают

в озеро в результате разгрузки трещинно-жильных вод (табл. 7). Разгрузка глубинных трещинно-жильных вод, в отличие от разгрузки поверхностных вод, в подледный период не прекращается, поэтому в этот период наблюдается интенсивный рост содержания микроэлементов, которые приносятся с этими водами, – никеля, молибдена, сурьмы, бора, вольфрама, лития, стронция, бария. Содержание в озере таких микроэлементов, как свинец, висмут, железо, марганец, титан, цезий, в зимний период уменьшается, вероятно, из-за того, что эти элементы поступают в озеро в основном с потоком грунтовых вод, а в зимний период объем их стока уменьшается.

После вскрытия ледяного покрова из раствора удаляется избыточный углекислый газ, вода становится более щелочной, вследствие этого часть

**Таблица 8.** Ассоциации элементов, выявленные факторным анализом содержаний микроэлементов в воде оз. Бормашового в ледовый и безледный периоды 2019 г.

Фактор	Ассоциация элементов	Вес, %
Разгрузка гидротерм	Li, B, Si, P, V, As, Br, Rb, Sr, Mo, Sb, I, Ba, W, Hg, U	26.2
Влияние уменьшения pH в ледовый период	Y, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Be, Cu, Zn, Ni	13.2
Химическое выветривание интрузивных пород грунтовыми водами	Al, Ti, Mn, Fe, Co, Zr, Nb, Pd, Ag, Hf, Bi, Th	13

**Таблица 9.** Насыщенность воды оз. Бормашового относительно некоторых карбонатных и сульфатных минералов в летний и зимний периоды

Период	Кальцит	Доломит	Магнезит	Гипс	Эпсомит	Кизерит	Сакиит	Мирабилит
Летний	2.65	4.61	-1.83	-9.92	-19.4524	-73.4241	-110.643	-139.034
Зимний	0.098	0.24	-3.64	-6.02	-14.813	-68.7845	-106.004	-138.802

гидрокарбоната превращается в карбонат-ион и происходит садка карбоната кальция. Вероятно, одновременно при разрушении карбонатных комплексов из раствора удаляется часть неустойчивых в растворе микроэлементов [2]. В меняющихся геохимических условиях наиболее устойчивы в растворе микроэлементы, находящиеся в анионной форме, – такие как молибден, сурьма, бор, ванадий, вольфрам, фосфор, а также щелочные и щелочноземельные элементы – литий, барий, стронций.

Для установления корреляционной связи между растворенными компонентами выполнен факторный анализ химического состава воды озера. В выборку включены пробы, отобранные в ледовый и безледный периоды. Применен многомерный анализ методом главных компонент, модификация варимакс. Результаты факторного анализа представлены в табл. 8.

В выборке выделяются три фактора со значимым весом изменчивости. В первом факторе ассоциацию элементов составляют микроэлементы, поведение которых находится в корреляционной связи с их поступлением в озерную воду из одного источника. Вероятно, их концентрация в озерной воде определяется разгрузкой гидротерм. В зимний период, когда доля термальных вод в питании озера возрастает, их концентрация растет; летом, когда в питании озера начинают участвовать атмосферные осадки, грунтовые и трещинно-жильные воды неглубокого заложения, содержание уменьшается. Второй фактор объединяет химические элементы, устойчивость в растворе которых зависит от образования карбонатных комплексных соединений. В зимний период в озерной воде возрастает содержание продуктов диссоциации угольной кислоты и, соответственно, увеличивается содержание выявленной ассоциации химических элементов. В третьем факторе в ассоциацию объединены хи-

мические элементы, поведение которых зависит от разгрузки в озеро грунтовых вод. Эти элементы выщелачиваются из горных пород, слагающих окружающую территорию. Породы прошли стадию физического выветривания, раздроблены криогенезом, имеют большую активную поверхность. Эти породы разлагаются движущимся через них потоком воды. Выделенная в этом факторе ассоциация элементов поступает в раствор в результате реакций гидролиза полевых шпатов, окисления сульфидных минералов, выщелачивания адсорбированных элементов из поглощающего комплекса.

Проведенные натурные исследования показали, что химический состав озерной воды в течение года испытывает значительные изменения. Для выяснения возможности образования аутигенных минералов проведены расчеты равновесий относительно ряда гипергенных минералов. Термодинамические расчеты проведены по программе HidroGeo 32 [3]. Установлено, что вода оз. Бормашового находится в равновесии только с такими карбонатными минералами, как кальцит и доломит (табл. 9).

Расчеты показывают, что в летний период осаждение карбонатов кальция и магния может происходить с большей вероятностью, чем зимой. Но основная садка карбонатных минералов происходит, вероятно, в период разрушения ледового покрова, когда из озерной воды удаляется избыточный углекислый газ. Вероятно, садка карбонатов от года к году происходит с разной интенсивностью, так как она зависит от меняющихся климатических условий в регионе [22].

#### ФАКТОРЫ И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ СОДОВЫХ ВОД В оз. БОРМАШОВОМ

Образование содовых вод в природе обычно происходит в результате длительного взаимодей-

ствия воды с горными породами, в условиях замедленного водообмена [10, 11, 24, 26]. Поверхностные водоемы, содержащие содовые воды, чаще всего формируются в аридных областях, где в бессточных котловинах с большой площадью водосбора происходит концентрирование растворенных веществ за счет испарения [2]. Большое влияние на трансформацию химического состава оказывает жизнедеятельность микроорганизмов [17].

Рассматриваемый район представляет собой горно-складчатую область, где господствуют гумидные климатические условия. В районе сформирована густая гидрографическая сеть с активным водообменом. На окружающей территории распространены интрузивные горные породы, которые слабо подвержены выветриванию, поэтому грунтовые воды, поверхностные водотоки, водоемы содержат слабоминерализованные воды. В оз. Байкал общая минерализация составляет в среднем 96 мг/дм<sup>3</sup>.

Представляется, что образованию минерального озера в этом районе благоприятствовали несколько факторов. Первый фактор связан со сложившимися тектоническими условиями. Выше показано, что поверхность фундамента перешейка и осадочных отложений наклонена к С в сторону Чивыркуйского залива. Соответственно, сток поверхностных и подземных вод, заключенных в осадочных отложениях, происходит в основном в том же направлении. А котловина оз. Бормашового находится в самой южной — наиболее поднятой части этого блока пород. От Баргузинского залива котловина озера отделена естественным поднятием, поэтому вода из Байкала за историческое время никогда не поступала в озеро. Более того, оз. Бормашовое расположено в вершине дренажной системы, сформированной в зоне разрывных нарушений меридионального направления. Поверхностный сток может поступать в озеро только с очень малой территории, расположенной к Ю от него. Ресурсы озерных вод формируются в основном за счет разгрузки подземных трещинно-жильных вод и атмосферных осадков, выпадающих в его акватории. Вследствие этого озеро характеризуется малой интенсивностью водообмена.

Второй фактор образования высокоминерализованных содовых вод связан с химическим составом и температурой трещинно-жильных вод, в основном за счет которых происходит питание озера. Выше сказано, что котловина озера находится на пересечении разломов трех направлений. По двум из них, вероятно, происходит поступление в озеро трещинно-жильных вод, а по третьему — частично их сток. Разлом северо-восточного направления относится к системе листрических сбросов, сформировавшихся при

вздымании Баргузинского хребта. По нему происходило сползание блока пород, находящихся на границе горста и грабена. Он имеет наиболее низкие абсолютные отметки в системе листрических сбросов, и по нему за счет гидростатического давления близко к поверхности земли поднимаются нагретые в недрах трещинно-жильные воды. Авторами показано, что породы в зоне этого разлома сильно раздроблены за счет не только разрушения при тектонических подвижках, но и морозного выветривания пород. Поэтому породы активно взаимодействуют с водой, в растворе накапливаются кальций, натрий, магний, микроэлементы. В результате разгрузки этих вод растет минерализация озерной воды, она обогащается многими биоактивными химическими элементами. Разлом северо-западного простирания пересекает весь грабен Баргузин-Чивыркуйского перешейка. По нему движутся воды глубокого заложения как с п-ова Святой Нос, так и с Баргузинского хребта. Примерно посередине перешейка он пересекается разломом северо-восточного простирания, в этом месте наблюдается разгрузка термальных вод сульфатного натриевого типа, которые проявляются в повышенных содержаниях сульфат-иона в малых озерах, болотах и поверхностных водотоках. На пересечении этих разломов наблюдаются пропарины во льду в акватории Баргузинского залива, грязевый вулканизм и спонтанные выделения метана. А поток трещинно-жильных вод, движущийся с Баргузинского хребта, перехватывается меридиональным разломом, в пределах которого находится котловина оз. Бормашового. Так как перепад абсолютных высот в этом месте Баргузинского хребта небольшой, то глубина проникновения трещинно-жильных вод не столь большая, как в пределах п-ова Святой Нос. Время взаимодействия воды с породами и степень метаморфизации воды невысоки, в основном эти воды относятся к гидрокарбонатному кальциево-натриевому типу с минерализацией воды 200–250 мг/дм<sup>3</sup> [21]. Температура этих трещинно-жильных вод, предположительно, 10–20°C. В результате разгрузки трещинно-жильных вод в озере накапливаются биоактивные элементы, такие как фосфор, калий, железо, цинк, медь и др., что благоприятствует развитию фитопланктона.

Летом вода в озере очень быстро прогревается, в том числе за счет подпитки теплыми водами, и зацветает. Щелочные условия обуславливают развитие в водах и донных осадках алкалофильных микроорганизмов, способных проводить биохимические реакции в щелочных условиях среды [5]. При обследовании озера установлено, что вся толща воды заполнена микроводорослями. Зимой микрофлора отмирает и оседает на дно водоема. Так как в акваторию озера разгружаются теплые воды, то донные отложения перерабаты-

ваются микроорганизмами круглый год. Наблюдаются тесные взаимоотношения между бактериями-продуцентами органического вещества и бактериями-деструкторами, что обеспечивает устойчивость алкалофильного прокариотного сообщества. В деструкции органического вещества участвуют различные виды бактерий-деструкторов. Между слоями бактериальных матов отлагаются карбонаты [17]. В раствор поступают продукты разложения органического вещества, в том числе и конечный продукт их окислительного разложения – углекислый газ. Высокая биопродуктивность озера, несмотря на изменения климата, сохраняется длительное время, поэтому на дне озера сформировались отложения сапропеля. Грязевая залежь занимает большую часть озерной котловины. Она имеет двухслойное строение: верхняя часть (0.0–0.7 м) сложена сапропелями серого цвета, нижняя (0.7–1.5 м) – сапропелем черного цвета. Средняя мощность грязевой залежи составляет 0.64, максимальная – 1.5 м. Окислительное разложение отмершей растительности и сапропеля – третий фактор трансформации химического состава воды по содовому направлению. В результате разложения сапропеля и остатков водной растительности вода озера насыщается углекислым газом. В зависимости от рН среды в растворе могут существовать разные формы диссоциации угольной кислоты. В нейтральных и слабощелочных условиях водной среды основная форма существования – гидрокарбонат-ион.

Четвертый фактор формирования содовых вод в озере – образование в зимний период ледового покрова. В результате замерзания воды происходит концентрирование растворенных веществ в озерной воде. Кроме того, ледяной покров препятствует удалению из воды образующегося углекислого газа. Авторами показано, что в результате сложных преобразований форм нахождения угольной кислоты из раствора высаживаются карбонат кальция и карбонат магния. В результате этого в озерной воде накапливаются натрий и гидрокарбонат-ион, вода становится содовой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены основные причины образования минерализованного содового оз. Бормашового, расположенного на побережье Байкала. Показано, что котловина озера приурочена к породам, сильно раздробленным морозным выветриванием. Она отделена от Байкала тектоническим поднятием, поэтому озеро не испытывает воздействия байкальской воды. Так как фундамент, слои осадочных пород и поверхность Баргузин-Чивыркуйского перешейка наклонены к С, поверхностный сток в озеро весьма ограничен, происходит с очень малой территории, расположенной к Ю от него. Озеро питается в основном трещин-

но-жильными, грунтовыми и атмосферными водами. Под воздействием разгрузки трещинно-жильных и грунтовых вод в озере накапливаются биологически активные химические элементы. В летний период вода озера быстро и интенсивно прогревается и зацветает. Зимой в результате разложения органических остатков и отложений сапропеля в озере создается избыточное давление углекислого газа, уменьшается рН среды, возрастает содержание кальция, карбонат-иона. При разрушении ледового покрова парциальное давление углекислого газа уменьшается и происходит садка карбонатных минералов кальция и магния. В результате этого в озерной воде накапливаются натрий и гидрокарбонат-ион, вода становится содовой. Так как в минеральном озере сформирована щелочная среда, в растворе устойчивы микроэлементы, образующие в растворе анионы, среди них выделяются фосфор, бор, вольфрам.

Бормашовое озеро представляет собой уникальный водный объект с соленой водой, существующий длительное время всего в 1 км от Байкала. Его образование тесно связано с геологической историей Баргузин-Чивыркуйского перешейка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Шестакова О.Н. Направленность изменений растительности и климата Байкальского региона за последние 5 млн лет по данным палинологического исследования осадков озера Байкал // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 5. С. 739–749.
2. Борзенко С.В., Федоров И.А. Закономерности поведения некоторых микроэлементов в минеральных озерах Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. С. 69–74.
3. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии // Разведка и охрана недр. 1997. № 2. С. 37–39.
4. Верещагин Г.Ю. Отчет о работах, произведенных на Байкале во время командировки от Императорской Академии Наук летом 1916 года // Тр. Комиссии по изучению оз. Байкал. 1918. Т. 1. Вып. 1. 104 с.
5. Горленко В.М., Намсараев Б.Б., Кулырова А.В. и др. Активность сульфатредуцирующих бактерий в донных осадках содовых озер Юго-Восточного Забайкалья // Микробиология. 1999. Т. 68. № 5. С. 664–670.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Л. N-49-XVI (Карафтит). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 102 с.
7. Дзюба А.А., Кулагина Н.В., Абидуева Т.И., Черных А.Л. Минеральные озера Баргузинско-Чивыркуйского перешейка // География и природ. ресурсы. 2002. № 2. С. 61–67.
8. Дзюба А.А., Тулохонов А.К., Абидуева Т.И., Гребнева П.И. Палеогеографические аспекты формиро-

- вания соленых озер Баргузинской котловины // География и природ. ресурсы. 1997. № 4. С. 65–71.
9. *Дмитриев Г.Л.* История осадконакопления на перешейке полуострова Святой Нос (Байкал) // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. М., 1968. С. 89–97.
  10. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец Б.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
  11. *Лепокурова О.Е.* Содовые подземные воды юга Кузбасса: изотопно-химические особенности и условия формирования // Геохимия. 2018. № 9. С. 904–919.
  12. *Логачев Н.А.* О рациональном районировании геологической структуры впадины озера Байкал // ДАН. 2000. Т. 375. № 5. С. 657–661.
  13. *Ломоносов И.С., Мясников А.А., Абалаков А.Д.* Радиогеохимия природных вод Баргузино-Чивыркуйского перешейка (Забайкальский национальный парк) // Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. Подземная гидросфера. Иркутск: ИРГТУ, 2006. С. 61–86.
  14. *Лунина О.В.* Разломы и сейсмически индуцированные геологические процессы на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях. Новосибирск: СО РАН, 2016. 226 с.
  15. *Лунина О.В., Гладков А.С.* Активные разломы и поля напряжения северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 1–11.
  16. Минеральные воды южной части Восточной Сибири / Под ред. *В.Г. Ткачук, Н.И. Толстихина.* М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 1. 346 с.
  17. *Намсараев Б.Б., Бархутова Д.Д.* Содовые озера южного Забайкалья – уникальные экосистемы // Вестн. Бурятского гос. ун-та. Биология. География. 2018. № 1. С. 82–86.
  18. *Намсараев Б.Б., Хахинов В.В., Гармаев Е.Ж., Бархутова Д.Д., Намсараев З.Б., Плюснин А.М.* Водные системы Баргузинской котловины. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2007. 152 с.
  19. Палеолимнологические реконструкции. Байкальская рифтовая зона / Отв. ред. *Н.А. Логачев.* Новосибирск: Наука, 1989. 109 с.
  20. *Перязева Е.Г., Плюснин А.М., Гармаева С.З., Будаев Р.Ц., Жамбалова Д.И.* Особенности формирования химического состава озерных вод вдоль восточных берегов Байкала // География и природ. ресурсы. 2016. № 5. С. 49–59.
  21. *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.
  22. *Солотчин П.А., Склярёв Е.В., Солотчина Э.П., Маркова Ю.Н.* Карбонатная седиментация в малых минеральных озерах Западного Забайкалья: отклик на изменения климата голоцена // ДАН. 2017. Т. 473. № 6. С. 703–708.
  23. *Хахинов В.В., Намсараев Б.Б., Доржиева С.С., Бурюхаев С.П.* Гидрохимическая и микробиологическая характеристики болотных экосистем перешейка полуострова Святой Нос (озеро Байкал) // География и природ. ресурсы. 2012. № 4. С. 65–71.
  24. *Шварцев С.Л.* Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами: Обзор // Геология и геофизика. 1991. № 12. С. 16–50.
  25. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
  26. *Kimura K.* Mechanism of the forming of ground water with high content of sodium bicarbonate onto the plains part of the formation Kobe (Japan) // J. Ground Water Hydrol. 1992. V. 32 (1). P. 5–16.