

УДК 553.73(571.54)

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО, МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И РАСТВОРЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2024 г. А. В. Украинцев^{а, *}, А. М. Плюсин^а, М. К. Чернявский^а

^аГеологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН

Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а

*e-mail: ukraintsev87@bk.ru

Поступила в редакцию 20.09.2023 г.

После доработки 28.12.2023 г.

Принята к публикации 11.02.2024 г.

В статье представлены результаты исследования железистых минеральных вод, относящихся к бескислородно-бессульфидному и кислому типам, которые разгружаются на территории Западного Забайкалья. С применением современных методов установлены особенности формирования газового, макро- и микрокомпонентного состава, растворенных органических веществ. Показано, что на химический состав вод большое влияние оказывают кислотно-основные условия среды. В кислых железистых водах в больших количествах присутствуют тяжелые металлы, органическое вещество представлено в основном низкомолекулярными органическими соединениями. В бескислородно-бессульфидных железистых водах из металлов в значимых количествах присутствуют только марганец и цинк. Растворенное органическое вещество представлено разнообразными типами высокомолекулярных соединений, которые формируются в результате биотических процессов.

Ключевые слова: железистые минеральные воды, состав свободных газов, растворенное органическое вещество, трещинно-жильные воды, лечебный эффект

DOI: 10.31857/S0016752524060069, **EDN:** JALTND

ВВЕДЕНИЕ

Холодные минеральные источники железистого типа не так широко распространены на территории западного Забайкалья, как азотные термальные или углекислые воды, но они имеют большое практическое значение — используются населением для лечения желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, печени и других жизненно важных органов.

Для отнесения воды к минеральным железистым содержание биологически активного железа в воде должно быть не менее 10 мг/л (Ходина, 1980; ГОСТ, 2011). Этот тип вод активно используется в бальнеологических целях. Первый в России курорт «Марциальные воды» был основан в 1719 г. именно на источнике железистых минеральных вод. При курортном лечении железистые воды назначаются для лечения анемии, связанной с гематурией, которой нередко сопутствуют заболевания почек и мочевыводящих путей. Железистые минеральные воды стимулируют образование эритроцитов, увеличивают содержание гемоглобина в крови, повышают общую резистентность организма к неблагоприятным воздействиям, улучшают функции органов пищеварения (Меньшина, 2007). На примере вод курорта «Trefri Wells Spa»

(Уэльс, Великобритания) исследователи показали, что применение железистых вод эффективно помогает восполнить недостаток железа в организме, в том числе у женщин в период беременности, железо в этих водах обладает высокой биодоступностью (Worwood et al., 1996; McKenna et al., 2003).

Помимо бальнеологического действия железистых минеральных вод, внимание исследователей привлекают гидрогеологические условия их проявления на различных территориях (Хаустов и др., 2019; Дейнека, 2003; Menció et al., 2016), а также вопросы формирования их ресурсов и химического состава (Замана, 2013; Токарев и др., 2015). В ряде научных работ обсуждаются микробиологические процессы, активно протекающие в зонах разгрузки железистых минеральных источников (Кашкак и др., 2020; Hegler et al., 2012). Но еще остается недостаточно изученным химический состав вод, который определяет их лечебные свойства. Среди компонентов химического состава, выделяющих лечебные свойства вод, выделяются растворенные органические вещества (РОВ). Длительное время эти компоненты не определялись в водах, так как не было достаточно чувствительной методики их определения.

Представленная работа посвящена выяснению условий формирования химического состава

железистых минеральных источников, относящихся к бескислородно-бессульфидному и кислому типам, которые разгружаются на территории Западного Забайкалья и широко используются в бальнеологических целях (Иванов, Невраев, 1964; Крайнов и др., 1982).

В качестве объектов исследования выбраны два источника: Хонгор-Уула, который находится в юго-западном Прибайкалье, и Марактинский, расположенный на Витимском плоскогорье (рис.1).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Источник Хонгор-Уула (N51°35.336', E102°19.917') расположен в предгорьях хребта Гурби-Дабан, окаймляющего Тункинскую впадину с юга. В 1952 г. на железистых источниках Хонгор-Уула была организована здравница местного значения и построен дом отдыха. Источник находится в границах Тункинского национального парка и утвержден в качестве водного регионального памятника природы решением Совета Министров Бурятской АССР № 18 от 18 января 1984 г. Разгрузка минеральных вод происходит на террасах по обоим берегам р. Харагун. Всего насчитывается 10 выходов,

суммарный дебит составляет порядка 3 л/с. Каждый выход имеет свое уникальное название, предполагающее его целебное назначение: Сердечный, Почечный, Общеукрепляющий, Печеночный, Женский, Мужской, Нервный, Желудочный, Кишечный, Глазной. Вода имеет сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциево-магниевый состав с общей минерализацией до 0.2 г/л и содержанием железа около 10 мг/л. Температура на выходе в среднем составляет 4.3 °С; pH 7.7. Большинство выходов имеет нисходящий (Печеночный, Нервный и др.) или слабовыраженный восходящий (Кишечный и Желудочный) характер разгрузки. Выходы сосредоточенные, состоят в основном из одной головки и образуют воронки округлой формы. Часть родников каптированы металлическими трубами и желобами, поверхность в местах выхода подземных вод покрыта оксидами железа (Аузина и др., 2014).

Марактинский источник (N52°31.798', E110°34.518') расположен в левом борту долины р. Маракты (правый приток р. Уды). Он относится к водным региональным памятникам природы (Постановление Совета министров Бурятской АССР от 02.12.1981 № 378.). Источник площадной,



Рис. 1. Карта-схема расположения изучаемых минеральных источников.

восходящего типа, вода заполняет воронку диаметром около 10 м и имеет расход 0.2–0.3 л/с. Разгрузка минеральных вод приурочена к катаклазированным породам (граниты, кислые эффузивы) зоны разлома северо-восточного простирания (Борисенко, Замана, 1978). По химическому составу вода сульфатно-кальциевая, содержит до 49 мг/л железа. Общая минерализация 0.86 г/л; температура на выходе составляет 0.1 °С; pH 5.8.

ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНОВ ВЫХОДОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Источник Хонгор-Уула разгружается в пределах безымянной свиты, сложенной гнейсами, плагиогнейсами и кристаллическими сланцами, среди которых преобладают биотитовые силлиманит-биотитовые, реже амфибол-биотитовые разновидности. Область питания источника включает в себя участок тиссинских базальтов, которые представляют собой темно-серые и черные, мелкокристаллические, нередко пористые породы с офитовой и интерсертальной структурой и состоят из

лабрадора (40 %), оливина (30 %), моноклинного пироксена (20–25 %), вулканического стекла (5–7 %) и аксессуарных примесей — апатита и рудных минералов (рис. 2) (Самбург, 1971). Миграция насыщенных железом вод от базальтового тела происходит по разлому северо-восточного простирания, который в месте выхода источника пересекает Ингасун-Зубкогонский разлом субширотного простирания (Лунина и др., 2009).

В структурно-гидрогеологическом отношении выходы подземных вод расположены на границе самого крупного в пределах Тункинской ветви Байкальской рифтовой зоны Тункинского гидрогеологического бассейна и гидрогеологического массива, сформированного в пределах хребта Гурби-Дабан, низкогорного отрога Хамар-Дабана. Выходы вод приурочены к пересечению зон обводненных разломов субширотного и субмеридионального направлений, что вполне характерно для тектонических структур данной территории (Аузина и др., 2014). Источник во многих выходах имеет родниковые воронки, где наблюдаются восходящие струи воды.

Марактинский источник приурочен к верхней подсвите Удинской свиты кислых эффузивов, их

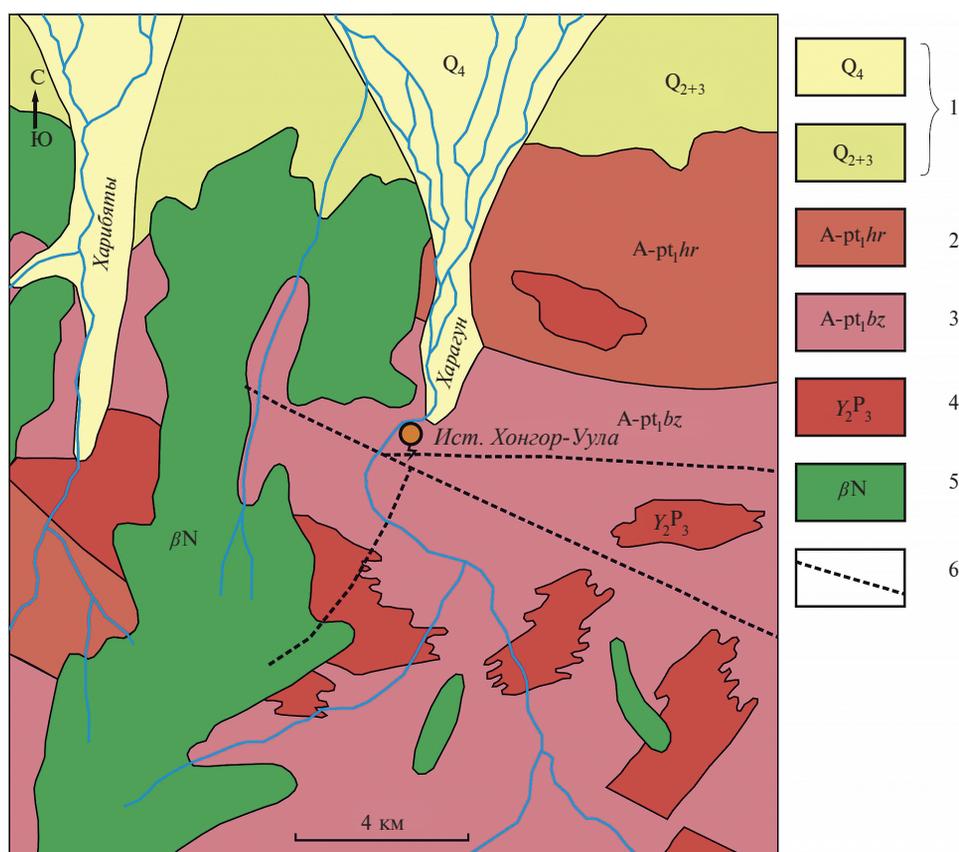


Рис. 2. Геологическая карта-схема района выхода источника Хонгор-Уула (по материалам геологической карты СССР, лист М-48-1 (Самбург, 1969)). 1 — четвертичные отложения; 2 — Харагольская свита. Гнейсы и плагиогнейсы, карбонатно-силикатные породы, мраморы, амфиболиты; 3 — Безымянская свита. Гнейсы, плагиогнейсы и кристаллические сланцы; 4 — Позднепротерозойские интрузии. Саянский комплекс. Биотитовые граниты и плагиограниты; 5 — Тиссинские базальты плато; 6 — линия тектонического нарушения.

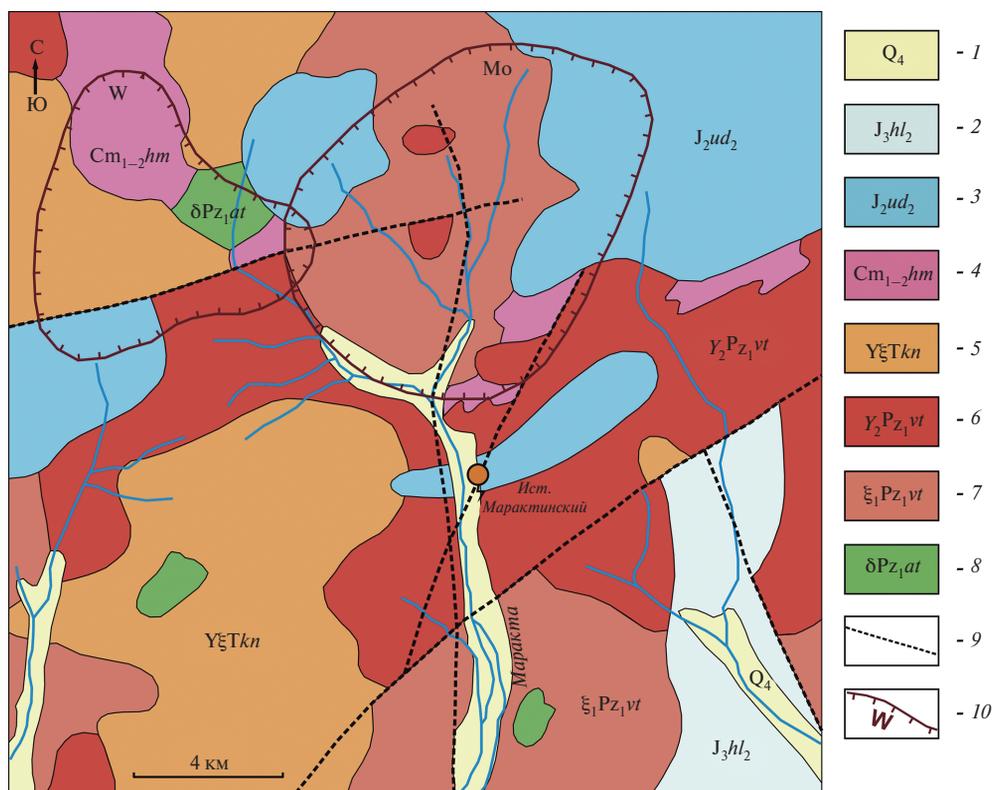


Рис. 3. Геологическая карта-схема района выхода Марактинского источника (по материалам карты полезных ископаемых СССР, лист N-49-XXXIII (Трунев, Сотников, 1971)). 1 — четвертичные отложения; 2 — Хилокская свита. Трахибазальты, субщелочные базальты, плагиобазальты; 3 — Удинская свита. Кислые эффузивы и их туфы, перлиты; 4 — Химгильдинская свита. Бiotит-кварцевые сланцы, линзы известняков; 5 — Триасовые интрузии. Куналейский комплекс. Граносиениты; Раннепалеозойские интрузии; 6 — Витимканский комплекс, II фаза. Лейкократовые биотитовые граниты; 7 — Витимканский комплекс, I фаза. Порфириовидные биотитовые граниты, граносиениты, гранодиориты; 8 — Атарханский комплекс. Диориты; 9 — линия тектонического контакта; 10 — ореолы рассеяния элементов.

туфов и туфобрекчий, которые частично перекрывают гранитоиды Витимканского комплекса. Разгрузка источника происходит в правом борту долины реки Маракта, который в значительной степени заморожен, мерзлота препятствует движению трещинно-жильных вод и они выходят на поверхность. Источник относится к восходящему типу, в месте разгрузки имеется родниковая воронка. В области питания источника, которая происходит за счет проникновения атмосферных осадков в открытые трещины, присутствуют участки вольфрамовой и молибденовой минерализации, а также выявлены флюоритовое и медное рудопроявления (рис. 3). Движение воды происходит по Марактинскому разлому субмеридианального простирания (Лунина и др., 2009).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В полевых условиях измерялись основные физико-химические параметры вод минеральных источников. Показатель pH определялся с помощью портативного pH-метра PH-911, эквивалентное солесодержание (TDS) — с помощью

кондуктометра «МАРК-603», температура воды измерялась цифровым термометром «CENTER375». Отбирались пробы воды и свободного газа для изучения их химического состава. Воду для макрокомпонентного анализа отбирали в пластиковые бутылки объемом 1.5 л. Анализ макрокомпонентного состава воды выполнялся в сертифицированной лаборатории Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН (аналитик Д. И. Жамбалова) по стандартным методикам для пресных и соленых вод. Катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) определяли методами атомной абсорбции; содержания F^- , SiO_2 — колориметрическим методом; HCO_3^- , CO_3^{2-} и Cl^- — титриметрическим, SO_4^{2-} — турбидиметрическим методами. Пробы воды для определения микроэлементов отбирали одноразовыми медицинскими шприцами, фильтровали через одноразовые полистирольные стерильные шприц-насадки Minisart 16555-K (0.45 мкм, ацетат целлюлозы, Sartorius Stedim Biotech GmbH, Германия). Фильтрат помещали в предварительно взвешенные полипропиленовые пробирки Эппендорфа объемом 2 мл, содержащие 40 мкл 70 % HNO_3 . Анализ микроэлементного состава выполнен

методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 в Лимнологическом институте СО РАН согласно методике, описанной в (Чебыкин и др., 2012). Пробы свободного газа отбирались методом вытеснения воды в стеклянные бутылки объемом 500 мл. В бутылке создавался гидрозатвор, затем она плотно закупоривалась резиновой пробкой. При транспортировке до лаборатории бутылки хранились вниз горлышком. Состав свободного газа был проанализирован методом газовой хроматографии в ООО Научно-производственная фирма «Сибэксервис» (г. Иркутск). Хроматограф «Хромос GX-1000».

При определении состава растворенных органических веществ, содержащихся в минеральных водах, необходимо учитывать, что после выхода на поверхность часть соединений может со временем удаляться из раствора, либо трансформироваться в результате взаимодействия с атмосферным воздухом, солнечным светом и другими факторами внешней среды. В связи с этим, особое внимание было уделено пробоподготовке. Одним из наиболее подходящих в данном случае методов является метод твердофазной экстракции (ТФЭ). Он состоит в концентрировании и отделении от матрицы целевого вещества (аналита) с использованием твердофазных сорбентов, с последующим элюированием (экстракцией) подходящим растворителем. В результате ТФЭ: 1) интересующие нас компоненты пробы концентрируются; 2) целевые вещества переводятся на другую матрицу, что позволяет сохранить их состав неизменным до проведения анализа; 3) проба очищается от нежелательных примесей (Другов, Родин, 2002). С учетом возможностей данного метода нами была разработана портативная установка для проведения ТФЭ в полевых условиях, ее применение позволяет производить пробоподготовку непосредственно вблизи источников сразу после отбора пробы (Украинцев, Плюснин, 2019). В концентрирующей установке используются патроны с универсальным сорбентом Strata C18-E (Phenomenex) на основе силикагеля с химически привитыми функциональными группами. Данный сорбент способен извлекать из водных растворов широкий спектр органических соединений (Environmental..., 2007). Через патрон с сорбентом пропускается 100 мл предварительно профильтрованной анализируемой воды. Для поддержания стабильной скорости потока используется ручной вакуумный насос и ресивер, представляющий собой стеклянную колбу, объемом 1 л. Разряжение порядка 0.9–0.95 атм. позволяет поддерживать скорость потока воды 1 мл/мин. В качестве растворителя для кондиционирования (подготовки) патрона и экстракции аналита используется ацетонитрил. При элюировании через сорбент пропускается 1 мл ацетонитрила, концентрат органических соединений собирается в специальные стеклянные вials объемом 1.2 мл, в которых

пробы могут храниться до проведения анализа. Методика позволяет концентрировать органические вещества в 100 раз. Упаривание полученной пробы на водяной бане может дополнительно повысить коэффициент концентрирования до 1000. Состав органических веществ в концентрате определяется методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Анализ полученных нами образцов проводился в Институте катализа СО РАН с использованием прибора Agilent 7000B GC/MS и имеющегося в этом институте банка данных органических веществ и стандартных образцов.

Источник Хонгор-Уула обследовался дважды: в 2017 и 2018 годах. Марактинский источник — трижды: в 2007, 2011 и 2017 годах. За все годы при изучении минеральных источников Хонгор-Уула и Марактинский было отобрано 5 проб воды для изучения макрокомпонентного состава, 2 пробы — для определения микрокомпонентов, 2 пробы свободных газов, 2 пробы для определения состава РОВ. Также при подготовке данной работы использовались данные по составу вод изучаемых источников, полученные ранее другими исследователями (Минеральные воды..., 1961; Борисенко, Замана, 1978; Аузина и др., 2014; Кашкак и др., 2020)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Макрокомпонентный и газовый состав

В химическом и газовом составе исследованных источников имеются существенные различия. Источник Хонгор-Уула имеет минерализацию до 0.2 г/л, в катионном составе концентрации кальция, натрия и магния сравнимы, в анионном составе преобладает гидрокарбонат (рис. 4). Вода имеет слабо щелочную реакцию ($\text{pH} = 7.7$), температура воды 4.3 °С. Содержание кремниевой кислоты 39 мг/л. В месте разгрузки источника наблюдается осаждение большого количества гидроксида железа, который покрывает дно родниковой воронки, взвесь рыжего цвета отлагается на камнях, водной растительности, корягах и других предметах в родниковой воронке в виде рыхлой пленки.

Вода Марактинского источника характеризуется большей минерализацией (до 0.86 г/л). Среди катионов преобладает кальций (96 мг/л), в анионном составе преобладает сульфат, вода имеет кислую реакцию ($\text{pH} = 5.8$). В воде обнаруживаются высокое содержание кремниевой кислоты — 58 мг/л. Температура воды составляет 0.1 °С.

Анионный состав вод коррелирует с содержанием железа: сульфатные воды Марактинского источника характеризуются содержанием железа до 49 мг/л, в то время как воды источника Хонгор-Уула, сульфатно-гидрокарбонатного состава, менее обогащены железом (10 мг/л).

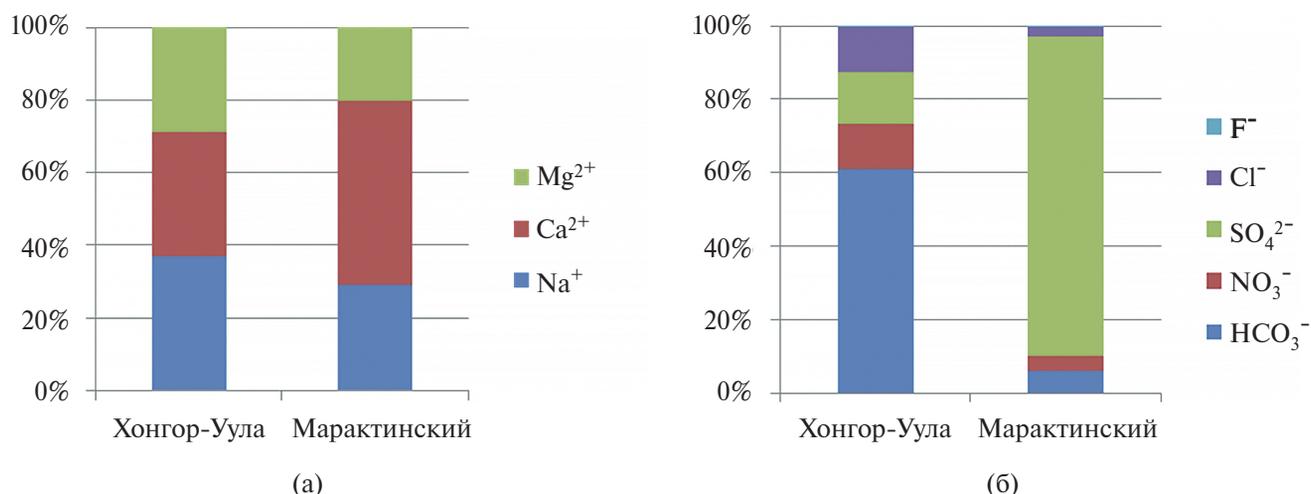


Рис. 4. Катионный (без учета железа) (а) и анионный (б) состав вод исследуемых источников, мг/экв., %.

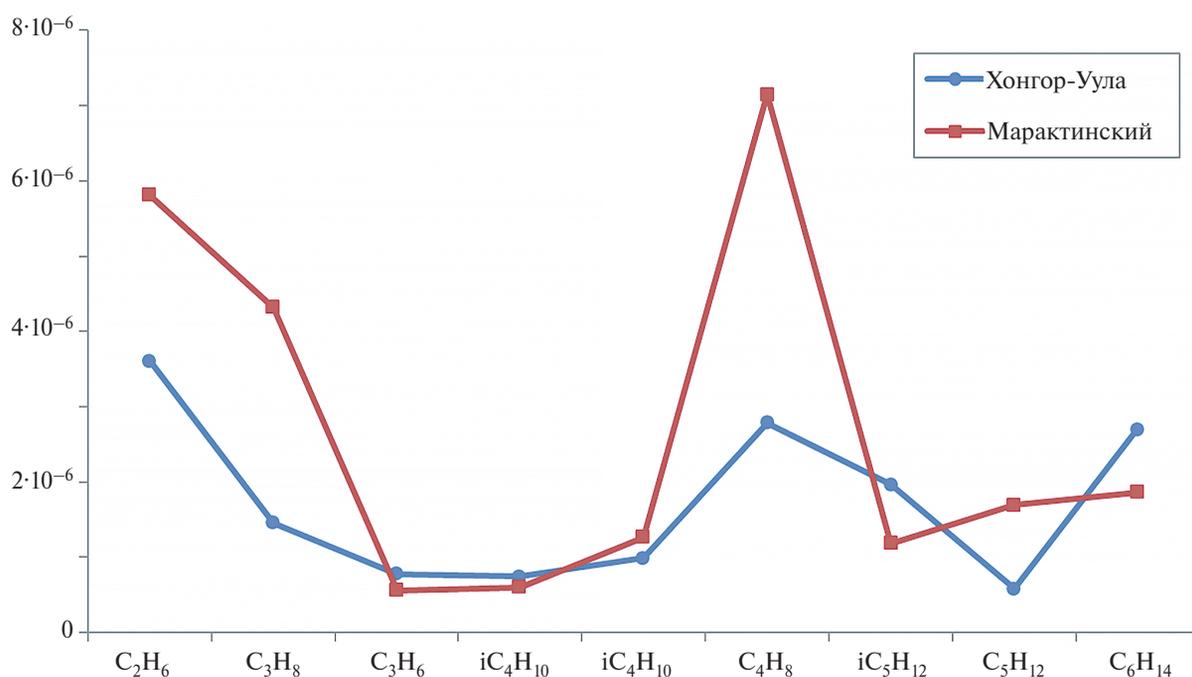


Рис. 5. Распределение предельных и непредельных углеводородов в железистых источниках.

В составе свободных газов обоих источников преобладает азот (табл. 1). Присутствие больших количеств азота и аргона в составе газов говорит о том, что оба источника связаны с трещинно-жильными водами, имеющими длительную историю формирования химического состава. Их газовый и химический состав в значительной степени определяется взаимодействием вод с вмещающими породами. Газы имеют атмосферное происхождение, они проникли в недра вместе с водой. По мере расходования воды в реакциях гидролиза с вмещающими воды породами, которые происходят в пределах разрывных нарушений,

концентрация азота и аргона постепенно возрастает и они выделяются в свободную фазу. Связь вод с разломами подтверждается относительно повышенными содержаниями в свободном газе гелия, который мигрирует и накапливается в открытых разрывных нарушениях за счет распада естественных радиоактивных элементов. В составе свободного газа Марактинского источника относительно много углекислого газа, это связано с тем, что в кислой среде CO₂ является наиболее устойчивой формой нахождения угольной кислоты. Относительно повышенное содержание углекислого газа в источнике Хонгор-Уула связано, вероятно,

Таблица 1. Состав свободных газов в минеральных источниках железистого типа, %

Источник	He	H ₂	CO ₂	O ₂	N ₂	Ar	CH ₄	ΣC ₂ H ₆ – C ₆ H ₁₄	ΣC ₂ H ₄ – C ₄ H ₈
Хонгор-Уула	6.06E-03	1.70E-04	1.62	0.01	97.5	2.51	0.003	1.20E-05	5.75E-06
Марактинский	1.61E-02	2.31E-04	7.22	0.02	91.8	8.21	0.002	1.67E-05	9.68E-06

с бактериальным разложением органических веществ, поступающих с поверхности. Кислорода в составе свободных газов обоих источников немного, так как он расходуется в Марактинском источнике на окисление сульфидной минерализации, а в Хонгор-Уулинском источнике на окисление органических веществ.

В составе свободного газа присутствует метан и водород, эти газы, вероятно, имеют биогенное происхождение. Также как и легкие предельные и непредельные углеводороды. Их распределение в источниках имеет однотипный характер (рис. 5), хотя в Марактинском источнике наблюдаются относительно более высокие содержания этана, пропана и бутилена. В то время как содержания пропилена, изо-бутана, изо-пентана, гексана меньше чем в источнике Хонгор-Уула. В целом можно видеть, что в источнике Хонгор-Уула наблюдается стабильное присутствие высоких концентраций углеводородов с четным числом углерода в цепочках, что характерно для органических веществ биогенного происхождения. Для Марактинского источника в газовой фазе наблюдается большая дисперсия в количестве легких и тяжелых предельных углеводородов. Так этана и пропана значительно больше, чем бутана, пентана и гексана.

Органические вещества в водорастворимой форме

Состав растворенного органического вещества в рассматриваемых источниках, в основном, определяется особенностями разложения гумуса в различных геохимических условиях. Вероятно, изначально состав органических веществ был примерно одинаков, так как основная его масса сформирована при взаимодействии атмосферных осадков с растительностью и почвами в таежных ландшафтах. Некоторая часть органических веществ, вероятно, была выщелочена из осадочных горных пород.

В экстрактах проб воды этих минеральных источников определено 84 органических соединения, которые объединены в 8 групп (табл. 2).

Углеводороды в водах исследуемых источников в основном представлены алифатическими

соединениями. Основной формой миграции органических веществ в железистых минеральных водах являются простые эфиры. Эти соединения хорошо растворимы в воде даже при низких температурах. Ранее нами установлено, что эфиры также преобладают в составе углеводородов холодных углекислых и азотных термальных источников (Украинцев, Плюснин, 2020). Вероятно, эфиры являются наиболее распространенной формой миграции органических веществ в водах, так как обладают хорошей растворимостью в воде. Кроме эфиров установлены относительно высокие содержания спиртов, которые представлены веществами с различной молекулярной массой и различным числом гидроксильных групп.

На рис. 6 приведены спектры распределения органических веществ в рассматриваемых источниках. В источнике Хонгор-Уула выделено 53 органических вещества, которые фиксируются на спектрограмме в течение 23 минут при разделении веществ на хроматографической колонке. В конце спектрограммы формируется повышенный фон, вероятно, связанный с прохождением через колонку высокомолекулярных веществ. В Марактинском источнике выделено 31 органическое вещество. Спектр распределения более простой, выделяется три отрезка времени компактного выхода из колонки органических веществ.

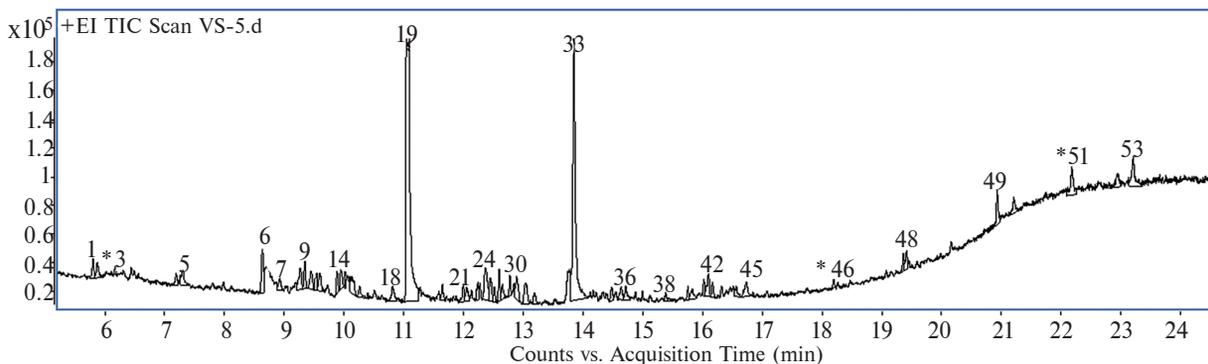
В пробе, отобранной на источнике Хонгор-Уула, по времени удерживания в хроматографической колонке выделяется четыре обособленные группы органических веществ. По всей вероятности, на разделение веществ в колонке оказывают влияние три фактора: 1) молекулярная масса веществ, 2) структурная изомеризация молекул и 3) химический состав органических веществ.

В таблице 3 приведены результаты расшифровки спектрограмм, которые представлены по мере возрастания времени удерживания веществ в колонке.

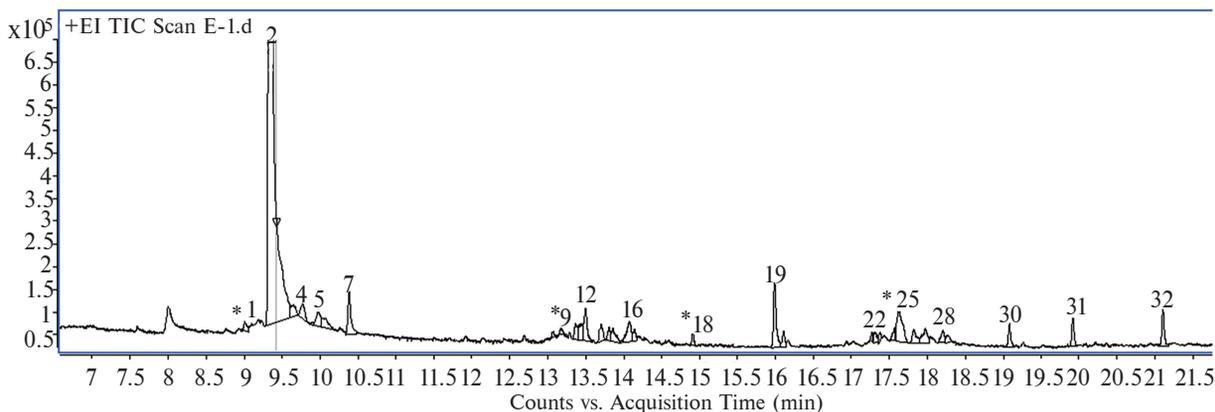
Рассмотрим растворенные органические вещества в источнике Хонгор-Уула. Предельные углеводороды слабо взаимодействуют с адсорбентами в колонке, поэтому время удерживания их минимальное. Они образуют первую группу пиков. Вначале выходит из колонки наиболее легкий

Таблица 2. Состав углеводородов, обнаруженных в водах минеральных источников железистого типа, %

Источник	Эфиры	Сложные эфиры	Спирты	Алканы	Органич. кислоты	Амиды	Эфирные масла	Не опред. вещества
Хонгор-Уула	76.11	2.63	11.44	3.05	1.3	0.47	3.62	1.37
Марактинский	75	2.99	14.1	0.68	0	0	0	7.21



(a)



(б)

Рис. 6. Спектр хроматограммы распределения растворенных органических веществ в источниках Хонгор-Уула (а) и Марактинский (б).

и неразветвленный — тетрадекан, затем, вероятно, его изомеры. Вслед за ними через колонку проходят спирты, образовавшиеся из этих алифатических соединений. Вторая обособленная группа начинается с гексадекана. В нее входит более десяти спиртов, вероятно, они являются продуктами изомеризации и гидролиза гексадекана под воздействием микроорганизмов. Далее на хроматограмме проявляются более сложные соединения, содержащие несколько кислородных мостиков. Гидрат цитронеллола имеет молекулу с одним кислородом и одной двойной связью, он представляет промежуточное звено в формировании большой группы эфиров. Наибольшей распространенностью среди них выделяется бутоксиэтоксизэтанол. Далее следует группа двухатомных и трехатомных спиртов с различной изомерной структурой. В этой же группе проявляются эфирные масла, которые представляют собой класс непредельных углеводородов, являющихся продуктами биосинтеза. Среди определенных алифатических органических соединений доминируют вещества с четным количеством атомов углерода в цепочках.

Выделяется две группы ароматических углеводородов. Первая группа ароматических углеводородов представлена диэтилтолуамидом и продуктами его этерификации. Вторая группа ароматических

углеводородов, установленная в пробе, представлена фталатами. Эти соединения, по нашему мнению, могут иметь не природное происхождение, а вымываться из полимерной посуды и оборудования, которое использовалось при концентрировании органических веществ. Так как известно, что сложные эфиры фталевой кислоты широко используются в процессах полимеризации в качестве пластификаторов.

Далее на 21 минуте на хроматограмме контрастно выделяется пик, который интерпретируется как высокомолекулярные органические кислоты. Еще несколько пиков связаны с выходом высокомолекулярных эфиров триэтиленгликоля.

В Марактинском источнике выделяется 31 органическое вещество. Алканов в воде этого источника не выявлено. В отличие от ранее рассмотренного источника основную массу растворенных веществ представляют низкомолекулярные эфиры. Наиболее распространенным органическим соединением является бутиловый эфир диэтиленгликоля, который составляет 70.69 % от всех определенных в пробе органических соединений. В значимых количествах установлены мононониловый эфир диэтиленгликоля, монододециловый эфир диэтиленгликоля. Все эти простые эфиры

образуются, вероятно, химическим путем в результате межмолекулярной дегидратации спиртов. Если посмотреть на структурную формулу этих эфиров, можно видеть, что исходными в реакции дегидратации были низкомолекулярные спирты — метанол, этанол, пропанол. Реакции дегидратации спиртов и образованию эфиров благоприятствует присутствие серной кислоты. Следующая по массе группа алифатических соединений представлена спиртами. Среди них идентифицированы нонанол, деканол. Также в пробе обнаружен сложный эфир.

Следует отметить, что алифатические соединения содержат как четное, так и нечетное количество углерода в цепочках.

Ароматические соединения представлены ментолом, диэтилтолуамидом, ди-н-бутилфталатом, ди-изо-бутилфталатом. В пробе обнаружено фосфор- и хлор- содержащее соединение — амгард. Как уже было сказано выше, фталаты, вероятно, связаны с загрязнением используемой посуды. Амгард и другие ароматические соединения,

Таблица 3. Характеристика растворенных органических веществ в железистых источниках Хонгор-Уула и Марактинский

Время выхода, мин	Ист. Хонгор-Уула	Ист. Марактинский	Химическая формула
5.79	Тетрадекан	-	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}_3$
5.86	Изотетрадекан	-	$i^1-\text{C}_{14}\text{H}_{30}$
6.15	Изотетрадекан	-	$i^2-\text{C}_{14}\text{H}_{30}$
7.17	Одноатомный спирт	-	R^1-OH
7.28	Одноатомный спирт	-	R^2-OH
8.62	Гексадекан	-	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_3$
8.90	Одноатомный спирт	-	R^3-OH
9	-	Ментол	$\text{CH}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_9(\text{OH})-\text{CH}_3$
9.25	Одноатомный спирт	-	R^4-OH
9.32	-	Бутиловый эфир диэтиленгликоля	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$
9.34	Одноатомный спирт	-	R^5-OH
9.44	Одноатомный спирт	-	R^6-OH
9.53	Одноатомный спирт	-	R^7-OH
9.58	Одноатомный спирт	-	R^8-OH
9.63	-	Одноатомный спирт	R^9-OH
9.76	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{10}-\text{OH}$
9.87	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{11}-\text{OH}$
9.93	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{12}-\text{OH}$
9.96	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{13}-\text{OH}$
10.00	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{14}-\text{OH}$
10.03	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{15}-\text{OH}$
10.11	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{16}-\text{OH}$
10.25	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{17}-\text{OH}$
10.37	-	Неопределенное вещ-во	-
10.8	Гидрат цитронеллола	-	$(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{OH})-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{O}$
11.04	Бутоксизтоксиэтанол	-	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$
11.63	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^1$
11.98	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^2$
12.03	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^3$
12.23	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^4$
12.36	Эфирное масло	-	$(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2)_n$
12.44	Эфирное масло	-	$(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2)_m$
12.50	Эфирное масло	-	$(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2)_k$
12.58	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{18}-\text{OH}$
12.63	Одноатомный спирт	-	$\text{R}^{19}-\text{OH}$
12.76	Эфирное масло	-	$(\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2)_l$

Таблица 3. (окончание)

12.87	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^5$
13.03	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^6$
13.06	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{20}-\text{OH}$
13.16	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{21}-\text{OH}$
13.18	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^7$
13.36	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{22}-\text{OH}$
13.43	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{23}-\text{OH}$
13.49	-	Мононониловый эфир диэтиленгликоля	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}_3$
13.69	-	2-Нонанол, 5-этил-	$\text{HO}-\text{CH}(\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}(\text{CH}_2-\text{CH}_3)-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$
13.79	-	1-Деканол	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_9-\text{OH}$
13.85	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{24}-\text{OH}$
14.07	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{25}-\text{OH}$
14.14	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{26}-\text{OH}$
14.46	Эфир этиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^8$
14.62	Неопределенное вещ-во	-	-
14.69	Неопределенное вещ-во	-	-
14.91	-	Неопределенное вещ-во	-
14.99	Неопределенное вещ-во	-	-
15.37	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^1$
15.74	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^2$
15.82	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^3$
15.98	-	Диэтилтолуамид	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
16.01	Диэтилтолуамид	-	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$
16.09	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^4$
16.10	-	Тетрадекан, 1-хлор-	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{13}-\text{Cl}$
16.15	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^5$
16.55	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^5$
16.73	Эфир диэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^6$
17.26	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{27}-\text{OH}$
17.31	-	Сложный эфир	$\text{R}^1-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}^2$
17.37	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{28}-\text{OH}$
17.56	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{29}-\text{OH}$
17.62	-	Монододециловый эфир диэтиленгликоля	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{CH}_3$
17.81	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{30}-\text{OH}$
17.97	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{31}-\text{OH}$
18.18	Диизобутилфталат	-	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2)_2$
18.19	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{32}-\text{OH}$
18.26	-	Одноатомный спирт	$\text{R}^{33}-\text{OH}$
19.07	-	Amgard ТМСР (пестицид)	$\text{P}(=\text{O})(\text{O}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{Cl})_3$
19.34	Эфир триэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^1$
19.4	Фталат	-	$\text{R}^1-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}^2$
19.91	-	Диизобутилфталат	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2)_2$
20.92	Органическая кислота	-	$\text{R}-\text{COOH}$
21.10	-	Ди-н-бутилфталат	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}(=\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3)_2$
21.19	Эфир триэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^2$
22.16	Эфир триэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^3$
22.93	Эфир триэтиленгликоля	-	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{R}^4$
23.20	Ди-н-октилфталат	-	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}(=\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3)_2$

вероятно, привнесены с поверхности и не подверглись химическим преобразованиям в кислой среде при миграции в трещинно-жильных водах.

Вероятно, преобразование органических веществ в рассматриваемых железистых источниках происходит принципиально разными способами. В источнике Хонгор-Уула сформировано большое разнообразие органических веществ за счет активности микроорганизмов, в Марактинском источнике происходит химическая деструкция

Таблица 4. Микроэлементный состав вод железистых минеральных источников и воды оз. Байкал, мкг/л

Элемент	Ист. Хонгор-Уула	Ист. Марактинский	Вода оз. Байкал
Li	18.7	41.6	2
Be	0.029	6.159	0.0008
B	3.76	9.93	5.2
Al	2	8926	0.79
P	5	71	15.9
Sc	0.002	0.045	0.057
Ti	0.083	0.125	0.14
V	0.008	0.251	0.39
Cr	0.055	0.110	0.15
Mn	197	2440	0.11
Fe	33	48181	5.3
Co	0.033	17.316	0.021
Ni	0.28	3.54	0.21
Cu	0.56	4.33	1.32
Zn	3.0	294.6	1.67
Ga	0.016	0.219	0.0008
Ge	0.020	0.135	0.0032
As	0.016	0.613	0.4
Se	0.027	0.093	0.1
Br	4.7	11.7	21
Rb	1.9	6.4	0.58
Sr	83	98	109
Y	0.031	18.264	0.0043
Zr	0.009	0.079	0.0027
Nb	0.0002	0.0004	0.0003
Mo	0.074	0.128	1.34
Ag	0.039	0.883	0.0003
Cd	0.022	0.353	0.004
Sn	0.047	0.098	0.0024
Sb	0.039	0.012	0.033
Cs	0.031	0.128	0.0009
Ba	6.15	4.96	10.4
Hf	0.00014	0.0272	0.0001
W	0.0236	0.0169	0.048
Tl	0.0004	0.0727	0.0007
Pb	0.0337	4.8663	0.079
Th	0.0004	0.0076	0.0008
U	0.0092	0.7040	0.56

высокомолекулярных веществ в кислой среде, воздействие микроорганизмов минимальное, так как низкая температура воды не благоприятна для их развития.

Микроэлементный состав вод

Данные по микроэлементному составу вод железистых источников приведены в таблице 4. Для сравнения в отдельной колонке приведен микроэлементный состав воды озера Байкал, что позволяет составить представление о значимости концентраций отдельных микроэлементов.

Оба источника характеризуются высоким содержанием марганца, железа, цинка и лития. По сравнению с байкальской водой, в водах источников повышены содержания большинства определяемых микроэлементов. Обогащение вод различными микрокомпонентами происходит в результате взаимодействия их с вмещающими породами. Известно, что наибольшему физическому и химическому разрушению породы подвержены в зонах тектонических нарушений, к которым и приурочены выходы железистых минеральных вод (Абайханов, Попов, 2011).

Несомненно, на микроэлементный состав вод рассматриваемых источников оказывают влияние особенности геологического строения территорий, в пределах которых формируются их ресурсы. Для вод Хонгор-Уулы источником железа, марганца и других элементов являются Тиссинские базальты. Покров базальтов изолирует грунтовые воды от воздействия атмосферы, поэтому железо и другие металлы мигрируют в растворе в восстановленных формах. Для вод Марактинского минерального источника повышенное содержание железа обусловлено присутствием рудной минерализации в области питания. Переход железа в раствор происходит при окислительном разложении пирита. В результате чего формируется кислая среда, вода становится агрессивной по отношению к вмещающим породам. В раствор переходят химические элементы, миграционной способности которых благоприятствует кислая реакция среды. Вода Марактинского источника по сравнению с Хонгор-Уулой в целом более насыщена микроэлементами. Значительная разница наблюдается в концентрациях Be, Al, Fe, Co, Zn, Y, Hf, Tl, Pb и PЗЭ, различие достигает двух математических порядков. Более чем в 10 раз в Марактинском источнике выше содержания P, S, Sc, V, Ni, Ga, As, Ag, Cd, Th, U. Необходимо отметить, что содержания Li, Be, Al, Mn, Fe превышают предельно допустимые концентрации для вод питьевого назначения.

Воды рассматриваемых железистых минеральных источников сильно различаются по содержанию редкоземельных элементов. Суммарное содержание PЗЭ в воде Марактинского источника составляет 15.93 мкг/л, а в источнике Хонгор-Уула составляет

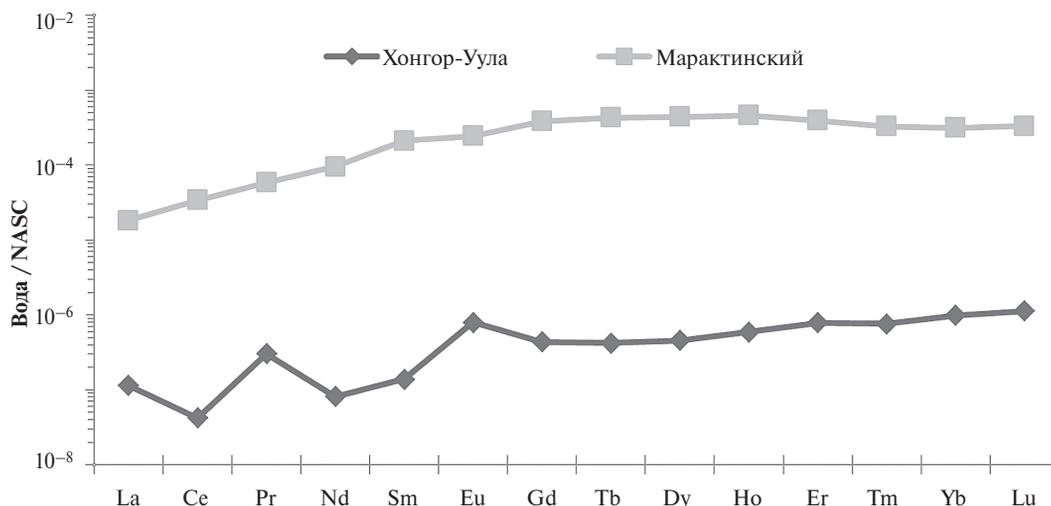


Рис. 7. Распределение РЗЭ в водах минеральных источников железистого типа, нормированное по североамериканскому сланцу (NASC).

0.026 мкг/л. На рис. 7 приведено распределение РЗЭ в водах исследуемых источников, нормированное по североамериканскому сланцу (NASC).

Для вод обоих источников характерно преобладание тяжелых РЗЭ над легкими, отношение $La^*/Yb^* < 1$. Для вод Хонгор-Уулы характерна отрицательная цериевая аномалия. Появление отрицательной Се аномалии в водах связывается с его окислением (Ce^{3+} в Ce^{4+}), и дальнейшим осаждением менее подвижной окисленной формы (Вау,1991; Харитонов и др., 2016). В водах Хонгор-Уулы наблюдается положительная Eu аномалия (табл. 5).

Условия для миграции лантаноидов в кислых железистых водах Марактинского источника стабильные, их растворению благоприятствует кислая среда. Небольшие отрицательные цериевая и европиевая аномалии, вероятно, связаны с процессами формирования рудной минерализации. В бескислородно-бессульфидном источнике Хонгор-Уула миграционная способность лантаноидов может быть связана с преобразованиями в химическом составе, при окислении железа в месте разгрузки источника на поверхность. Образующаяся тонкая взвесь гидроокислов железа обладает активной сорбционной способностью и может захватывать из раствора церий, находящийся в степени окисления +4 и другие лантаноиды, находящиеся в степени окисления +3. В то время как европий, находящийся в степени окисления +2, остается в растворе.

Таблица 5. Аномалии РЗЭ, рассчитанные по отношению к североамериканскому сланцу. Примечание: $Eu/Eu^* = \log(2Eu^*)/(Sm^*+Gd^*)$, $Ce/Ce^* = \log(2Ce^*)/(La^*+Pr^*)$

Источник	La*/Yb*	Ce/Ce*	Eu/Eu*
Марактинский	0.058	-0.056	-0.084
Хонгор-Уула	0.116	-0.693	0.438

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на отнесение обоих изученных источников к железистому типу, наблюдаются существенные различия в их химическом составе.

Как уже было сказано, основным процессом, определяющим химический состав железистых вод кислого типа, является окисление сульфидных минералов, в первую очередь пирита, которое приводит к появлению в растворе сульфат-иона и уменьшению рН:



Сформировавшиеся кислые воды активно взаимодействуют с породами, в пределах которых они перемещаются. В результате кислотного разложения пород в растворе накапливается большая группа химических элементов, миграции которых благоприятствует кислая среда. Газовый состав этих вод формируется за счет атмосферы. Кислород, захваченный инфильтрующимися водами из атмосферы, расходуется на окисление сульфидной минерализации, поэтому его очень мало. Углекислый газ накапливается в этом типе вод в силу того, что он является наиболее устойчивой формой нахождения угольной кислоты в кислой среде. Угольная кислота и продукты ее диссоциации могут поступать в раствор при кислотном разложении карбонатных минералов и при разложении органических веществ. Основная масса органических веществ поступает с поверхности вместе с инфильтрационными водами в результате разложения растительного детрита. Небольшая их доля может поступать и из горных пород. Дальнейшее их разложение происходит в кислой среде химическим путем. Не исключена возможность участия в этих процессах микроорганизмов, способных существовать в кислой среде. Но, вероятно, вклад

микробного сообщества в разложение органических веществ небольшой, так как алифатические углеводороды не сгруппированы в четные углеродные цепочки. Группа эфиров, которые составляют основную массу растворенного органического вещества, представлена в основном бутиловым эфиром диэтиленгликоля. Его образование связано с дегидратацией низкомолекулярных спиртов. В целом для кислых железистых вод характерно присутствие низкомолекулярных органических веществ и в водной, и в газовой фазах.

Железистые воды, относящиеся к бескислородному типу, образуются по-другому (Крайнов и др., 2004). Железо и марганец в их состав могут поступать из карбонатов, заключенных в харагольской свите, которые разлагаются в гипергенных условиях по следующей реакции:



Эти воды обеднены микроэлементами, в них в значительных количествах присутствует только железо и марганец. Эти элементы наиболее подвижны в зоне активного водообмена. По анионному составу воды гидрокарбонатные, pH нейтральный или слабощелочной. Повышенное содержание железа в растворе обусловлено восстановительными условиями водной среды, где железо находится в степени окисления +2. В данном случае ограниченное поступление кислорода связано с перекрытием водоносного горизонта покровом базальтов. Сложившиеся гидрогеологические условия миграции вод задают благоприятную среду для существования микрофлоры и формирования растворенного органического вещества и газов.

Разложение поступающих вместе с инфильтрационными водами с поверхности органических веществ происходит под воздействием микроорганизмов, что подтверждается облегченным изотопным составом сульфатной серы. Известно, что бактерии включают в свой метаболизм более легкие изотопы. На выходах источника Хонгор-Уула изотопный состав серы по $\delta^{34}\text{S}$ варьирует от -3.6 до -0.3 ‰. В сульфидных минералах изотопный состав серы тяжелее, так в сульфидах золоторудных месторождений $\delta^{34}\text{S}$ изменяется в диапазоне от -1.18 до $+1.10$ ‰ (Замана, 2013). В пирите палеокурльшиков $\delta^{34}\text{S}$ от $+0.9$ до $+1.9$ ‰ (Целуйко и др., 2015).

В составе растворенных органических веществ присутствуют алканы с четным числом атомов углерода в цепочках, что указывает на их биогенное происхождение. Основная масса эфиров представлена бутоксиэтоксизтанолом, который образуется при дегидратации бутанола, этанола. Спирты также имеют четное число атомов углерода. В составе органических веществ присутствует

большая группа эфирных масел, которые являются продуктами биосинтеза. В целом можно заключить, что воды источника содержат в своем составе широкий спектр разнообразных органических веществ, относящихся к различным химическим типам. Их образование обусловлено биологической деструкцией растительного детрита и синтезом различных веществ в процессе жизнедеятельности микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минеральные источники Западного Забайкалья, относящиеся к кислому и бескислородно-бессульфидному железистому типам, хотя и формируют ресурсы в сходных геолого-гидрогеологических условиях, радикально различаются своим химическим составом. В первом типе определяющую роль в формировании химического состава задают процессы окислительного разрушения сульфидной минерализации. В результате этого в водах создается кислая среда, возникают благоприятные условия для миграции в растворе большого количества рудных элементов. Кислая среда ограничивает воздействие биоты на разложение растительного детрита, поэтому растворенное органическое вещество, в основном, представлено низкомолекулярными соединениями. Лечебный эффект этих вод может быть связан с воздействием минеральных кислот и растворенных неорганических веществ. Во втором типе железистых вод формирование химического состава вод происходит в восстановительной обстановке, в нейтральных или слабощелочных условиях. Подвижность железа обусловлена его нахождением в степени окисления +2, его концентрация значительно меньше, чем в первом типе. Этот тип вод содержит в своем составе разнообразные органические вещества, которые образуются за счет биологического разложения растительного детрита и синтеза веществ в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Лечебный эффект этих вод может быть связан с воздействием на организм растворенных органических веществ.

Авторы выражают благодарность научному редактору статьи М. И. Дину и рецензентам за конструктивные замечания, которые позволили улучшить содержание статьи.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту ААА-А-21-121011890033-1. Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока. Руководитель — Плюсин А. М.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абайханов У. И., Попов В. Г. (2011) Генезис углекислых железистых и железистых борных вод Центрального Кавказа и Предкавказья (в пределах территории

- Карачаево-Черкесской Республики). *Геология, география и глобальная энергия*. 2(41), 175–177.
- Аузина Л. И., Зверев О. Т., Лоншаков Г. С., Андреева Т. С. (2014) Минеральные воды Хонгор-Уула, Респ. Бурятия. *Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонауки — 2014: актуальные проблемы изучения недр»*. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 102–108.
- Борисенко И. М., Замана Л. В. (1978) Минеральные воды Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 162 с.
- ГОСТ Р 54316–2011 (2011) Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.
- Дейнека В. К. (2003) Железистые минеральные воды Кустанайского Зауралья. *Уральский геологический журнал*. 4(34), 159–166.
- Другов Ю. С., Родин А. А. (2002) Пробоподготовка в экологическом анализе. СПб.: Анатолия, 755 с.
- Замана Л. В. (2013) Гидрохимия минерального источника Улан-Булак Урулунгуевский (Юго-Восточное Забайкалье). *География и природные ресурсы*. 4, 115–120.
- Иванов В. В., Невраев Г. А. (1964) Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 168 с.
- Кашкак Е. С., Белькова Н. Л., Дагурова О. П., Матюгина Е. Б., Данилова Э. В. (2020) Особенности состава микробных сообществ низкотемпературных минеральных источников Хонгор-Уула (Тункинская долина, Республика Бурятия). *Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география*. 2, 21–29.
- Крайнов С. Р., Соломин Г. А., Василькова И. В. и др. (1982) Геохимические типы железосодержащих подземных вод с околонейтральной реакцией. *Геохимия*. 3, 400–420.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швец В. М. (2004) Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 677 с.
- Лунина О. В., Гладков А. С., Неведрова Н. Н. (2009) Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академическое издательство “Гео”, 316 с.
- Маньшина Н. В. (2007) Курортное лечение болезней почек и мочевыводящих путей. *Медицинский совет*. 2, 30–37.
- Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1 Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение (1961). М., Л.: Изд-во Акад. наук СССР, Под общ. ред. В. Г. Ткачук и Н. И. Толстихина, 346 с.
- Самбург А. Л. (1969) Геологическая карта СССР. М-6 1:200000. Серия Восточно-Саянская. Лист М-48-1. Карта.
- Самбург А. Л. (1971) Геологическая карта СССР. М-6 1:200000. Серия Восточно-Саянская. Лист М-48-1. Объяснительная записка. Москва, 91 с.
- Токарев И. В., Бородулина Г. С., Блаженникова И. В., Авраменко И. А. (2015) Условия формирования железистых минеральных вод по изотопно-геохимическим данным (курорт «Марциальные воды», Карелия). *Геохимия*. (1), 88–91.
- Tokarev, I. V., Blazhennikova I. V., Avramenko I. A., Borodulina G. S. (2014) Isotope-geochemical data on ferruginous mineral waters: Conditions of formation of “Marcial Waters” resort, Karelia. *Geochem. Int.* 58(1), 83–86.
- Трунев Д. В., Сотников Г. Д. (1971) Карта полезных ископаемых СССР. М-6 1:200000. Серия Прибайкальская. Лист N-49-XXXIII. Карта.
- Украинцев А. В., Плюснин А. М. (2019) Применение метода твердофазной экстракции для анализа состава растворенных органических веществ в углекислых минеральных водах Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы V всероссийской молодежной научной конференции. Улан-Удэ, 90–92.
- Украинцев А. В., Плюснин А. М. (2020) Алифатические углеводороды углекислых минеральных и азотных термальных вод Западного Забайкалья. Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием имени профессора С. Л. Шварцева. Улан-Удэ: Изд-во во БНЦ СО РАН, 179–183.
- Харитоновна Н. А., Вах Е. А., Челноков Г. А., Чудачев О. В., Александров И. А., Брагин И. В. (2016) Геохимия редкоземельных элементов в подземных водах Сихотэ-Алинской складчатой области (Дальний Восток России). *Тихоокеанская геология*. 35(2), 68–82.
- Хаустов В. В., Мелкумов Д. Н., Харченков В. А., Трофимова О. А. (2019) О перспективах поисков железистых минеральных вод на территории Курской области. Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Материалы VIII Международной научной конференции. Белгород, 327–331.
- Ходина В. А. (1980) Некоторые вопросы формирования и охраны железистых вод. *Записки Горного института*. 80, 71–73.
- Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Садыков С. А. (2015) Изотопный состав серы сульфидов продуктов разрушения палеокурильщиков Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал). *Минералогия*. 4, 103–111.
- Чебыкин, Е. П., Сороковикова, Л. М., Томберг, И. В., Воднева, Е. Н., Рассказов, С. В., Ходжер, Т. В. и Грачёв, М. А. (2012). Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам. *Химия в интересах устойчивого развития*. 20(5), 613–631.

- Bau M. (1991) Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction state of europium. *Chemical Geology*. **93**, 219–230.
- Environmental Sample Preparation: Application Guide (2017) Phenomenex inc., 16 p.
- Hegler F., Lösekann-Behrens T., Hanselmann K., Behrens S., Kappler A. (2012) Influence of seasonal and geochemical changes on the geomicrobiology of an iron carbonate mineral water spring. *Appl. Environ. Microb.* **78**(20), 7185–7196.
- McKenna D., Spence D., Haggan S. E., McCrum E., Dornan J. C., Lappin T. R. (2003) A randomized trial investigating an iron-rich natural mineral water as a prophylaxis against iron deficiency in pregnancy. *Clinical Laboratory Haematology*. **25**, 99–103.
- Menció A., Guasch H., Soler D., Canelles A., Zamorano M., Brusi D. (2016). Influence of regional hydrogeological systems at a local scale: Analyzing the coupled effects of hydrochemistry and biological activity in a Fe and CO₂ rich spring. *Sci. Total Environ.* **569–570**, 700–715.
- Worwood M., Evans W. D., Villis R. J. & Burnett A. K. (1996) Iron absorption from a natural mineral water (Spatone Iron-Plus). *Clinical Laboratory Haematology*. **18**, 23–27.

FERRUGINOUS MINERAL WATERS OF WESTERN TRANSBAIKALIA: FORMATION OF GAS, TRACE ELEMENTS, AND DISSOLVED ORGANIC MATTER COMPOSITION

© 2024 A. V. Ukraintsev, A. M. Plyusnin, M. K. Chernyavskii

*Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS)
Russia, 670047 Ulan-Ude, Sakhyanovoy 6a
E-mail: ukraintsev87@bk.ru*

The article presents the results of study of ferruginous mineral waters. The waters under consideration are discharged on the territory of Western Transbaikalia and belong to the anoxic sulfide-free and acidic types. The peculiarities of the formation features of gas, major and trace elements, and dissolved organic substance composition have been established using modern methods. It has been shown that the chemical composition of the water is greatly influenced by acid-base conditions. Acidic ferruginous waters contain large amounts of heavy metals; organic matter is mainly represented by low molecular weight organic compounds. The only metals present in significant amounts in ferruginous waters are manganese and zinc. Dissolved organic matter is represented by diverse types of high-molecular weight compounds that are formed as a result of biotic processes.

Keywords: Ferruginous Mineral Waters, Gas Composition, Dissolved Organic Matter, Fissure-Vein Waters, Therapeutic Effect