

На правах рукописи



ОРГИЛЬЯНОВ
Алексей Июльевич

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ
ХЭНТЭЙ-ДАУРСКОГО СВОДА

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск-2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИЗК СО РАН, г. Иркутск).

Научный руководитель: **Алексеев Сергей Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт земной коры СО РАН, зав. лабораторией гидрогеологии

Официальные оппоненты: **Борзенко Светлана Владимировна**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита

Тугарина Марина Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

Ведущая организация: ФГБУН Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ

Защита диссертации состоится « **18** » **июня** **2021** г. в **10-00 ч.** на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при ФГБУН Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНЦ СО РАН (г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.128) и на сайте: <http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsfull190/2507.pdf>

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета к.г.-м.н. Акуловой Варваре Викторовне.

Тел: (3952)42-61-33, факс: (3952)42-69-00, e-mail: akulova@crust.irk.ru

Автореферат разослан « » апреля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н.

В.В. Акулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Минеральные воды являются одним из природных явлений, в которых наиболее ярко отражаются особенности геологического строения и современной геодинамической активности. Вместе с тем, они имеют и очень большое практическое значение. С давних пор люди применяли минеральные воды для лечения различных заболеваний. В последние десятилетия всё большее развитие приобретает использование термальных вод для целей теплоэнергетики, гидроминеральное сырьё рассматривается как важный ресурс для извлечения ценных компонентов. Нельзя забывать и о важности проявлений минеральных вод в качестве геологических памятников природы, имеющих большое научно-познавательное и рекреационное значение.

Хэнтэй-Даурский свод (ХДС) может рассматриваться как уникальная гидроминеральная область, в которой на относительно небольшом расстоянии друг от друга отмечаются проявления различных типов минеральных вод: азотные термы, холодные углекислые воды, холодные воды с повышенным содержанием сероводорода, а также субминеральные воды.

ХДС представляет собой малообжитый и относительно труднодоступный район. Его территория пока ещё не столь значительно подверглась воздействию техногенеза, поэтому особую актуальность приобретает задача сохранения для будущих поколений всего многообразия природных богатств, включая минеральные воды.

По сравнению с рядом расположенными Байкальской рифтовой зоной и Хангайским сводом, минеральные воды Хэнтэй-Даурского свода изучены менее детально.

Объектом научного исследования являются минеральные воды Хэнтэй-Даурского свода, расположенного на смежных территориях России и Монголии, и в административном отношении относящегося к Забайкальскому краю (Россия), Центральному, Хэнтэйскому и Дорнодскому аймакам (Монголия).

Географические координаты ХДС: 47 – 51° с.ш. и 106°30' – 113° в.д.

Цель работы – изучить на территории Хэнтэй-Даурского свода особенности пространственного распределения проявлений минеральных вод различных типов, выяснить условия их формирования и дать характеристику химического, газового и изотопного состава.

Задачи исследования:

1. На основании проведенных анализов химического, газового и изотопного состава минеральных вод выяснить условия их формирования.
2. Предложить концепцию организации охраны источников минеральных вод от загрязнения и истощения.
3. Составить полный (для современного состояния изученности) каталог проявления минеральных вод исследуемой территории.

Исходный материал и методы исследований. Для решения поставленных задач автором проводились полевые экспедиции, направленные на обследование и документацию проявлений минеральных вод региона с отбором проб воды на различные виды анализов. Химический анализ производился в лаборатории Института земной коры СО РАН. Микрокомпонентный анализ (ICP-MS) – в лабораториях ИГХ им. А.П. Виногра-

дова и ЛИН СО РАН, а также НОЦ «Вода» ТПУ (г. Томск). Анализ изотопии He – в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург); ^{13}C – в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск); ^{18}O и D – в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Быстроизменяющиеся компоненты (pH, Eh, CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^-) определялись непосредственно в местах отбора проб воды. Всего в работе было использовано более 100 анализов минеральных вод.

Научная новизна и вклад автора. Впервые, совместно для территории двух государств России и Монголии выполнено обобщение сведений о проявлениях и состоянии минеральных вод различных типов. С целью выяснения условий формирования минеральных вод района, осуществлено определение изотопного состава водорода, кислорода, гелия и углерода. Для целей охраны минеральных вод ХДС предложена концепция их практического использования.

В основу работы положены результаты многолетних полевых и теоретических исследований: обследовано более 50 источников минеральных вод; отобраны пробы и проанализированы данные определений макроэлементного, микроэлементного (ICP-MS), газового состава, изотопных отношений He, ^{13}C , ^{18}O , D.

Основные защищаемые положения.

- I. В пределах Хэнтэй-Даурского свода распространены следующие типы минеральных вод: *термальные азотные; холодные углекислые; холодные с повышенным содержанием сероводорода; холодные субминеральные*. Геохимические особенности данных типов вод обусловлены сложностью геолого-структурных и физико-географических условий района.
- II. Содержание стабильных изотопов водорода и кислорода в минеральных водах свидетельствует об их *метеорном генезисе*; вариации значений изотопа углерода ^{13}C указывают на *глубинную природу* углекислого газа; гелий имеет, в основном, *коровое происхождение*, что подтверждается диапазоном значений отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$.
- III. Практическое использование минеральных вод должно определяться статусом территории, на которой расположены источники и отвечать следующим требованиям. В *зоне строгого заповедного режима* посещение источников допускается лишь в исключительных случаях (проведение охранных мероприятий и научных исследований). В *зоне ограниченного заповедного режима* источники могут быть включены в туристические экологические маршруты, включающие принятие бальнеологических процедур с обустройством минимальной инфраструктуры. На базе источников, расположенных в *зоне свободного доступа*, необходимо развивать санаторно-курортную сеть, соблюдая весь комплекс природоохранных мероприятий.

Практическая значимость. Выполненные исследования существенно повысили изученность минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода. Результаты проведенных исследований используются научными и производственными организациями, занимающимися практическим применением минеральных вод в бальнеологии.

Апробация работы. Результаты исследований в разное время докладывались на научно-практических конференциях и совещаниях: XIX и XX Всероссийском совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (Тюмень, 2009; Иркутск, 2012); научно-практической конференции «Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китай-Монголии» (Чита, 2010); Всероссийской

конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток, 2011); V Международной научно-практической конференции «Селенга – река без границ» (Улан-Удэ, 2012); I и II Международной научно-практической конференции «Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов» (Кызыл, 2013; 2015); III Всероссийской конференции «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Чита, 2018); IV Всероссийском симпозиуме «Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы» (Иркутск, 2019). По теме диссертации опубликовано 8 статей в журналах, входящих в перечень ВАК («География и природные ресурсы», 2002, 2011; «Природа», 2009; «ДАН», 2010; «Вестник БГУ», 2011; «Вулканология и сейсмология», 2013; «Вестник ИрГТУ», 2015; «Успехи современного естествознания», 2017). В монографии «Газовый состав подземных минеральных вод Монголии» (2007) автор принял участие в написании 5 главы (Типизация и районирование подземных минеральных вод по газовому составу). При участии автора для «Экологического атласа бассейна озера Байкал» составлена карта «Источники минеральных вод», в которую частично входит территория Хэнтэй-Даурского свода (2015).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, приложения и списка литературных источников, состоящего из 124 наименований. Работа изложена на 152 страницах, включая 18 рисунков, 19 таблиц и 16 фотографий.

Благодарности. Исследования проводились под руководством своего первого научного руководителя, д.г.-м.н. Бориса Иосифовича Писарского, которому автор искренне благодарен. Автор выражает признательность д.г.-м.н. Сергею Владимировичу Алексееву, продолжившему руководство диссертацией. Особая благодарность к.г.-м.н. Леониду Васильевичу Замане (ИПРЭК СО РАН, Чита), Юлии Григорьевне Копыловой (ТПУ, Томск), Юрию Николаевичу Диденкову (ИГТУ, Иркутск), Сергею Харитоновичу Павлову, Юрию Иннокентьевичу Кустову (ИЗК СО РАН, Иркутск) за помощь, поддержку и интерес к работе. Экспедиционные работы выполнялись при поддержке коллег-гидрогеологов Прокопия Сократовича Бадминова, Марии Александровны Даниловой, монгольских специалистов Балжинняма Намбара, Ганчимэг Дармаа и др. Большую помощь в проведении полевых исследований оказывали Владимир Анатольевич Павлов, сотрудники Сохондинского заповедника Виктор Иванович Яшнов, Евгений Эдуардович Малков и др. Многочисленные химические и изотопные анализы минеральных вод, результаты которых использованы в работе, выполнены Любовью Александровной Дурбан (ИЗК СО РАН, Иркутск), Ольгой Васильевной Зарубиной (ИГХ СО РАН, Иркутск), Александром Николаевичем Пыряевым (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Всем им автор выражает глубокую признательность. Отдельная благодарность Ирине Георгиевне Крюковой, без поддержки и технической помощи которой подготовка данной диссертации была бы невозможна.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. История исследований минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода

В главе дан исторический обзор исследований минеральных вод ХДС, отмечены ученые, внесшие наиболее значительный вклад в изучение данной проблемы.

Глава 2. Природные условия

В главе изложена обобщенная информация о ландшафтных факторах (климате, гидрографии, распространении многолетнемерзлых пород) и геолого-структурных условиях территории, включая историю геологического развития и характеристику современных гидрогеологических структур Хэнтэй-Даурского свода.

Глава 3. Условия формирования минеральных вод

Автором диссертации минеральные воды, распространенные в пределах Хэнтэй-Даурского свода, разделены, в первую очередь, по температурному признаку. Выделены термальные и холодные воды. Холодные минеральные воды, в свою очередь, по газовому и химическому составу разделены на углекислые и сульфидные (с повышенным содержанием сероводорода). Кроме того, выделен тип субминеральных вод. К нему отнесены воды, которые пользуются популярностью у местного населения как целебные, но не содержат в своем составе значимых количеств бальнеологически активных веществ. Такое разнообразие типов минеральных вод определяется сложностью геолого-структурных и физико-географических условий района. ХДС относится к территориям (Дислер В.Н., 1971), где трудно отчетливо выделить границы определенных гидроминеральных провинций (рис. 1).

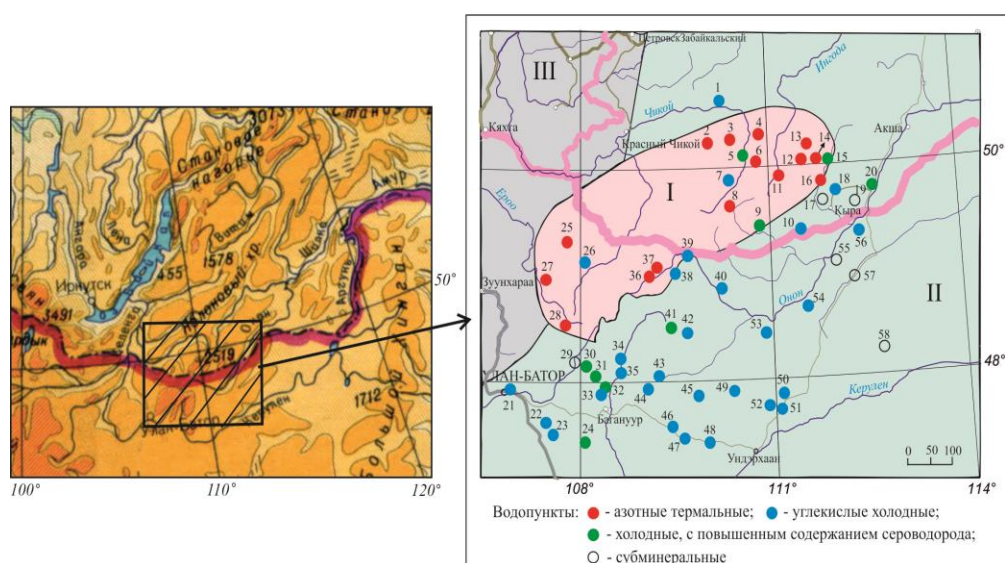


Рис. 1 Карта минеральных вод ХДС. Гидроминеральные области: I – азотных термальных вод; II – углекислых холодных вод; III – предполагаемого развития азотных вод.

Термальные азотные воды. К этому типу автором отнесены как воды с температурой выше 20 °С, так и ряд других источников с более низкой температурой, но названные «теплыми» исследователями прошлых лет. Наиболее высокая температура зафиксирована в источнике Халуун-Ус (86 °С). Источники термальных вод разгружаются на абс. отметках 1070-1470 м и связаны с зонами тектонических нарушений (рис. 2).

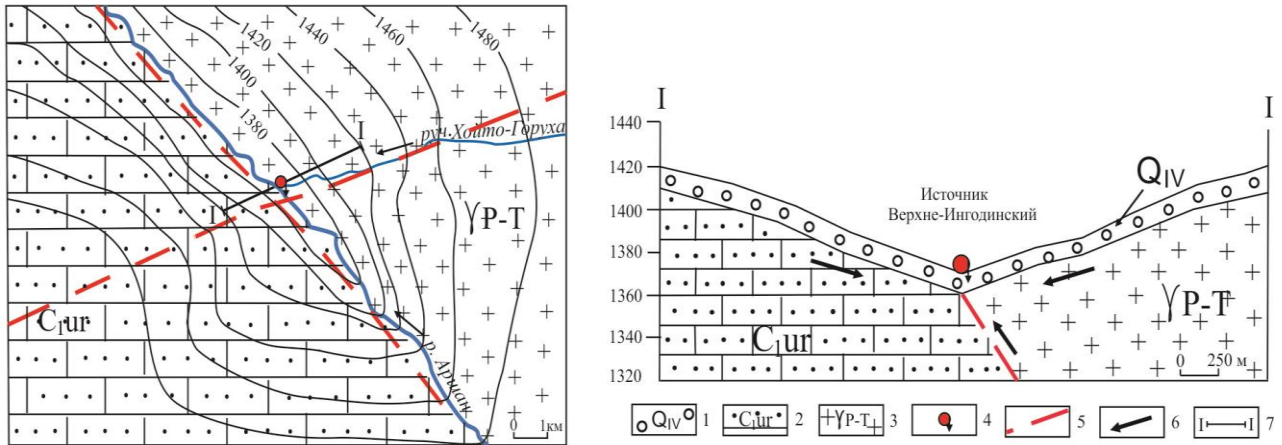


Рис. 2. Схематическая карта и разрез места выхода вод Верхне-Ингодинского термального источника: 1 – четвертичные аллювиальные отложения. Галечники; 2 – нижний карбон. Уртуйская свита. Песчаники, алевролиты, конгломераты; 3 – пермо-триасовые интрузии. Граниты, гранодиориты; 4 – источник термальных вод; 5 – разломы, выделенные по геологическим предпосылкам; 6 – направление потока подземных вод; 7 – линия разреза.

По своему химическому составу акратотермы Хэнтэя гидрокарбонатные натриевые и относятся к былыринскому типу. Они являются аналогами термальных вод Хангайского сводового поднятия, относящегося к области кайнозойской тектономагматической активизации, формирование которой также происходит в условиях сжатия. Дебит источников термальных вод обычно небольшой, стабилен во времени и мало зависит от метеорологических условий, что свидетельствует о значительной глубине циркуляции этих вод. С использованием кремниевого геотермометра рассчитаны значения глубинных температур азотных гидротерм (91-148 °С), а глубина их формирования составляет 3,4-5,5 км.

Характерным признаком термальных вод является повышенное содержание кремнекислоты (более 200 мг/л H_4SiO_4) и фтора (более 10 мг/л). Кроме того, важным компонентом, имеющим бальнеологическое значение, является сероводород, содержащийся в гидротермах ХДС в основном в виде гидросульфид-иона. Микроэлементный состав азотных термальных вод в целом отражает геохимические особенности вмещающих пород.

В газовом составе термальных вод преобладает азот, имеющий в основном атмосферное происхождение, хотя возможность участия в этом эманаций глубоких недр не может исключаться.

Холодные углекислые воды. К углекислым водам отнесены воды, в составе которых содержится не менее 500 мг/л растворенного диоксида углерода. В настоящее время на изучаемой территории известно 28 проявлений вод данного типа. Они имеют низкую

температуру, что объясняется приуроченностью их выходов к пониженным участкам местности, где развиты многолетнемерзлые породы. Большинство углекислых вод территории приурочены к гранитам и гранодиоритам и связаны с зонами разломов (рис. 3).

Существует несколько гипотез генезиса углекислоты – термометаморфический, органический и глубинный. Для изучаемой территории автор, опираясь на результаты изотопного анализа углерода, предполагает глубинный характер происхождения CO_2 . Подробнее этот вопрос рассмотрен в 4 главе диссертации.

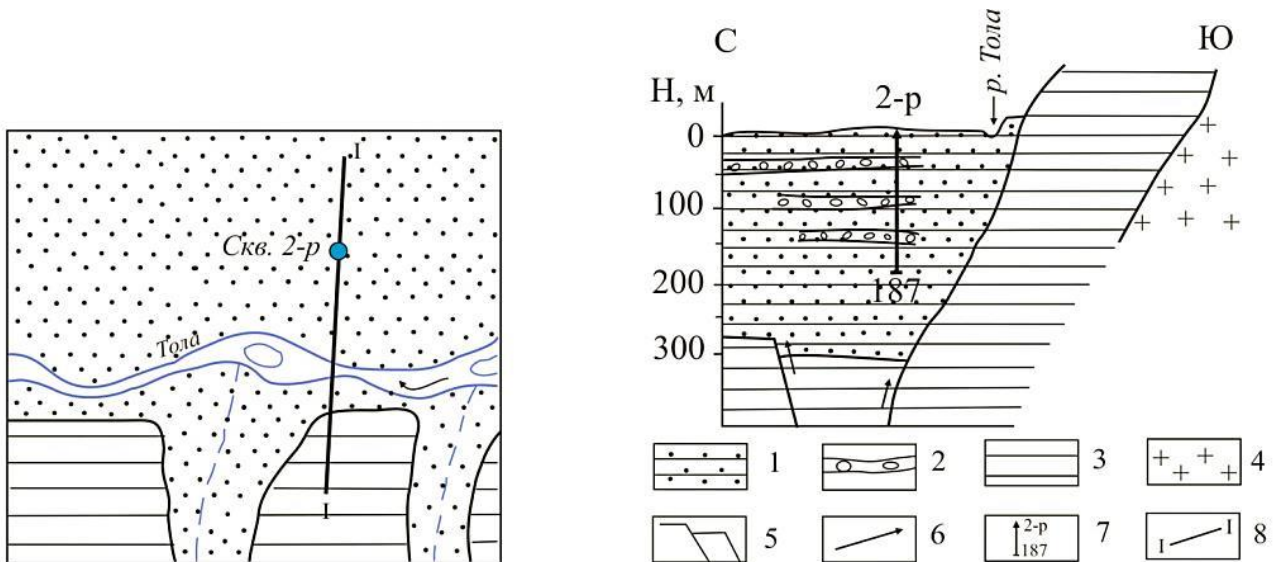


Рис. 3. Схема участка разведки углекислых вод Уланбаторского месторождения (Оргил) и геолого-гидрогеологический разрез по линии I-I [Писарский, Ганчимэг, 2007, с изменениями автора]: 1 – четвертичные отложения. Галечник, пески, суглинки; 2 – водоносные валунно-галечные прослои; 3 – средний палеозой. Песчаники, сланцы; 4 – герцинские гранитоиды; 5 – блоковые тектонические смещения; 6 – пути движения углекислых вод; 7 – скважина (номер и глубина); 8 – линия разреза.

Углекислые источники имеют гидрокарбонатный состав. Среди катионов обычно преобладает кальций, т.е. данные воды являются аналогами дарасунов Восточного Забайкалья. При рассмотрении содержаний углекислоты и величин минерализации отчетливой зависимости между этими параметрами не выявлено. Одним из характерных компонентов химического состава углекислых вод, определяющих их бальнеологическую ценность, является железо. Наибольшее содержание общего железа в водах изучаемой территории составило 39,3 мг/л. Кроме того, здесь отмечаются повышенные содержания марганца, лития и др. микроэлементов. Практически все они содержатся в виде комплексных соединений с органическими лигандами, поэтому, даже при незначительных концентрациях принимают активное участие в биохимических процессах. Это обуславливает бальнеологическую ценность минеральных вод данного типа (Шпейзер, 1992).

Холодные воды с повышенным содержанием сероводорода. В пределах изучаемой территории к типу холодных вод с повышенным содержанием сероводорода отнесены воды с относительно низкой температурой (т.е. не относящиеся к термальным), в которых отмечено повышенное содержание сероводорода. На территории ХДС зафиксировано 9 проявлений вод данного типа. К собственно сероводородным они не могут быть

отнесены, так как содержание сульфидной серы в них не превышает бальнеологической нормы 10 мг/л. Исключение представляет источник Бооролжуг, где суммарное содержание H_2S+HS^- составляет 18,87 мг/л. В соответствии с величиной рН, сероводород в минеральных источниках территории содержится в основном в виде гидросульфид-иона. Минерализация воды варьирует от 0,17 до 1,9 г/л. Химический состав воды разнообразен. Для сульфидных вод ХДС характерно повышенное содержание бора, лития, вольфрама, меди, молибдена и некоторых других микроэлементов.

Генезис сероводорода, скорее всего, связан с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий (Яроцкий, 1960; Плотникова, 1981). По-видимому, эти минеральные воды являются своеобразными реликтами гидротерм. В пользу этого предположения свидетельствуют повышенные содержания фтора и кремнекислоты, весьма своеобразный химический состав и высокая концентрация растворенного гелия. Так, например, в воде источника Нижний Салбаргуй содержание гелия на дату обследования составило $1,9 \times 10^{-1}$ мл/л (при величине атмосферного фона $5,2 \times 10^{-5}$ мл/л). В целом, для территории Хэнтэй-Даурского свода, микроэлементному составу холодных вод с повышенным содержанием сероводорода присущи те же специфические черты, что и для азотных термальных вод. Это подтверждает сходство условий формирования обоих типов минеральных вод.

Холодные субминеральные воды. К данному типу отнесены воды, в составе которых, в соответствии с современной степенью изученности, не содержатся нормативные количества бальнеологически активных компонентов. Тем не менее, источники таких вод пользуются большой популярностью у местного населения в качестве лечебных. Для определения бальнеологической ценности таких вод требуются серьезные исследования специалистами-медиками. Воды этих источников пресные, различного химического состава. Отмечено повышенное содержание некоторых микроэлементов (литий, цезий, бор, барий, стронций). Возможно, в дальнейшем, более детальные исследования позволят уточнить состав воды субминеральных источников и отнести их к какому-либо типу минеральных вод.

Разнообразие химического состава всех изученных типов минеральных вод показано на рисунке 4. Видно, что основным анионом во всех водах Хэнтэй-Даурского свода является гидрокарбонат, а катионный состав имеет широкие вариации. В термальных водах в основном преобладает натрий, а в холодных чаще всего основными катионами являются щелочноземельные металлы.

Газовый состав. Состав газов, содержащихся в минеральных водах, является одной из их важнейших характеристик, определяющих особенности взаимодействия в системе «вода-порода», формирование химического состава и, в практическом смысле, бальнеологические свойства. На территории ХДС распространены минеральные воды 2^х провинций – азотных и углекислых с преобладанием соответствующих газов (Дзенс-Литовский, Толстихин, 1937). В отдельных водопунктах зафиксировано повышенное содержание метана и водорода.

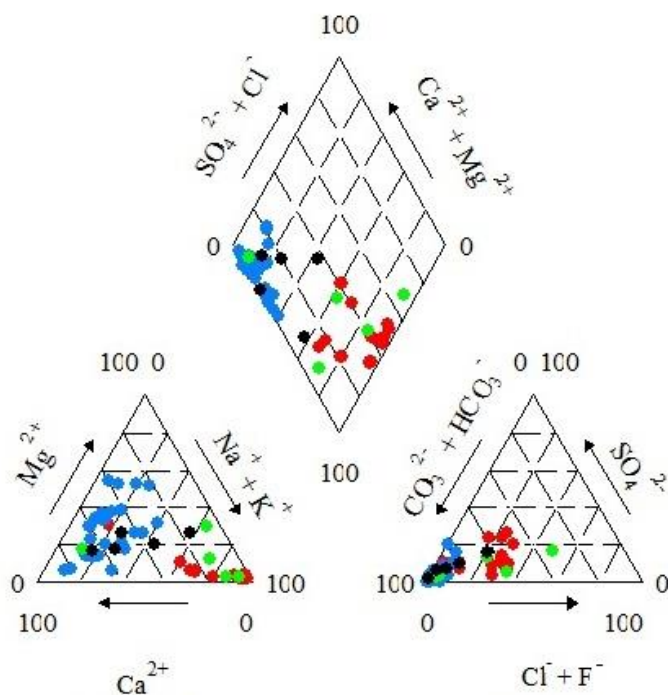


Рис. 4 Совмещенный график химического состава подземных минеральных вод различных типов Хэнтэй-Даурского свода: ● – термальные азотные; ● – холодные углекислые; ● – с повышенным содержанием сероводорода; ● – субминеральные

Отдельно рассмотрено содержание гелия (табл. 1), как индикатора связи подземных вод с тектоническими разломами.

Таблица 1. Содержание растворенного гелия в воде минеральных источников

Источник	Дата опробования	Содержание He, мл/л	Превышение атмосферного фона *
1	2	3	4
Термальные азотные воды			
Их-Онон	28.03.2007	$1,93 \times 10^{-3}$	37,1
Верхне-Ингодинский	08.07.2008	$1,32 \times 10^{-2}$	254
Былыра (скважина)	15.07.2008	$2,05 \times 10^{-2}$	394
Семиозерский	10.02.2009	$8,61 \times 10^{-3}$	166
12 ключей (Улуриский)	13.02.2009	$1,74 \times 10^{-3}$	33,5
Кыринский зимний	13.02.2009	$9,28 \times 10^{-3}$	178
Талачинский	30.04.2010	$8,76 \times 10^{-3}$	168
Естий	02.08.2010	$6,37 \times 10^{-3}$	122
Ероо	18.08.2011	$3,15 \times 10^{-2}$	606
Куналейский-2	19.09.2013	$2,84 \times 10^{-3}$	54,6
Холодные углекислые воды			
Шахта Бэрх	30.07.2001	$2,03 \times 10^{-4}$	3,9
Дашлинг	02.08.2001	$1,28 \times 10^{-4}$	2,5
Шийр	02.08.2001	$5,2 \times 10^{-4}$	10
Овор-Жанчивлин	08.08.2001	$5,6 \times 10^{-4}$	10,8
Ар-Жанчивлин	09.08.2001	$2,15 \times 10^{-2}$	413
Оргил	19.08.2002	$3,5 \times 10^{-4}$	6,7
Тарс	28.03.2007	$5,48 \times 10^{-3}$	105
Джилберийский	28.06.2012	$1,76 \times 10^{-4}$	3,4

1	2	3	4
Ямаровка	18.09.2013	$2,89 \times 10^{-4}$	5,6
Мордойский	30.08.2014	$6,74 \times 10^{-5}$	1,3
Минж	08.08.2015	$5,2 \times 10^{-5}$	1
Холодные воды с повышенным содержанием сероводорода			
Бооролжут	07.08.2001	$5,2 \times 10^{-5}$	1
Ендинский	12.07.2008	$3,12 \times 10^{-2}$	600
Нижний Салбартуй	15.07.2008	$1,90 \times 10^{-1}$	3654
Падь Нижний Дылбыркен	29.08.2014	$3,14 \times 10^{-3}$	60,4
Холодные субминеральные воды			
Шивычинские Талачи	14.07.2008	$6,02 \times 10^{-5}$	1,2
Яшновский	29.08.2014	$2,85 \times 10^{-3}$	54,8

* – величина атмосферного фона составляет $5,2 \times 10^{-5}$ мл/л (Писарский, Ганчимэг, 2007).

Наиболее высокие содержания гелия отмечаются в азотных термах. Это объясняется приуроченностью очагов разгрузки термальных источников к разломам глубокого заложения.

В холодных углекислых водах гелия содержится значительно меньше, хотя в отдельных источниках отмечается значительное превышение атмосферного фона.

Исключительно высокая концентрация гелия отмечается в воде источника Нижний Салбартуй (превышение атм. фона в 3654 раза). В Ендинском источнике, также характеризующимся повышенным содержанием сероводорода, гелия содержится в 600 раз выше фона. Это может свидетельствовать о том, что воды этих источников, так же как и термы, связаны с глубокими разломами.

Результаты исследований, изложенные в главе 3, подтверждают *первое защищаемое положение* о распространении в пределах Хэнтэй-Даурского свода четырех типов минеральных вод: *термальные азотные, холодные углекислые, холодные с повышенным содержанием сероводорода и холодные субминеральные*.

Глава 4. Изотопный состав минеральных вод

Изучение изотопного состава природных вод является одним из приоритетных направлений современной гидрогеохимии. При исследованиях условий формирования минеральных вод, наряду с изотопным составом элементов, непосредственно формирующих молекулу воды (кислород и водород), весьма информативными являются данные об изотопах растворенных веществ, в частности гелия и углерода.

Изотопный состав *водорода и кислорода* может служить критерием для установления генезиса минеральных вод. На рис. 3 показана зависимость содержания дейтерия от кислорода-18. Все точки изотопного состава лежат в непосредственной близости от линии метеорных вод Крейга. Это позволяет утверждать, что основная масса воды минеральных источников ХДС имеет атмосферное происхождение.

Тем не менее, существует мнение, что в мантийных, а возможно, и в более глубоких очагах могут формироваться ювенильные водные флюиды, а информация об относительном содержании тяжелых изотопов дейтерия и кислорода-18 на современном этапе

не может служить четким диагностическим признаком генезиса природных вод (Хаустов и др., 2010).

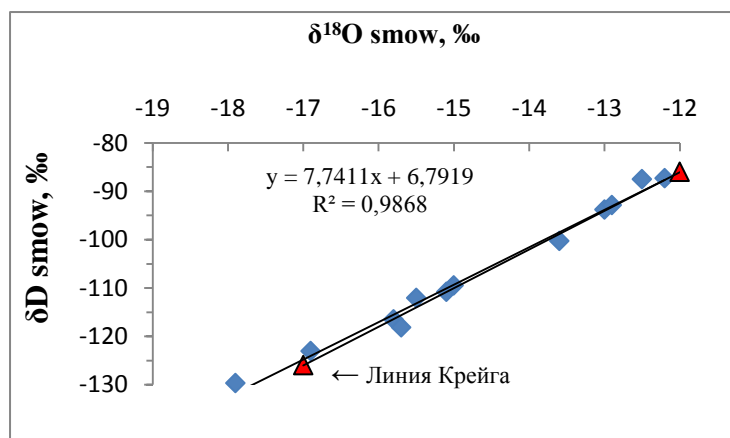


Рис. 3. Зависимость содержания δD от $\delta^{18}O$ в минеральных водах ХДС

Определение изотопного состава **углерода** производилось в гидрокарбонат-ионе ($\delta^{13}C_{DIC}$), а также в свободном углекислом газе ($\delta^{13}C_{CO_2}$) с целью выявления источников поступления углекислого газа. Из таблицы 2 видно, что значение $\delta^{13}C$ для углекислых вод ХДС попадает в интервал, соответствующий глубинному генезису CO_2 (Челноков, Харитонов, 2008). На основании полученных результатов автор настоящей работы склоняется к мнению о глубинном характере генезиса CO_2 в углекислых источниках территории и согласен с авторами статьи [Шварцев и др., 2017], что дальнейшие исследования покажут, является ли он коровым либо мантийным.

Таблица 2. Изотопный состав углерода углекислых вод ХДС

Водопункт	t° воды, $^{\circ}C$	CO_2 , мг/л	TDS, г/л	$\delta^{13}C_{CO_2}$, ‰ (PDB)	$\delta^{13}C_{DIC}$, ‰ (PDB)
Мордойский кислый ключ	13,0	293	0,229	-	- 10,0
Источник Джильберийский	4,7	537	0,637	-	- 8,7
Скважина, курорт Ямаровка	4,5	2086	1,61	-	- 8,4
Скважина, курорт Оргил	4,1	399	1,03	-	-10,7
Источник Минж	1,4	2112	0,709	- 13,2	- 11,8

Гелий. По величине отношения $^3He/^4He$ можно оценивать долю глубинной (мантийной) составляющей в минеральных флюидах и рассчитывать значения теплового потока для различных регионов. Считается, что гелий является единственным компонентом минеральных вод, в котором примесь ювенильного вещества устанавливается вполне однозначно (Кононов, Поляк, 1982). На территории Хэнтэй-Даурского свода при участии автора был отобран ряд проб для определения изотопного состава гелия. Кроме того, в пробах исследуемых водопунктов измерялось отношение $^4He/^{20}Ne$ для введения поправки на контаминацию атмосферным воздухом (табл. 3).

Таблица 3. Изотопный состав He в растворенном газе минеральных вод

Источник	$^3\text{He}/^4\text{He}$, измер.	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$, измер.	$^3\text{He}/^4\text{He}$, ис- прав-ленный	% мантий- ного He	Тепловой поток (q), мВт/м ²
12 ключей	$4,05 \times 10^{-7}$	11	$3,75 \times 10^{-7}$	3,4	65
Кыринский зимний	$2,76 \times 10^{-7}$	92	$2,72 \times 10^{-7}$	2,4	62
Былыра, скв.	$2,16 \times 10^{-7}$	109	$2,13 \times 10^{-7}$	1,9	60
Былыра, ист.	$9,4 \times 10^{-8}$	61,8	$8,73 \times 10^{-8}$	0,8	53
Семиозерский	$1,2 \times 10^{-7}$	78,4	$1,15 \times 10^{-7}$	1,0	55
Шивычинские Талачи	$9,6 \times 10^{-7}$	0,54	$3,34 \times 10^{-7}$	3,0	64
Верхне-Ингодинский	$2,0 \times 10^{-7}$	51,6	$1,93 \times 10^{-7}$	1,7	60
Нижний Салбартуй	$6,0 \times 10^{-8}$	330	$5,87 \times 10^{-8}$	0,5	50
Ендинский	$8,0 \times 10^{-8}$	46,1	$7,09 \times 10^{-8}$	0,6	51
Их-Онон, (t = 56°C)	$4,4 \times 10^{-8}$	100	$3,97 \times 10^{-8}$	0,4	47
Их-Онон, (t = 86°C)	$3,4 \times 10^{-8}$	233	$3,21 \times 10^{-8}$	0,3	45
Тарс	$3,3 \times 10^{-7}$	31,7	$3,19 \times 10^{-7}$	2,8	63
Урт	$1,9 \times 10^{-6}$	-	-	17	78
Оргил*	$1,1 \times 10^{-6}$	-	-	10	73
Ямаровка**	$9,6 \times 10^{-7}$	244	$9,6 \times 10^{-7}$	8,6	72
Куналейский-2**	$8,1 \times 10^{-8}$	54	$7,4 \times 10^{-8}$	0,7	52
Хохряковский**	$4,5 \times 10^{-8}$	412	$4,4 \times 10^{-8}$	0,4	48

* – (Хуторской М.Д. и др., 1991); ** – (Лаврушин В.Ю. и др., 1999).

Величины теплового потока были рассчитаны автором по формуле:

$$q \text{ (мВт/м}^2\text{)} = 18,23 \lg R + 181,82, \text{ где}$$

R – отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ (Поляк и др., 1979).

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными С.В. Лысак и Р.П. Дорофеевой (2003).

Доля мантийной составляющей определена по формуле:

$$\text{He}_m (\%) = 12,5 \frac{R}{R_a}, \text{ где}$$

R_a – атмосферное значение $^3\text{He}/^4\text{He}$, равно $1,4 \times 10^{-6}$ (Лысак, Писарский, 1999)

Термальным азотным и холодным водам с повышенным содержанием сероводорода соответствуют меньшие значения R, чем углекислым водам. Это означает, что в первых двух типах вод преобладает коровый (радиогенный) гелий, а в углекислых водах ощутимой становится доля мантийной составляющей.

Результаты изотопного анализа подтверждают **второе защищаемое положение** о том, что содержание стабильных изотопов водорода и кислорода в минеральных водах свидетельствует об их метеогенном генезисе. Вариации значений изотопа углерода ^{13}C указывают на глубинную природу углекислого газа. Гелий имеет, в основном, коровое происхождение, что подтверждается диапазоном значений отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$.

Глава 5. Использование и охрана минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода

Основные области практического использования минеральных вод:

Теплоэнергетика. По своим температурным характеристикам (более 70 °С) для использования воды с целью выработки электроэнергии на территории ХДС соответствуют только гидротермы Халуун-Ус (Их-Онон и Бага-Онон), но их расположение в отдаленных малонаселенных районах делают такое использование нецелесообразным. На других термальных источниках с температурой воды 35-45 °С может быть организовано отопление местных зданий. Источники с более низкой (до 30 °С) температурой воды еще менее перспективны в отношении теплоэнергетического использования.

Добыча гидроминерального сырья. На изучаемой территории экономическую выгоду может представлять добыча CO₂ в проявлениях углекислых вод. Примером такого рационального использования природных ресурсов является извлечение углекислого газа из воды курорта Ямаровка с целью дополнительного насыщения им собственных питьевых минеральных вод. Добываемый из скважин, эксплуатирующих минеральные воды, углекислый газ вполне мог бы фасоваться в баллоны и поступать в продажу потребителям. Добыча других полезных ископаемых (литий, бром и др.) из минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода экономически нецелесообразна из-за малой степени солености.

Бальнеология. В настоящее время на территории Хэнтэй-Даурского свода эксплуатация бальнеологических свойств минеральных вод идет с разной степенью интенсивности. Основными курортами, эксплуатирующими минеральные воды, являются действующие в настоящее время Оргил, Ар-Жанчивлин и Овор-Жанчивлин, расположенные в Монголии, а также практически прекратившие существование Ямаровка и Былыра – в России. Восстановление инфраструктуры этих знаменитых в недавнем прошлом здравниц должно стать одной из приоритетных задач местных органов власти. На остальных минеральных источниках лечение носит в основном стихийный характер. Отдыхающие посещают их либо круглогодично, либо в отдельные периоды года, что связано с условиями доступности мест выхода минеральных вод.

Охрана минеральных вод

Минеральные воды представляют собой уникальное природное явление, которое кроме бальнеологического применения имеет рекреационное и познавательное значение. Не вызывает сомнения необходимость организации охраны минеральных источников от загрязнения и истощения в условиях все возрастающего техногенного влияния. В диссертации предложена организация практического использования минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода в соответствии с природоохранным статусом источников. С этой целью они разделены на 3 группы. В *зоне строгого заповедного режима* посещение источников допускается лишь в исключительных случаях (проведение охранных мероприятий и научных исследований). В *зоне ограниченного заповедного режима* источники могут быть включены в туристические экологические маршруты, включающие принятие бальнеологических процедур с обустройством минимальной инфраструктуры. На базе источников, расположенных в *зоне свободного доступа*, необходимо раз-

вивать санаторно-курортную сеть, соблюдая весь комплекс природоохранных мероприятий.

Это сформулировано в *третьем защищаемом положении*: практическое использование минеральных вод должно определяться статусом территории, на которой расположены источники.

Заключение

Представляемая диссертационная работа посвящена рассмотрению условий формирования и пространственного распределения подземных минеральных вод на территории Хэнтэй-Даурского свода, особенностей химического, газового и изотопного состава, а также актуальным вопросам их современного состояния и перспективам практического использования. В результате проведенных исследований автор пришел к следующим выводам:

1. Территория ХДС обладает большими запасами минеральных вод различных типов, обладающих качественными характеристиками, соответствующими стандартам, предъявляемым к минеральным водам.

2. На основании данных об изотопном составе водорода и кислорода можно утверждать, что вода всех изученных минеральных источников имеет инфильтрационное (атмосферное) происхождение. Результаты определений содержания стабильного изотопа ^{13}C свидетельствует о глубинном характере CO_2 в холодных углекислых водах. Диапазон значений изотопных отношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ указывает, в основном, на коровое происхождение водорастворенного гелия.

3. Хэнтэй-Даурский свод является регионом, в котором необходимо развивать использование гидроминеральных ресурсов, в том числе и в бальнеологии.

4. В условиях нарастающего антропогенного прессинга необходимо предусматривать меры по защите минеральных источников от загрязнения и истощения их запасов. Их использование должно определяться статусом территории, на которой расположен конкретный источник.

В Приложении к данной работе приведен каталог проявлений минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода, поставленный в задачу исследований.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации:

Работы в рецензируемых изданиях из перечня ВАК

1. Шабынин Л.Л. Генезис и уникальность Алгинских озер (Забайкалье) / Л.Л. Шабынин, Б.И. Писарский, Ю.И. Сизых, **А.И. Оргильянов** // География и природные ресурсы. – 2002. №1. – С. 116-121.
2. **Оргильянов А.И.** Минеральные воды проектируемой трансграничной особо охраняемой природной территории «Истоки Амура» / А.И. Оргильянов, Е.Э. Малков, Б.И. Писарский и др. // География и природные ресурсы. – 2011. – №2. – С. 46–54.
3. Семенов Р.М. Байкал предупреждал о приближении землетрясения / Р.М. Семёнов, О.П. Смекалин, **А.И. Оргильянов** // Природа. – 2009. – № 7. – С. 64–67.
4. Семёнов Р.М. Гелий в глубинной воде Байкала – предвестник землетрясений / Р.М. Семёнов, В.С. Имаев, О.П. Смекалин, А.В. Чипизубов, **А.И. Оргильянов** // ДАН. – 2010. – Т.432. №4. – С. 533–536.

5. Бадминов П.С. Оценка глубинных температур термальных источников Хангая и Восточного Саяна с помощью геохимических геотермометров / П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг, **А.И. Оргильянов**, И.Г. Крюкова, Д. Оюунцэцэг // Вестник БГУ, Химия, физика. №3, 2011, Улан-Удэ. – С. 90-94.
6. Бадминов П.С. Окинская гидротермальная система (Восточный Саян) / П.С. Бадминов, А.В. Иванов, Б.И. Писарский, **А.И. Оргильянов** // Вулканология и сейсмология. – 2013. № 4. – С. 27-39.
7. Семёнов Р.М. Гидрогеохимические исследования в Прибайкалье в связи с поисками предвестников землетрясений / Р.М. Семенов, П.С. Бадминов, М.Н. Лопатин, **А.И. Оргильянов**, И.Г. Крюкова // Вестник ИрГТУ, 2015, №2. – С. 94-98.
8. Замана Л.В. Новые проявления углекислых вод в Юго-Восточном Забайкалье / Л.В. Замана, **А.И. Оргильянов**, И.Г. Крюкова // Успехи современного естествознания. – 2017. – №4. – С. 78–83.

Публикации в других изданиях

1. **Оргильянов А.И.** Новые данные о минеральных источниках Хэнтэй-Даурского неотектонического поднятия / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов // Вестник кафедры географии ВСГАО. – Иркутск, 2011. – №2(3). – С. 60–67.
2. **Оргильянов А.И.** Источники минеральных вод долины р. Онон / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова // Сборник трудов Сохондинского заповедника: исследования в охранной зоне. Научное издание. – Чита: Экспресс-издательство. – 2014. – С. 54–57.
3. **Оргильянов А.И.** Источники минеральных вод / А.И. Оргильянов, П.С. Бадминов, И.Г. Крюкова, Б. Намбар // Экологический атлас бассейна озера Байкал. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015, карта №45, М 1:5000000. – С. 59-60.
4. Pisarsky V.I. The water-soluble helium as an indicator of gaseous-hydrochemical regimes of the underground hydrosphere / V.I. Pisarsky, B. Aryadagva, L.L. Shabinin, **A.I. Orgilianov**, D. Ganchimeg // Complex geochemical and seismological investigations in Mongolia. – Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. – P. 304–311.
5. Badminov P.S. Special features of the forming of thermal waters of the eastern part of the Khangay neotectonic uplift / P.S. Badminov, D. Ganchimeg, V.I. Pisarsky, D. Oyuntsetseg, **A.I. Orgilyanov**, I.G. Kryukova, Ch. Zundui-Osor // Вестник АН Монголии, №4, 2009, Улан-Батор. – С. 64-70.

Патент

1. Семенов Р.М., Имаев В.С., Семенов А.Р., Оргильянов А.И., Смекалин О.П., Широбокова Н.П. Способ краткосрочного прогноза землетрясений // Патент № RU 2519050 С2. – 2014.

Публикации в материалах совещаний и конференций

1. **Оргильянов А.И.** Минеральные воды Хэнтэй-Даурского неотектонического поднятия / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова // Мат-лы XIX Всеросс. совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием «Подземные воды Востока России» (22-25 июня 2009 г.). – Тюмень: Тюменский дом печати. – 2009. – С. 269–271.
2. **Оргильянов А.И.** Хэнтэй-Даурская гидротермальная система / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, Д. Ганчимэг, П.С. Бадминов // Труды VIII Российско-Монгольской конфер. по астрономии и геофизике «Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии» (16-18 октября 2009 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН. – 2010. – С. 142–144.
3. **Оргильянов А.И.** Организация охраны минеральных вод на смежных территориях России и Монголии / А.И. Оргильянов, Е.Э. Малков, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов // Мат-лы науч.-практич. конфер. «Социально-эколого-экономические проблемы развития приграничных регионов России-Китая-Монголии» (20-22 октября 2010 г.). – Чита: Экспресс-издательство. 2010. – С. 80-81.
4. **Оргильянов А.И.** Условия формирования химического состава минеральных источников Хэнтэй-Даурского поднятия / А.И. Оргильянов, П.С. Бадминов, И.Г. Крюкова // Мат-лы Всеросс. конфер. с междунар. участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (20-23 сентября 2011 г.). Владивосток: Дальнаука. – 2011. – С. 116–118.

5. **Оргильянов А.И.** Современное состояние источника термальных вод Ероо / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, Б. Намбар, Б.И. Писарский, П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг // Мат-лы междунар. конфер. «Курортология Монголии – 80 лет» (25-27 ноября 2011 г.). – Улан-Батор: Китаб ХХК-д хэвлэв. – 2011. – С. 3–10.
6. **Оргильянов А.И.** Сравнительная характеристика изотопного состава термальных вод Байкальской рифтовой зоны и смежных сводовых поднятий / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг // Мат-лы XX Всеросс. совещ. по подземным водам Востока России с междунар. участием «Подземная гидросфера» (18-23 июня 2012 г.). – Иркутск: ООО Географ. – 2012. – С. 218–221.
7. **Оргильянов А.И.** Перспективы использования термальных вод в бассейнах рек Селенга и Онон / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг, Б. Намбар // Мат-лы V Междунар. науч.-практич. конфер. «Селенга – река без границ». – Улан-Удэ: БИП СО РАН. – 2012. – С. 144-147.
8. **Оргильянов А.И.,** Изотопный состав воды минеральных источников Монголии и Забайкалья / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов, М.А. Данилова // Мат-лы I Междунар. науч.-практич. конфер. «Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов» (17-20 июня 2013 г.). – Кызыл: КЦО Аныяк. – 2013. – С. 167–170.
9. **Оргильянов А.И.** Лечебные углекислые минеральные воды Монголо-Байкальского региона / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов // Мат-лы II Междунар. науч.-практич. конфер. «Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов» (Кызыл, 1-4 июля 2015 г.). – Абакан: ООО Журналист. – 2015. – С. 103–108.
10. **Оргильянов А.И.** Условия формирования минеральных углекислых вод месторождения Ямкун (Восточное Забайкалье) / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов // Мат-лы Всеросс. науч. конфер. с междунар. участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» (23-27 ноября 2015 г.). – Томск: изд-во ТПУ. 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 446–450.
11. **Оргильянов А.И.** Изотопный состав углерода минеральных вод Монголо-Сибирского региона [Электронный ресурс] / А.И. Оргильянов, А.Н. Пырьев, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов // Мат-лы III Всеросс. науч. конфер. с междунар. участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (20-25 августа 2018 г.). – Чита. – С. 304–307. Режим доступа: <http://inrec.sbras.ru/IIIconfWR2018>.
12. **Оргильянов А.И.** Минеральные источники Удоканского лавового плато / А.И. Оргильянов, Л.В. Замана, И.Е. Михеев, И.Г. Крюкова, М.Т. Усманов, А.Н. Пырьев // Мат-лы IV Всероссийского симпозиума, посвященного 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева «Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы» (14-15 октября 2019 г.). – Иркутск: ИЗК СО РАН. 2019. – С. 124–126.
13. **Оргильянов А.И.,** Крюкова И.Г., Бадминов П.С., Намбар Б., Оюунцэцэг Д. Минеральные воды монгольской части Хэнтэй-Даурского свода // ХАЙГУУЛЧИН Монголын геологийн албаны 80 жилийн ойд зориулсан тусгай дугаар. Улаанбаатар хот 2019 оны 10 сарын 16. МҮГ-Холбооноос эрхлэн гаргав, №61, 2019, – С. 111. (Международная научная конференция «Геологической службе Монголии – 80», 16-17 октября 2019 г. г. Улан-Батор).

Оргильянов Алексей Июльевич

Минеральные воды Хэнтэй-Даурского свода

Автореферат