

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

**ОРГИЛЬЯНОВ АЛЕКСЕЙ ИЮЛЬЕВИЧ**

**МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ ХЭНТЭЙ-ДАУРСКОГО СВОДА**

**Специальность 25.00.07 – Гидрогеология**

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Научный руководитель:  
доктор геол.-мин. наук,  
Алексеев С.В.**

**Иркутск, 2021 г.**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ .....	3
1.	ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ХЭНТЭЙ-ДАУРСКОГО СВОДА .....	8
2.	ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ .....	14
2.1.	Орогидрография .....	14
2.2.	Климат .....	17
2.3.	Геологическое строение и тектоника .....	19
2.4.	Геокриологические условия .....	27
2.5.	Гидрогеологические условия .....	30
3.	УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД .....	33
3.1.	Систематизация минеральных вод .....	33
3.2.	Термальные воды .....	38
3.3.	Холодные воды .....	57
3.3.1.	Холодные углекислые воды .....	57
3.3.2.	Холодные воды с повышенным содержанием сероводорода .....	68
3.3.3.	Субминеральные воды .....	75
3.4.	Газовый состав минеральных вод .....	78
3.5.	Гелий, как индикатор связи подземных вод с тектоническими разломами .....	81
4.	ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД .....	84
4.1.	Стабильные изотопы водорода и кислорода .....	84
4.2.	Изотоп $^{13}\text{C}$ в углекислых водах .....	86
4.3.	Изотопное отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ .....	90
5.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ХЭНТЭЙ-ДАУРСКОГО СВОДА .....	94
5.1.	Использование минеральных вод .....	94
5.2.	Охрана минеральных вод .....	97
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	100
	ПРИЛОЖЕНИЕ .....	102
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	141
	ЛИТЕРАТУРА .....	142
	СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА .....	151

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **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.

Хэнтэй-Даурский свод расположен на территориях двух государств: России и Монголии и представляет собой малообжитый и относительно труднодоступный район. Его территория ещё не столь значительно подверглась воздействию техногенеза, поэтому особую актуальность приобретает задача сохранения для будущих поколений всего многообразия природных богатств, включая минеральные воды.

Изученность минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода, в сравнении с расположенными рядом Байкальской рифтовой зоной и Хангайским сводом, остается недостаточной.

*Объект научного исследования.* Объектом 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:  $47 - 51^\circ$  с.ш. и  $106^\circ 30' - 113^\circ$  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. Выяснить условия формирования ресурсов и состава минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода.
2. Предложить концепцию организации охраны источников минеральных вод от загрязнения и истощения.
3. Составить полный (для современного состояния изученности) каталог проявлений 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. Виноградова и ЛИН СО РАН, а также НОЦ «Вода» ТПУ (г. Томск). Анализ изотопии He – в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург);  $^{13}\text{C}$  – в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск);  $^{18}\text{O}$  и D – в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Быстроизменяющиеся компоненты (pH, Eh,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) 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 их формирования осуществлено определение изотопного состава водорода, кислорода, гелия и углерода.

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,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ , D.

### *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 разнообразием 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  $^{13}\text{C}$  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, предусматривающие 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 соавторстве), входящие в журналы перечня 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. Объем работы составляет 152 страницы, включая 18 рисунков, 19 таблиц и 16 фотографий.

**Благодарности.** Исследования проводились под руководством первого научного руководителя, доктора геолого-минералогических наук Писарского Бориса Иосифовича, которому автор искренне благодарен. Автор выражает признательность доктору геолого-минералогических наук Сергею Владимировичу Алексееву, продолжившему руководство диссертацией. Особая благодарность кандидатам геолого-минералогических наук 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 постоянную 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 технической помощи и поддержки которой подготовка данной диссертации была бы невозможна.

## Глава 1 ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Источники минеральных вод издавна привлекали внимание как местного населения, так и путешественников-исследователей ввиду своих необычных свойств. Несмотря на расположенность в труднодоступной местности, к целебным водам («аршанам») регулярно добирались не только местные охотники-таежники, но и жители степных территорий Монголии и Китая. Служители культа (ламы) обладали довольно глубокими для того времени знаниями о бальнеологических свойствах минеральных вод и осуществляли контроль за лечебным процессом. Места выходов источников оборудовались примитивными каптажными устройствами для питьевого использования минеральных вод и принятия ванн («дикие курорты»). Кроме того, очаги разгрузки минеральных вод являются излюбленными местами посещения диких копытных животных, благодаря чему многие минеральные источники были впервые обнаружены охотниками.

Первыми европейскими (российскими) исследователями минеральных вод района стали участники академических экспедиций. С.Г. Гмелин в своей работе «Путешествие по России для исследования трех царств естества» (1785 г.) впервые дал описание некоторых минеральных источников Забайкалья, в частности, Былыры. П.С. Паллас (1788 г.) в своих заметках о путешествии по Сибири упомянул о термальных источниках в бассейнах рек Кыра и Чикой [72]. Первой сводкой данных о минеральных водах России можно считать работу академика В. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства» с разделом «Прибавление к минеральным водам» (1809 г.) Здесь, применительно к территории Хэнтэй-Даурского свода, выделяются «углекислые» и «теплые» воды [72]. В 1893 г. под руководством В.А. Обручева были проведены первые разведочные работы на источнике Ямаровка, и была установлена связь выхода минеральных вод с зоной тектонического разлома. Этот же источник в 1925 г. был обследован А.В. Арсентьевым. В 1905 г. вышла в свет монография И.А. Багашева «Минеральные источники Забайкалья» [6], где дано



подробное описание 165 минеральных источников, ряд которых расположен в пределах изучаемой территории. Автором этой работы рассмотрена история изучения и практического использования минеральных вод, приведены сведения об их химическом составе и условиях формирования.

Очень большое значение для изучения минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода (ХДС) имеют работы Ю.П. Деньгина [28, 29], детально описавшего целый ряд источников в верховьях рек Чикой, Онон и Ингода. Он привел результаты химических анализов воды и рассмотрел геологические условия очагов разгрузки минеральных вод, отметив, в частности, что выходы термальных источников приурочены к тектоническим трещинам в гранитах. Кроме того, Б.А. Максимов в своем очерке [68] привел описание минеральных источников района гольца Сохондо.

Особое место в исследованиях минеральных вод Забайкалья, в частности Хэнтэй-Даурского свода, принадлежит выдающемуся гидрогеологу Н.И. Толстихину. Он, совместно с А.И. Дзенс-Литовским, предпринял первую попытку дать схему районирования подземных минеральных вод Северной Азии, куда были включены Азиатская часть СССР и Монголия [30]. Они выделили следующие провинции минеральных вод: «первая» – щелочноземельных холодных и теплых, газифицирующихся углекислым газом; «вторая» – натриевых теплых, газифицирующихся азотом; «третья» – холодных и теплых, соленых, слабо газифицирующихся.

Наиболее крупной таксономической единицей районирования принята «провинция» минеральных вод, выделяемая по их химическому и газовому составу, а также температуре. Подразделениями более низкого ранга принимаются «область» и «район», выделяемые по физико-географическим и геолого-структурным критериям. В соответствии с принятым принципом районирования, авторы работы [30] относят территорию Хэнтэй-Даурского свода к Даурской гидроминеральной области «первой» провинции. В её пределах выделяется Зачикойский горячеводский район, который по характеристикам

распространенных там минеральных вод должен относиться ко «второй» провинции.

Перу Н.И. Толстихина принадлежит целый ряд публикаций о минеральных источниках Забайкалья, в числе которых нужно выделить работу [100] о газовом составе минеральных вод. Здесь, в частности, дается характеристика газового состава некоторых источников ХДС (вместе с детальным описанием их выходов). Отмечено, что минеральные воды Забайкалья по преобладающим газам подразделяются на углекислые и азотные, а также смешанного состава. Установлено, что газовый состав минеральных вод является функцией, с одной стороны, тектонического строения (глубины трещин, по которым циркулируют воды), а с другой – внешних факторов (атмосферного давления, мерзлотных условий). В этой работе автором выделена Ононско-Ингодинско-Чикойская тектоническая линия выхода газовых струй, к которой приурочены азотные термальные источники. В 1946 г. Н.И. Толстихин совместно с М.П. Михайловым опубликовали весьма полную сводку минеральных источников Восточной Сибири, куда вошли и источники, расположенные на территории ХДС [74]. В работе был выделен «небольшой» (в сравнении с окружающей обширной провинцией холодных углекислых вод) район распространения акратотерм (маломинерализованных термальных вод с преобладанием азота в газовом составе).

В 1961-1962 гг. вышла в свет 2-х томная монография «Минеральные воды южной части Восточной Сибири» [72, 73], которая до настоящего времени остается наиболее полным фундаментальным обобщением сведений о минеральных водах Восточной Сибири. В этой работе рассмотрены условия формирования и закономерности распространения минеральных вод различных типов, дан полный каталог всех известных к тому времени их проявлений. Авторами раздела, посвященного Хэнтэй-Даурскому своду, были Л.М. Орлова и В.М. Степанов. Эти два исследователя внесли большой вклад в дело изучения гидроминеральных богатств Забайкалья. Среди работ Л.М. Орловой необходимо упомянуть статью «Термы Читинской области» [79], где описаны термальные

источники ХДС, приведены данные их химического состава и условий формирования. В.М. Степанов активно развивал учение о гидрогеологических структурах [99], положения которого весьма наглядно проявляются в Забайкалье, в частности, на территории ХДС.

Большой вклад в изучение углекислых вод Забайкалья внесла А.П. Карасева [46]. Она выделила по аналогии с Кавказскими минеральными водами три типа углекислых вод:

- дарасунский (нарзан) – гидрокарбонатные щелочноземельные;
- балецкий (боржоми) – гидрокарбонатные натриевые;
- торейский (ессентуки) – хлоридно-гидрокарбонатные натриевые.

На территории Хэнтэй-Даурского свода встречаются дарасунский и балецкий типы углекислых вод.

Вопросу районирования минеральных вод Забайкалья посвящена статья В.Г. Ясько [121], в которой автор отнес территорию ХДС к Даурской области холодных минеральных вод с выделением в её пределах Даурского района термальных вод. В.Н. Дислер в работе [32] отнес Даурский свод к области взаимопроникновения провинций холодных углекислых и термальных азотных вод.

Описанию отдельных минеральных источников Хэнтэй-Даурского свода за период 1920-1970 г.г. XX века посвящены работы Богдановой Л.Л., Богомолова Н.С., Герасимова А.П., Диковского А.М., Звонарева И.М., Канищева А.Д., Кобозева И.И., Котульского В.К., Преснякова Е.А. и других исследователей.

Условия формирования минеральных вод Забайкалья детально рассмотрены в работе Е.А. Баскова и Г.И. Климова [8]. Особое место в изучении формирования минеральных вод занимают исследования И.С. Ломоносова. В его фундаментальной работе [62] подробно рассмотрены закономерности формирования и распространения минеральных вод Восточной Сибири, в частности территории ХДС.

Экономические трудности последних десятилетий XX века привели к тому, что минеральным водам ХДС в этот период было посвящено гораздо меньше публикаций, чем гидроминеральным ресурсам смежных территорий [13; 63].

В последние годы интерес к минеральным водам Хэнтэй-Даурского свода возродился, в первую очередь благодаря ученым ИПРЭК СО РАН под руководством Л.В. Заманы [38; 39 и др.] В этих публикациях приведены сведения о составе данных вод, проанализированы условия их формирования. Автором диссертации в рамках Договора о научном сотрудничестве между ИЗК СО РАН и Сохондинским государственным биосферным заповедником в 2008-2013 г.г. был проведен ряд экспедиционных работ на российской части территории ХДС.

Минеральные источники Хэнтэй-Даурского свода, расположенные на территории Монголии, были известны местным жителям очень давно. Что касается русскоязычных исследователей, то нужно отметить Я.П. Шишмарева, давшего в 1865 г. первые сведения об источнике Их-Онон (Халуун-Ус). Термальный источник Ероо описали П.С. Михно (1901 г.) и В.Ф. Новицкий (1906 г.).

Выдающийся геолог М.А. Усов, проводя исследования на территории Хэнтэй-Даурского свода, связанные с поисками золота, детально описал термальные воды в верховьях р.р. Онон и Ероо [102], высказав предположение об их вулканическом происхождении. Он считал, что термы являются первыми вестниками грядущих вулканических извержений. В 1926 г. ряд углекислых источников монгольской части ХДС посетил и описал Б.М. Куплетский.

Большое значение для исследований минеральных вод Монголии имеет работа В.А. Смирнова [97], описавшего ряд источников, в частности Ероо, и давшего сведения об их химическом составе. В.А. Смирнов, так же как и М.А. Усов, был сторонником ювенильного происхождения термальных вод.

В послевоенные годы основная роль в исследованиях минеральных вод Монголии принадлежит Н.А. Маринову и В.Н. Попову, чья капитальная монография [70] до сих пор может считаться наиболее полным изложением сведений об условиях формирования минеральных вод. В этой книге дано

подробное описание 75 минеральных источников, в том числе расположенных на территории ХДС.

В 1966 г. вышла в свет монография монгольских ученых О. Намнандоржа, Ш. Цэрэна, Ө. Нямдоржа «Аршаны МНР» (на монгольском языке) [124]. В ней дана характеристика более 200 минеральных источников, в том числе нескольких десятков, относящихся к ХДС.

В 1970-х годах к исследованию минеральных вод Монголии приступили ученые Советско-Монгольской Хубсугульской экспедиции под руководством Б.И. Писарского и Г.М. Шпейзера. Сетью маршрутов была покрыта вся территория МНР, в том числе и ХДС. Результатом работ стали монография [22] и «Карта минеральных вод Монголии» [47]. В исследованиях, помимо советских гидрогеологов, принимали участие и монгольские специалисты П. Доржсурэн, Ц. Пурэвсурэн, З. Энэбиш и др.

С конца 1980-х годов исследованиями минеральных вод Монголии занимались сотрудники совместного отряда под руководством Б.И. Писарского (Россия) и Б. Намбара (Монголия): Ц. Алтанцэцэг, П.С. Бадминов, В.М. Вострецов, Д. Ганчимэг, И.Г. Крюкова, Ю.И. Кустов, В.С. Лепин, Г. Онон, Д. Оюун, М.В. Папшев, Л.Л. Шабынин и др., в том числе автор диссертации. В результате этих исследований были изданы карта [123] и монография [85], в которых приведены сведения о минеральных источниках монгольской части Хэнтэй-Даурского свода.

## Глава 2 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Хэнтэй-Даурский свод расположен на смежных территориях России и Монголии, в административном отношении относится к Забайкальскому краю (Россия), Центральному, Хэнтэйскому и Дорнодскому аймакам (Монголия).

Географические координаты территории исследования: 47 – 51° северной широты и 106°30' – 113° восточной долготы (рисунок 2.1).

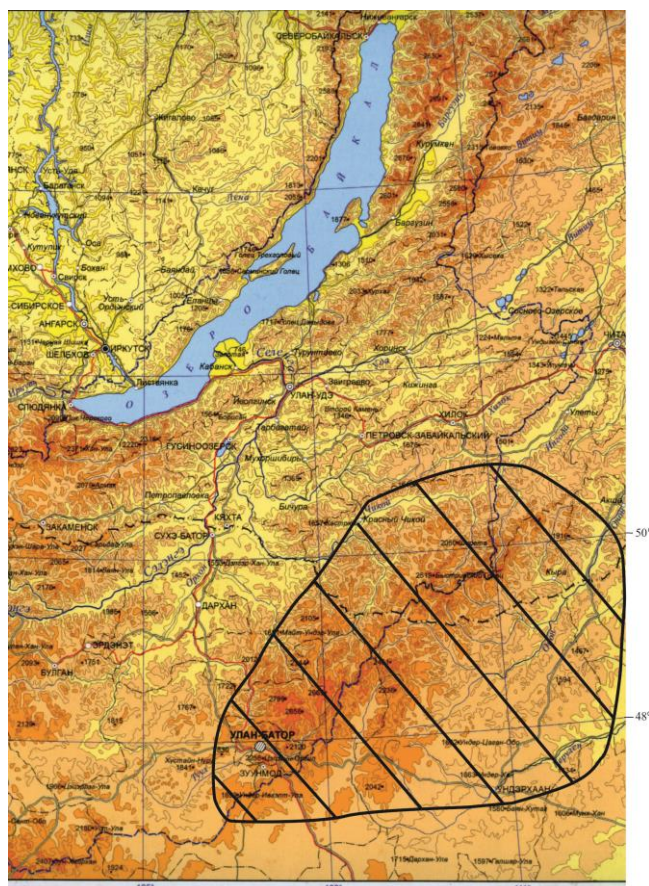


Рис. 2.1 Географическое положение Хэнтэй-Даурского свода

### 2.1 Орогидрография

Горные сооружения Хэнтэй-Даурского свода представляют собой южное крыло Монголо-Сибирского возрожденного орогенического пояса [104].

Хэнтэй-Даурский свод является мировым водоразделом, где находятся истоки рек, впадающих в Тихий (р.р. Ингода, Онон, Керулен) и Северный Ледовитый (р.р. Чикой, Тола) океаны. План современной гидросети определяется

развитием разломной тектоники, т.е. долины рек приурочены к зонам тектонических нарушений различного порядка.

Особенности рельефа земной поверхности определяют условия дренирования водовмещающих пород, уклоны подземных потоков. Кроме того, с особенностями рельефа связана и высотная поясность условий увлажнения, связанная с увеличением суммы выпадающих атмосферных осадков при повышении абсолютных отметок местности.

Территория исследований характеризуется в основном горным рельефом с отметками вершин, превышающими 2000 м. На территории России высшей точкой Хэнтэй-Даурского свода является Быстринский Голец (абс. отм. 2519 м), а на территории Монголии – гора Асралт-Хайрхан (абс. отм. 2799 м). В состав Хэнтэй-Даурского свода входят следующие хребты: Мензинский, Асинский, Буркальский, Эсутайский, Чикоконский, Жергоконский, Перевальный, Хэнтэй, Онон-Бальджинский, Чатангинский, Становик, Куналейский, Мергенский, Улентуйский [69]. Горные хребты чередуются здесь с межгорными впадинами, а периферическая часть территории представляет собой холмистую равнину. На гольцовых водоразделах хорошо сохранились следы последнего древнего оледенения. Горы характеризуются в основном мягкими контурами вершин, не очень крутыми склонами и относительно небольшим распространением отвесных скал. К юго-востоку от Хэнтэй–Даурского свода расположена Ононская впадина, переходящая далее в Улдза–Торейскую равнину, а вдоль южного подножия протягивается долина р. Керулен.

Основные черты рельефа Хэнтэя начали формироваться ещё в позднем мезозое, а его современный облик образован уже в новейшее время и сформировался в результате взаимодействия экзогенных процессов с тектоническими подвижками. Ш. Цэгмид [109] для территории Хэнтэй-Даурского свода выделил 7 типов рельефа:

1. Высокогорный тип с крутыми осыпными склонами и плоскими вершинами (абс. высота 1900-2500 м).

2. Среднегорный тип с пологими мягкими склонами и округлыми вершинами (абс. высота 1500-1900 м).
3. Мелкосопочный тип с мягкими склонами, острыми или округлыми вершинами (абс. высота 1300-1500 м).
4. Тип холмисто-увалистых равнин (абс. высота 1000-1300 м).
5. Озерные котловины с песками и солончаками.
6. Широкие древние долины, лишённые постоянных водотоков.
7. Хорошо разработанные современные долины.

Разломная тектоника является основным фактором, определяющим гидрогеологическую обстановку и, следовательно, условия формирования подземного стока и распределение по территории минеральных источников.

Все крупные реки района протекают в долинах, имеющих тектоническое происхождение и разработанных в ходе дальнейших эрозионных процессов. Густота речной сети составляет около 0,5 км/км<sup>2</sup> [93].

Реки территории характеризуются дальневосточным типом водного режима с хорошо выраженным преобладанием дождевого питания. Весеннее половодье по сравнению с дождевыми паводками имеет меньшую высоту, что связано с относительно небольшими запасами воды в снежном покрове. Летняя межень обычно выражена слабо из-за частого выпадения осадков, когда сравнительно продолжительные периоды низких уровней наблюдаются лишь в промежутках между дождевыми паводками. Зимой происходит резкое снижение речного стока, вплоть до его полного прекращения.

Весеннее половодье начинается во второй-третьей декаде апреля и имеет продолжительность около одного месяца. Объем стока половодья в среднем составляет 15 % от общего объема годового стока.

Летний сезон продолжается в период июнь-сентябрь. В это время реализуется основная доля (около 75 %) всего объема годового речного стока, формируемого за счет дождевых осадков.

Объем речного стока за осенний период составляет около 10 % от годового. Переход к зимнему режиму происходит в октябре с появлением первых ледовых



образований (забереги и шуга). Низкие температуры воздуха и широкое распространение многолетнемерзлых пород определяют своеобразие зимнего режима рек, когда поверхностный сток практически полностью истощается.

Отличительная черта Хэнтэй-Даурского свода, как и всего Восточного Забайкалья – широкое развитие наледей, в которых аккумулируется значительное количество воды, в то время, когда на гидрологических постах фиксируются нулевые расходы рек. Большинство наледей на реках стаивает в мае-июне, в отдельных местах они могут сохраняться до конца июля. Среднегодовая величина модуля речного стока территории Хэнтэй-Даурского свода составляет  $5,2 \text{ л/с*км}^2$ , достигая в высокогорной части  $10-15 \text{ л/с*км}^2$  [93].

Минерализация речных вод в горной части территории менее  $100 \text{ мг/л}$ , с выходом водотоков в степные районы её величина возрастает, достигая  $300 \text{ мг/л}$ . Состав воды, в основном, гидрокарбонатный кальциевый.

В приводораздельной части ХДС отмечается большое количество озер, котловины которых имеют ледниковый генезис. Вода в этих озерах имеет исключительно низкую минерализацию. В предгорной части района также имеется ряд небольших озер, котловины которых имеют термокарстовое либо эрозионное происхождение. По степени минерализации вода этих озер варьирует от пресных (до  $1 \text{ г/л}$ ) до соленых (несколько десятков  $\text{г/л}$ ).

## 2.2 Климат

Расположение Хэнтэй-Даурского свода в центральной части Евразии с удаленностью от морей обусловило резкую континентальность климата, который характеризуется долгой морозной зимой и относительно коротким, но жарким летом. Здесь отмечаются значительные суточные и годовые амплитуды колебания температуры воздуха. Среднегодовые температуры воздуха отрицательные. Средняя температура января около минус  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , июля –  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Режим температуры определяется характером атмосферной циркуляции и рельефом местности. Влияние географической широты имеет меньшее значение. В

переходные периоды года (весной и осенью) погода неустойчивая, с частыми сильными ветрами.

В зимний период на исследуемой территории господствует сибирский антициклон, определяющий ясную морозную сухую погоду. В этих условиях холодный воздух при практически полном безветрии стекает в понижения рельефа и создает температурные инверсии. В течение зимы выпадает всего около 3 % годовой суммы осадков.

В первой половине летнего периода циклоническая деятельность выражена слабо, что обуславливает преобладание засушливой погоды, когда количество выпадающих осадков составляет не более 25 % от их годовой суммы. Во второй половине лета усиливается привнос с океана влажных воздушных масс, вызывающих выпадение в этот период основной доли годовой суммы осадков (около 55 %). Интенсивность некоторых ливневых дождей может достигать 100 мм/сут. Такие ливни могут вызывать катастрофические паводки на реках территории. Количество выпадающих атмосферных осадков зависит от высоты над уровнем моря, а также от экспозиции склона. В таблице 2.1 представлены сведения о годовых суммах атмосферных осадков для метеостанций, расположенных на российской территории Хэнтэй-Даурского свода.

Таблица 2.1

#### Годовое количество атмосферных осадков

Метеостанция	Абсолютная отметка, м	Осадки, мм в год
Красный Чикой	766	328
Менза	918	377
Букукун	1106	417
Кыра	887	387
Мангут	807	352
Курулга	874	357
Усть-Урлук	662	324
Хилкотой	690	368
Гремячинское	749	368
Большаково	781	348
Аца	835	352
Черемхово	885	375
Черемховский перевал	1647	675
Шумиловка	1153	455
Верхний Ульхун	827	374

Высокогорные районы ХДС характеризуются наибольшей величиной увлажнения на территории Монголии, где выпадает более 500 мм осадков в год. Со снижением абсолютных отметок количество выпадающих осадков снижается до 250-300 мм/год у южного подножия Хэнтэй-Даурского свода. По данным авторов [49], общая минерализация атмосферной влаги достаточно низка (не более 5 мг/л), минерализация снега немного выше.

### 2.3 Геологическое строение и тектоника

В геологическом строении территории Хэнтэй-Даурского свода принимают участие породы различного возраста от нижнего палеозоя до четвертичного периода (рисунок 2.2). Наиболее древними отложениями являются филлиты, песчаники и сланцы куналейской свиты венда-раннего кембрия [69].

Вдоль российско-монгольской границы широкое распространение имеют девонские отложения агуцинской свиты, представленные слюдистыми песчаниками и алевролитами, глинистыми сланцами с горизонтами гравелитов и зеленокаменных эффузивов. Породы девона собраны в узкие линейные складки близширотного простирания.

На территории Монголии песчаники, алевролиты, аргиллиты с линзами гравелитов и конгломератов объединяются в хэнтэйскую серию, охватывающую по возрасту девон, карбон и нижнюю пермь [4].

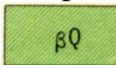
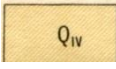
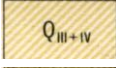
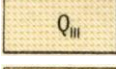
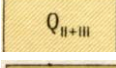
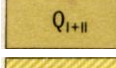
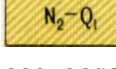
К карбону-перми относятся песчанико-сланцевые толщи ингодинской серии, в разрезе которой присутствуют эффузивные образования.

Крупный внутренний прогиб пермского возраста, имеющий северо-восточное простирание, находится в окрестностях с. Кыра и верхнего течения р. Онон (Кыринско-Ононский прогиб). Этот прогиб выполнен терригенными морскими отложениями, среди которых преобладают песчаники и аргиллиты [75]. На территории Монголии поле пермских отложений, представленных песчаниками и алевролитами, выделяется в районе сомона Цэнхэрмандал.



## Условные обозначения:


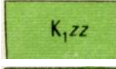
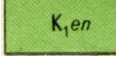
Четвертичная система:

	– базальты
	– современное звено
	– верхнечетвертичное и современное звенья
	– верхнечетвертичное звено
	– среднечетвертичное и верхнечетвертичное звенья
	– нижнечетвертичное и среднечетвертичное звенья
	– плиоцен–нижнечетвертичное звено

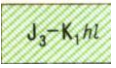
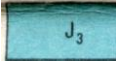
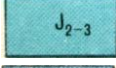

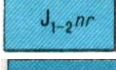
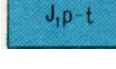
Неогеновая система:

	– базальты
---	------------

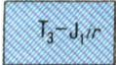
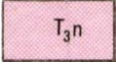
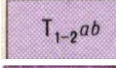
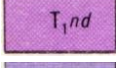
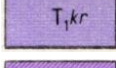

Меловая система:

	– нижний отдел. Ушмунская свита
	– нижний отдел. Зазинская свита
	– нижний отдел. Ендондинская свита

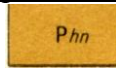
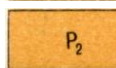
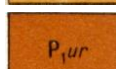
Юрская система:

	– юра, верхний отдел–мел, нижний отдел. Хилокская свита
	– верхний отдел. Отложения нерасчлененные
	– средний-верхний отделы. Отложения нерасчлененные
	– средний отдел. Эгингольская свита
	– нижний-средний отделы. Нарингольская свита
	– нижний отдел. Плинсбахский-тоарский ярусы

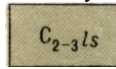
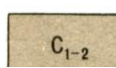

Триасовая система:

	– триас, верхний отдел–юра, нижний отдел. Ирэляхская свита
	– верхний отдел. Норийский ярус
	– нижний-средний отделы. Абзогская свита
	– нижний отдел. Нидымская свита
	– нижний отдел. Корвунчанская свита
	– нижний отдел. Тутончанская свита

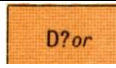
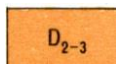
Пермская система:

-  Phn – хануйская серия. Отложения нерасчлененные
-  P<sub>2</sub> – верхний отдел. Отложения нерасчлененные
-  P<sub>1ur</sub> – нижний отдел. Урэхтейская свита

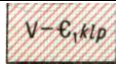
Каменноугольная система:

-  C<sub>2-3ls</sub> – средний-верхний отделы. Листвяжинская свита
-  C<sub>1-2</sub> – нижний-средний отделы. Отложения нерасчлененные
-  C<sub>1sb</sub> – нижний отдел. Шибитская свита

Девонская система:

-  D<sup>?or</sup> – Орnochеканская свита
-  D<sub>2-3</sub> – средний-верхний отделы. Отложения нерасчлененные


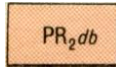
Венд – кембрийская система:

-  V-C<sub>1klp</sub> – нижний отдел. Колпинская свита

Венд:

-  V<sub>ts</sub> – Тасеевская серия


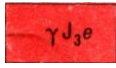
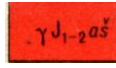
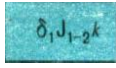
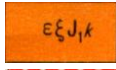

Верхний протерозой:

-  PR<sub>2sr</sub> – Сархойская свита
-  PR<sub>2db</sub> – Дибинская свита

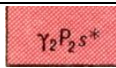
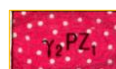
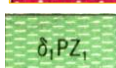
Архей:

-  AR<sup>?kn</sup> – Киндиканская свита


Мезозойские интрузии:

-  γ<sub>J</sub> – юрские интрузии (борщевочный комплекс)
-  γ<sub>J3e</sub> – Эймнахский комплекс
-  γ<sub>J1-2as</sub> – Асакан-шумиловский комплекс
-  δ<sub>1J1-2k</sub> – Кыринский комплекс, первая фаза
-  εξ<sub>Jk</sub> – Куналейский комплекс
-  γδ<sub>Js</sub> – Сохондинский комплекс

Палеозойские интрузии:

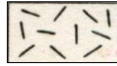
-  γ<sub>2</sub>P<sub>2s</sub><sup>\*</sup> – Селенгинский комплекс
-  γ<sub>2</sub>PZ<sub>1</sub> – Интрузии Восточного и Центрального Забайкалья, вторая фаза
-  δ<sub>1</sub>PZ<sub>1</sub> – Интрузии Восточ. и Центр. Забайкалья, нерасчлененные, первая фаза

Протерозойские интрузии:

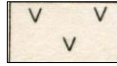
-  γPR<sub>1</sub> – Раннепротерозойские интрузии (малханский, заганский и др. комплексы)

Архейские интрузии:

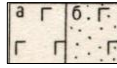
– Интрузии гранитоидного состава, не расчлененные на комплексы

Вулканогенные породы:

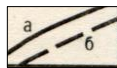
– кислого состава



– среднего состава



– основного состава



– Тектонические контакты: а) достоверные; б) предполагаемые

Формирование этих отложений происходило в обстановке быстрого опускания области седиментации на фоне повышенной тектонической мобильности Восточного Забайкалья и Восточной Монголии в конце палеозоя [11].

Верхняя пермь-нижний триас представлены песчаниками, гравелитами, алевролитами, конгломератами усть-илинской свиты. Отложения сложены в складки близширотного простирания, которые осложнены надвигами [23].

Отложения верхнего триаса-нижней юры установлены только на российской части Хэнтэй-Даурского свода [3].

В средней юре произошло образование вулканоплутонического сохондинского комплекса с входящими в него эффузивными покровами. Структуры этого комплекса вытянуты в северо-восточном направлении вдоль системы глубинных разломов, составляющих переходную зону между герцинидами Даурии и западной окраиной Агинского массива [2].

Средне- и верхнеюрскими отложениями сложены речные долины. Эти породы представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами и конгломератами и относятся к букукунской (в России) и джаргалантуйской (в Монголии) свитам [70].

С мелкими поперечными разломами связаны эффузивные толщи юрского возраста. Так, по данным М.С. Нагибиной [75] абсолютный возраст сохондинского вулканогенного комплекса равен 175 млн. лет.

К зоне разломов, отделяющих Алтано-Кыринский и Ононский грабены от смежных поднятий, приурочены верхнеюрские основные эффузивы бырцинской свиты.

Нижнемеловые осадочные породы распространены в Букукунской, Алтано-Кыринской и Ононской впадинах и представлены конгломератами, песчаниками, туфами букукунской, алтанской и нарасунской свит.

Верхний мел-палеоген для изучаемой территории характеризуется повсеместным развитием пенепленизации и образованием кор выветривания.

В миоцене и раннем плиоцене начался хотя и медленный, но неуклонный рост поднятия Хэнтэй-Даурского свода, по периферии которого формировались компенсационные зоны опусканий.

В позднем плиоцене эрозионное расчленение Хэнтэя уже было близко к современному [20].

Широко распространены на территории ХДС породы четвертичного возраста различного генезиса. Склоны гор и водоразделы сложены элювиальными и делювиальными отложениями. Долины водотоков выполнены современным аллювием.

В высокогорных областях широкое развитие имеют морены и флювиогляциальные отложения.

Интрузивные образования, широко распространенные на данной территории, представлены гранитоидами раннего палеозоя (мензинский комплекс), верхнего палеозоя (даурский комплекс) и мезозоя (кыринский и асакан-шумиловский комплексы).

Кайнозойские эффузивы в Хэнтэе распространены ограниченно (в отличие от Хангайского свода) и представлены небольшим плато в верховьях р. Чикой [5], а также отдельными выходами вулканических пород олигоцена в Северном Хэнтэе [118].

В тектоническом отношении Хэнтэй-Даурская структурно-формационная зона входит в состав Монголо-Охотской области герцинид. Она относится к Монголо-Охотскому складчатому поясу, который образовался в результате



столкновения Хингано-Буреинского массива с Сибирью в конце палеозоя [41]. Н.А. Флоренсов ещё в 1948 г. [106] отнес его к сводовому поднятию из-за слабой нарушенности его разломной тектоникой, несмотря на значительную амплитуду поднятия в кайнозой и глубокое эрозионное расчленение. Размещение отдельных гольцовых групп имеет мозаичный характер, хорошо подчеркиваемый рисунком гидросети.

Тектоническое строение территории определяется глубинными разломами, имеющими преимущественно субширотное и северо-восточное простирание (Монголо-Охотский и Онон-Туринский тектонические швы). Эти разломы были заложены ещё в допалеозойское время и постоянно подновлялись в течение последующих геологических эпох. Менее глубокие тектонические нарушения имеют перпендикулярное направление (Оленгуй-Былыринская, Агудинская и др. зоны разломов).

Территория современного Хэнтэй-Даурского свода относится к Монголо-Охотскому турбидитовому террейну, который в свою очередь делится на субтеррейны: Куналейский, сложенный песчано-сланцевыми турбидитами вендского возраста, и Даурский, образованный более поздними отложениями девона-нижней перми [82].

Г.Ф. Уфимцев [103] указывал, что своды Хангая и Хэнтэя образуют тектонопару с Байкальской рифтовой зоной, когда растяжение литосферы в последней компенсируется короблением южнее её.

Хэнтэй-Даурский мегасвод прошел однотипный законченный цикл развития с аналогичными структурами Центральной Азии – Хангайским и Восточно-Забайкальским мегасводами. После закрытия в перми Хэнтэйского залива Монголо-Охотского палеоокеана в мезозое все эти структуры были охвачены колебательными движениями преимущественно положительного знака, в результате которых происходил рост поднятий, сопровождавшийся образованием по их периферии впадин компенсационного типа. Ядром магматического ареала раннего мезозоя был сформированный в среднем-позднем триасе Хэнтэйский батолит [119]. Хэнтэй-Даурский свод образовался в средней – верхней юре после

коллизии Сибирского и Монголо-Китайского континентов, которая в Забайкальском сегменте Монголо-Охотского складчатого пояса имела место перед средней юрой. Унаследованность кайнозойского Даурского поднятия от среднепозднеюрского горного сооружения не вызывает сомнения [42]. Складчато-глыбовые неотектонические движения, в результате которых сформировался Хэнтэй-Даурский свод, сопровождались и сопровождаются образованием в воздымающемся жестком фундаменте глубоких радиальных разломов, местами повторно подновляющихся. Наиболее ранние в кайнозое тектонические движения, формирующие сводообразные горные сооружения Хэнтэя относятся к олигоцен-миоцену. Резкое усиление восходящих движений произошло в эоплейстоцене [48]. Очертания сводов и рисунок гидросети были predeterminedены расположением разрывных нарушений. В результате этого создаются благоприятные условия для инфильтрации в земную кору атмосферных осадков, речных и аллювиальных вод вместе с растворенными в них атмосферными газами, а также для подъема к поверхности вод глубокой циркуляции.

Территория Хэнтэй-Даурского свода характеризуется относительно слабой сейсмической активностью по сравнению со смежными регионами – Байкальской рифтовой зоной и Хангаем. В.С. Имаев с соавторами [43] считают, что Забайкальский блок, в пределы которого входит ХДС, является «буферной» сеймотектонической структурой, образованной при взаимодействии Евроазиатской и Амурской литосферных плит. Внутреннее пространство этой структуры заполнено диффузной сейсмичностью в виде отдельных групп слабых землетрясений.

Тем не менее, при проведении сейсмогеологических исследований в пределах ХДС были установлены остаточные деформации девятибальных землетрясений. 15 сентября 1934 г. в районе курорта Ямаровка произошло Чикойское землетрясение с интенсивностью в эпицентре не менее 8 баллов [95].

В соответствии с существующими схемами сейсмического районирования территория, рассматриваемая в диссертации, относится к зоне 8-бальных землетрясений [95; 96]. Сейсмическая активность резко возрастает в западном

направлении, где на территории Северного Хангая в начале XX века произошло землетрясение интенсивностью 11-12 баллов. К востоку от р. Чикой интенсивность предполагаемых землетрясений снижается до 6-7 баллов [69].

## 2.4 Геокриологические условия

Широкое распространение многолетнемерзлых пород (ММП) является одной из характерных особенностей территории Забайкалья и Северной Монголии. Здесь проходит южная граница распространения мерзлоты, не связанной с абсолютными отметками.

Мерзлотно-гидрогеологические условия территории определяются совокупностью факторов, к которым относятся: а) определяющие условия теплообмена на поверхности (климат, рельеф, почвы, растительность); б) определяющие условия передачи тепла внутри толщи пород (геологическое строение); в) определяющие нижние граничные условия (гидрогеологический режим).

Климат является основным фактором, определяющим развитие ММП на изучаемой территории. Его резкая континентальность обуславливает малое количество осадков и экстремально низкие температуры в зимний период, что благоприятствует сохранению верхних слоев земной коры в мерзлом состоянии.

Не меньшее значение, чем климатические условия, для формирования ММП имеет рельеф, который определяет контрастность в распределении талых и промороженных участков. Это связано с различной экспозицией склонов по отношению к солнцу. Наиболее ярко такая контрастность проявляется в высокогорной части Хэнтэй-Даурского свода, а ближе к его периферии рельеф выполаживается, и различия в степени инсоляции сглаживаются. В то же время в межгорных котловинах возрастает роль температурных инверсий, особенно ярко проявляющихся в период действия азиатского антициклона. Влиянием этих инверсий объясняется факт развития ММП, в основном, в пониженных формах рельефа предгорной части Хэнтэй-Даурского свода.

Таким образом, можно выделить два типа распространения многолетнемерзлых пород в пределах ХДС: первый – «верховой», где мерзлота имеет наибольшую мощность на теневых склонах; второй – «низовой», где в отрицательных формах рельефа проморожены, в основном, мелкодисперсные увлажненные отложения.

На территории Забайкалья многолетнемерзлые породы получили широкое распространение в позднем плейстоцене в период общепланетарного похолодания климата. В течение четвертичного периода происходило неоднократное смещение высотных границ геокриологических поясов, что связано не только с изменениями климата, но и с вертикальными тектоническими движениями.

Выделяются 4 этапа формирования мерзлых толщ [16]:

1. Доледниковый. Конец плиоцена – ранний плейстоцен. В это время шло промерзание только самых высоких вершин гор (выше 2000 м).
2. Ледниковый. Средний – поздний плейстоцен. Похолодание с повсеместным формированием мерзлых толщ.
3. Послеледниковый. Включает весь голоцен. Значительная деградация мерзлоты.
4. Современный. Начался после голоценового термического оптимума, не менее 4,5 тыс. лет назад. Природные условия неоднократно менялись в ходе периодических колебаний климата.

Для территории Хэнтэй-Даурского свода выделяются следующие высотные геокриологические пояса [17]:

- I. Спорадического распространения мерзлоты, где многолетнемерзлые породы (ММП) занимают менее 1 % от общей площади.
- II. Редкоостровного распространения мерзлоты. ММП – 1-5 % от общей площади.
- III. Островного распространения мерзлоты. ММП – 5-40 % от общей площади.

Эти геокриологические пояса распространены в пределах абсолютных отметок 800-1200 м. Здесь промороженными являются только постоянно увлажненные тонкодисперсные отложения, которые в условиях аридного климата

встречаются относительно редко, чем и объясняется прерывистость распространения ММП. Мощность мерзлоты достигает несколько десятков метров.

IV. Прерывистого распространения мерзлоты. ММП занимают 40-80 % от общей площади.

Данный высотный пояс распространен в пределах абсолютных отметок 1200-1600 м. Талики приурочены к склонам южной экспозиции и к зонам тектонических разломов. Например, в районе термального источника Былыра мощность ММП на расстоянии первых десятков метров увеличивается от 0 до 88 м [16]. Мощность мерзлоты достигает 200 м.

V. Сплошного распространения мерзлоты. ММП – более 80 % от общей площади).

Мощность мерзлоты до 300 м и более. В районе гольца Сохондо она может предположительно достигать 500-600 м [16].

На исследуемой территории распространен широкий спектр криогенных процессов и явлений. В приводораздельной части ХДС распространены ледниковые формы рельефа: цирки, кары, трог с конечно-моренными валами. С мерзлотой связаны проявления гольцовой денудации с формированием гольцовых террас, «каменных морей» и курумов. На горных склонах развиваются процессы солифлюкции. В пониженных формах рельефа, сложенных суглинистыми переувлажненными грунтами формируются бугры пучения и гидролакколиты. В поймах рек развиваются процессы морозобойного трещинообразования с образованием полигональных форм рельефа. С явлением термокарста связано образование небольших воронок, заполненных водой.

Мерзлота оказывает большое влияние на специфику строительства, организации водоснабжения и другие виды хозяйственной деятельности человека, поэтому необходимо уделять большое внимание оценке геокриологических условий при инженерных изысканиях.

Наледеобразование является одной из отличительных особенностей режима рек криолитозоны. Гидрологическая роль данного явления заключается в

перераспределении части подземного питания рек, которая аккумулируется в сезонном оледенении (наледях и ледовом покрове русел), в пределах внутригодового цикла. Это так называемое криогенное регулирование подземного питания, выражающееся во временном изъятии подземных вод на ледообразование зимой с последующим возвращении их в русловую сеть в теплый период года. В образовании наледей на реках Забайкалья основную роль играет процесс перемерзания рек в условиях низких температур воздуха, сопровождающихся небольшой мощностью снежного покрова.

## 2.5 Гидрогеологические условия

В соответствии со структурно-гидрогеологическим районированием, рассматриваемая территория относится к Горнодаурской подобласти Даурской гидрогеологической складчатой области и характеризуется распространением регионально-трещинных и жильных пресных подземных вод [9]. К.П. Караванов [45] выделил Даурский гидрогеологический массив Восточно-Забайкальской гидрогеологической складчатой области.

При характеристике гидрогеологических условий Забайкалья Степановым В.М. [99] выделены 3 типа гидрогеологических структур: гидрогеологические массивы (горные сооружения), гидрогеологические бассейны (межгорные впадины) и обводненные разломы (зоны дробления тектонических нарушений), рассматриваемые как геологические структуры, различающиеся друг от друга по специфике локализации и миграции в их пределах подземных вод.

Горные сооружения – это положительные структуры, сложенные в основном изверженными и метаморфическими породами различного возраста.

Отрицательные структуры представлены межгорными впадинами, в строении которых главную роль играют осадочные породы различной степени консолидации. Кроме того, в разрезе повсеместно встречаются вулканогенные образования. Межгорные впадины территории, по Н.А. Флоренсову [106], относятся к «забайкальскому типу», для которого характерна раздробленность на

отдельные блоки литифицированных осадочных отложений, заполняющих понижения кристаллического фундамента. Возраст этих впадин раннемеловой [76].

В отдельный тип гидрогеологических структур Степановым В.М. выделены зоны тектонических нарушений (разломов), которые являются наложенными по отношению к структурам горных сооружений и межгорных впадин. Специфические условия распространения подземных вод позволяют выделять трещинно-жильные воды зон разломов среди преимущественно трещинных вод гидрогеологических массивов (горные сооружения) и преимущественно пластовых вод артезианских бассейнов (межгорные впадины).

#### Гидрогеологические массивы (горные сооружения)

В пределах горных сооружений на плоских водоразделах и склонах, покрытых крупнообломочными россыпями (курумами), аккумулируются значительные объёмы подземных вод, которые дают начало основным рекам Хэнтэй-Даурского свода (Ингода, Онон, Чикой, Тола, Керулен и т.д.). Воды ультрапресные, с минерализацией до 50 мг/л, в основном гидрокарбонатные со смешанным катионным составом.

С понижением абсолютных отметок глубина распространения подземных вод увеличивается, они приобретают напор, увеличивается и минерализация (до 200 мг/л, за счет возрастания мощности рыхлых отложений и времени взаимодействия в системе «вода-порода»).

#### Гидрогеологические бассейны (межгорные впадины)

В межгорных впадинах, являющихся одновременно долинами рек, сформировались аллювиальные отложения, мощность которых может достигать нескольких десятков и даже сотен метров. Водообильность этих отложений зависит от гранулометрического состава осадков.

На участках с крупнообломочными отложениями формируются ультрапресные воды, гидрокарбонатные с переменным составом катионов. С увеличением доли мелкозернистого материала ухудшаются фильтрационные

свойства, увеличивается минерализация воды с ростом доли сульфатов и хлоридов.

Аллювиальные отложения подстилаются верхнемезозойскими континентальными образованиями, представленными конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами. Их водообильность определяется как литологией, так и трещиноватостью, обусловленной наличием тектонических нарушений.

С ухудшением условий водообмена с глубиной возрастает минерализация воды, достигая 400-500 мг/л. Состав воды обычно гидрокарбонатный с преобладанием в катионном составе натрия.

#### Гидрогеологические структуры обводненных разломов

*Неглубокие (приповерхностные) разломы:* Обычно к ним приурочены пресные воды гидрокарбонатного кальциевого состава с невысокой температурой (до 4 °С). От трещинно-грунтовых вод такие воды отличаются повышенными содержаниями растворенного гелия, иногда – рудными гидрогеохимическими аномалиями. С такими разломами связаны источники холодных углекислых вод.

*Глубокие разломы:* Именно к ним приурочены термальные воды, формирующиеся на глубинах 3-5,5 км.

Выходы термальных источников приурочены к участкам пересечения основных глубоких разломов с оперяющими разломами более высокого порядка.



### **Глава 3 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД**

Изучением условий формирования минеральных вод, особенностей их состава, возможностей практического применения занимались многие исследователи. Первым опытом районирования территории страны по преобладающим типам минеральных вод, как отмечено в предыдущей главе, была работа А.И. Дзенс-Литовского и Н.И. Толстихина. Далее проблемой типизации и районирования минеральных вод занимались такие выдающиеся исследователи, как В.В. Иванов, А.М. Овчинников, Л.А. Яроцкий и др. Кроме этих авторов в учение о минеральных водах внесли вклад такие исследователи, как Л.Н. Барабанов, Е.А. Басков, М.И. Врублевский, В.Н. Дислер, И.К. Зайцев, В.А. Кирюхин, Г.И. Климов, В.И. Кононов, С.Р. Крайнов, Б.Ф. Маврицкий, Ф.А. Макаренко, С.И. Набоко, Г.А. Невраев, Е.В. Пиннекер, С.Н. Суриков, Н.И. Толстихин, О.В. Чудаев, С.Л. Шварцев, В.М. Швец, А.В. Щербаков и др. Изучением гидрогеохимии минеральных вод Сибири и Монголии занимались В.А. Албагачиева, К.Д. Аракчаа, И.М. Борисенко, В.А. Голубев, Н.В. Гусева, М.А. Данилова, Ю.Н. Диденков, Л.В. Замана, Ю.Г. Копылова, В.В. Кулаков, Ю.И. Кустов, О.Е. Лепокурова, И.С. Ломоносов, С.В. Лысак, Н.А. Маринов, О. Намнандорж, Л.М. Орлова, С.Х. Павлов, Б.И. Писарский, А.М. Плюснин, В.Н. Попов, Е.В. Склярлов, В.М. Степанов, В.Г. Ткачук, О.Г. Токаренко, М.К. Чернявский, К.В. Чудненко, Г.М. Шпейзер, В.Г. Ясько и др.

#### **3.1 Систематизация минеральных вод**

Общепризнанно, что к минеральным водам следует относить те воды, в составе которых содержатся компоненты, оказывающие на организм человека лечебное воздействие. В соответствии с этим, для отнесения вод к минеральным соответствующего бальнеологического типа, по результатам исследований врачей-бальнеологов были установлены нижние пределы содержаний таких компонентов, как углекислота, сероводород, радон, железо, йод, бром и т.д.

Для промышленных минеральных вод также существуют нижние пределы содержаний таких элементов, как литий, бром, йод и др., при превышении которых соответствующие воды признаются кондиционными для экономически целесообразного извлечения ценных компонентов.

Разными исследователями был разработан ряд классификаций лечебных минеральных вод, отражающих различия их состава и свойств. Так, например, в работе [56] предложено систематизировать лечебные минеральные воды по:

- способам лечебного применения;
- ионно-солевому составу;
- степени минерализации;
- температуре;
- радиоактивности;
- кислотно-щелочным свойствам;
- содержанию биологически активных компонентов.

Определение «минеральных» вод, учитывающее только их потребительские, утилитарные свойства должно быть дополнено общим – естественно-историческим [92]. По мнению автора диссертации наиболее предпочтительная формулировка понятия «минеральные воды» была предложена болгарским исследователем К.Д. Щеревым: «... к минеральным следует относить природную воду, которая веществом и энергией .... достоверно отличается от обыкновенных подземных вод» [92, с. 5].

А.М. Овчинников [78] для систематизации минеральных вод предлагал в первую очередь принимать во внимание их газовый состав. Он разделял минеральные воды по принципу их формирования в различных геохимических обстановках – окислительной, восстановительной и метаморфической.

Авторы работы «Геохимия подземных вод» [53] выделили следующие типы минеральных вод:

- углекислые;
- азотные;
- сероводородные (сульфидные);

- метановые;
- железосодержащие;
- мышьяксодержащие;
- радоновые;
- обогащенные органическим веществом.

Как следует из приведенной типизации, в качестве классификационных признаков приняты как компоненты газового состава, так и содержания бальнеологически активных компонентов.

Не менее важным параметром для систематизации минеральных вод является их температура. В соответствии с её значениями различными авторами были предложены градации от весьма холодных (криопэгов) до перегретых вод [57; 67; 78; 89; 101 и др.].

Автором диссертации минеральные воды, распространенные в пределах Хэнтэй-Даурского свода, разделены, в первую очередь, по температурному признаку. В результате выделены термальные и холодные воды. Холодные минеральные воды 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.

Районирование минеральных вод отражает региональные закономерности распространения минеральных вод, опираясь на информацию о геологическом строении, физико-географических условиях, гидрогеохимической, гидрогеотермальной и гидродинамической зональности [56]. При этом выделяются провинции, области и районы минеральных вод. Под провинцией минеральных вод Г.С. Вартанян [14] предложил понимать пространственно протяженную часть земной коры, характеризующуюся единством геологического

развития, в пределах которой в водных горизонтах или локализованных зонах распространены близкие по генезису минеральные воды.

Основными факторами формирования минеральных вод являются:

1. Структурно-геологические.
2. Литологические.
3. Физико-географические.

Хэнтэй-Даурский свод, как отмечал В.Н. Дислер [32] относится к территориям, где трудно отчетливо выделить границы определенных гидроминеральных провинций.

Анализ распространения проявлений минеральных вод (рисунок 3.1) свидетельствует о том, что термальные азотные воды локализируются в центральной, наиболее возвышенной части ХДС. Холодные углекислые воды, в основном, распространены по периферии свода. Кроме этих двух типов, присутствуют холодные воды с повышенным содержанием сероводорода и субминеральные воды. Перечень изученных источников представлен в таблице 3.1, а их описание в виде каталога приведено в Приложении.

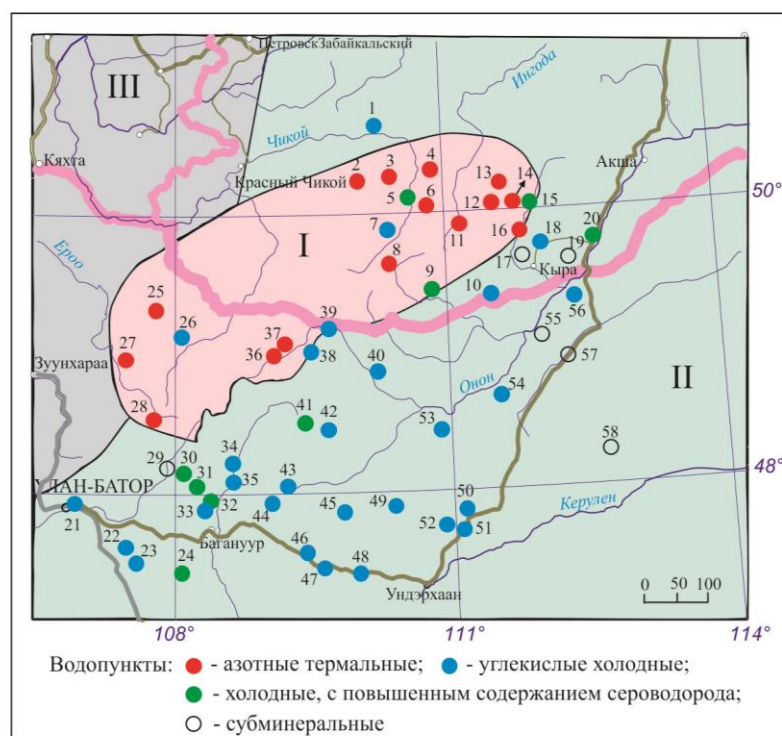


Рис. 3.1 Карта минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода.  
Гидроминеральные области: I – азотных термальных вод;  
II – углекислых холодных вод; III – предполагаемого развития азотных вод.

## Минеральные воды Хэнтэй-Даурского свода

№ на карте	Название	Тип водопункта	Координаты		Абс. отм., м	Тип воды
			Широта	Долгота		
1	2	3	4	5	6	7
<b>Россия</b>						
1	Ямаровка	скважина	50°37,031′	110°14,923′	965	хол. угл.
2	Куналейский-2	источник	50°14,004′	110°04,442′	1400	термальн.
3	Эсугайский	источник	50°16′	110°20′	1200	термальн.
4	Хохряковский	источник	-	-	-	термальн.
5	Солонцовский	источник	50°12′	110°36′	1025	хол. H <sub>2</sub> S
6	Куналейский-1	источник	50°02,167′	110°47,833′	1180	термальн.
7	Засуланский	источник	49°51′	110°20′	1250	хол. угл.
8	Семиозерский	источник	49°39,105′	110°27,359′	1470	термальн.
9	Ендинский	источник	49°29,802′	110°47,760′	1250	хол. H <sub>2</sub> S
10	Джилберийский	источник	49°22,086′	111°21,541′	1220	хол. угл.
11	Верхне-Ингодинский	источник	49°54,661′	111°10,862′	1370	термальн.
12	Кыринский зимний	источник	50°01,707′	111°32,277′	1100	термальн.
13	12 ключей (Улурийский)	источник	50°08,772′	111°38,156′	1315	термальн.
14	Былыра	скважина, источник	50°01,339′	111°43,534′	1310	термальн.
15	Нижний Салбартуй	источник	50°01,333′	111°49,618′	1150	хол. H <sub>2</sub> S
16	Талачинский	источник	49°50,972′	111°46,910′	1070	термальн.
17	Шивычинские Талачи	источник	49°40,113′	111°50,494′	1245	субминер.
18	Мордойский	источник	49°44,464′	112°03,161′	1000	хол. угл.
19	Яшновский	источник	49°39,772′	112°30,649′	870	субминер.
20	Падь Нижний Дылбыркэн	скважина	49°46,159′	112°37,386′	875	хол. H <sub>2</sub> S
<b>Монголия</b>						
21	Оргил (Улаан-Баатар)	скважина	47°53,846′	106°54,806′	1265	хол. угл.
22	Ар-Жанчивлин	скважина	47°41′	107°30′	1650	хол. угл.
23	Овор-Жанчивлин	скважина	47°36′	107°37′	1600	хол. угл.
24	Бооролжуг	источник	47°22′	108°04,167′	1340	хол. H <sub>2</sub> S
25	Хотхон	источник	49°20′	107°51′	1400	термальн.
26	Минж	источник	49°07,967′	108°05,625′	1262	хол. угл.
27	Ероо	источник	49°01,122′	107°32,727′	1087	термальн.
28	Естий	источник	48°36,128′	107°50,505′	1450	термальн.
29	Гутай	источник	48°10′	107°56,500′	1710	субминер.
30	Галдтай	источник	48°09,333′	108°05′	1500	хол. H <sub>2</sub> S
31	Дунд байдлиг дээд	источник	48°04′	108°11,250′	1520	хол. H <sub>2</sub> S
32	Дунд байдлиг доод	источник	47°57′	108°22,333′	1350	хол. H <sub>2</sub> S
33	Баруун байдлиг	источник	47°53,500′	108°17′	1300	хол. угл.
34	Бурх	источник	48°12′	108°33′	1340	хол. угл.
35	Бурх рашаан нуур	источник	48°05′	108°33′	1340	хол. угл.
36	Их-Онон (Халуун-Ус)	источник	48°57,249′	109°00,697′	1420	термальн.
37	Бага-Онон	источник	-	-	-	термальн.
38	Тарс	источник	48°59,707′	109°27,343′	1340	хол. угл.
39	Хужир-Нуга	источник	49°14′	109°40′	1300	хол. угл.
40	Ар-Арангат	источник	48°47′	110°12′	1260	хол. угл.
41	Барх	источник	48°25,167′	109°24,250′	1500	хол. H <sub>2</sub> S

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7
42	Энгэрбулаг	источник	48°22,050′	109°34,500′	1400	хол. угл.
43	Оворэлгэн	источник	48°03,500′	109°15,500′	1350	хол. угл.
44	Бор-Хурга	источник	47°56,500′	109°05′	1700	хол. угл.
45	Зурт	источник	47°51′	109°45,250′	1300	хол. угл.
46	Урт	источник	47°34,500′	109°22′	1500	хол. угл.
47	Шийр	источник	47°25′	109°31,500′	1310	хол. угл.
48	Дашлинг	источник	47°21′	110°04,500′	1450	хол. угл.
49	Улан-Булаг	источник	47°54,500′	110°21,500′	1320	хол. угл.
50	Зос	источник	47°51′	111°09′	1080	хол. угл.
51	Шахта Бэрх	источник	47°46′	111°07′	1100	хол. угл.
52	Хутаг-Уул	источник	47°48′	110°52′	1270	хол. угл.
53	Овор-Арангат	источник	48°24,083′	110°51,083′	1050	хол. угл.
54	Замт	источник	48°40′	111°36,017′	1190	хол. угл.
55	Улаалзган	источник	49°08′	112°02,500′	970	субминер.
56	Эрээн	источник	49°23′	112°26′	890	хол. угл.
57	Ажнайн	источник	48°54′	112°20′	950	субминер.
58	Дайхар	источник	48°14′	112°41′	1030	субминер.

### 3.2 Термальные воды

К термальным водам относятся воды с повышенной температурой. Существуют различные мнения о нижней границе значения температуры воды, при которой она может быть отнесена к термальной. Большинство исследователей такой границей считают значение 20 °С [57; 101]. Б.Ф. Маврицкий [67] отмечает, что такая величина, как 20 °С, считается отправной точкой для единицы вязкости (сантипуаз). Б.Г. Поляк с коллегами [89] при исследовании минеральных вод Чукотки относили к термальным все источники, разгружающиеся круглогодично. А.М. Овчинников предлагал различать относительно термальные воды, температура которых выше среднегодовой температуры воздуха для данной местности, и абсолютные термы, температура которых превышает нормальную температуру человеческого тела 37 °С [78]. Автором настоящей работы к термам отнесены как источники с температурой воды выше 20 °С, так и ряд других водопунктов с более низкой температурой, но названными «теплыми» исследователями прошлых лет. Это Хохряковский, Талачинский, Куналейский-1, Куналейский-2 [72] и Хотхон [70]. Максимальная температура воды азотных

гидротерм Хэнтэй-Даурского свода отмечена в источнике Их-Онон и достигает 86 °С.

На территории Хэнтэй-Даурского свода термальные воды представлены т.н. «акратотермами» («простыми термами»), в газовом составе которых преобладает азот. В соответствии с типом вмещающего коллектора [92] они относятся к трещинно-жильным водам. Их месторождения «представляют собой трещинные водоносные системы, развивающиеся преимущественно в зонах сочленения тектонически обособленных массивов или блоков горных пород» [7, стр. 7].

На территории Хэнтэй-Даурского свода источники азотных термальных вод разгружаются на абсолютных отметках 1070-1470 м (рисунок 3.2). Выходы наиболее высокотемпературных вод (Их-Онон, Кыринский зимний), как отмечено ещё В.М. Степановым [99], фиксируются в тальвегах речных долин, связанных с зонами тектонических нарушений.

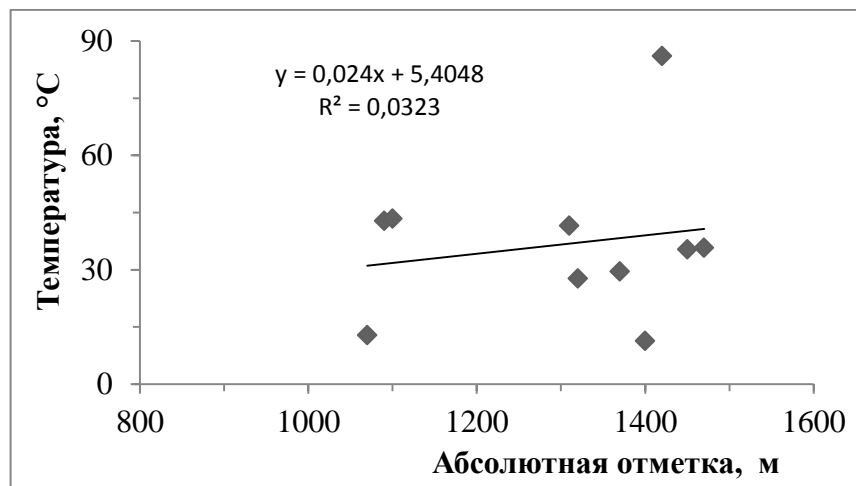


Рис. 3.2 Зависимость температуры воды от абсолютной отметки места выхода источника

Месторождения азотных терм можно рассматривать как естественные дрены, обеспечивающие разгрузку глубинных водонапорных систем [33].

Термальные воды формируются на больших глубинах, поэтому их температура зависит от степени раскрытости разломов, с которыми связаны проявления гидротерм [72]. Кроме того, на температуру воды оказывают влияние и внешние факторы, такие как разубоживание холодными приповерхностными водами, влияние многолетнемерзлых пород и т.д. Этим обстоятельством и

объясняются различия в температуре воды различных термальных источников. Термальные воды Хэнтэй-Даурского свода распространены в крупных зонах тектонических дроблений в гранитных массивах [55, 99 и др]. Примером очага разгрузки азотных гидротерм может служить Верхне-Ингодинский источник (рисунок 3.3).

Дебит источников термальных вод изменяется от 0,015 до 6,5 л/с. Его величина довольно стабильна во времени и мало зависит от метеорологических условий, что свидетельствует о значительной глубине распространения этих вод.

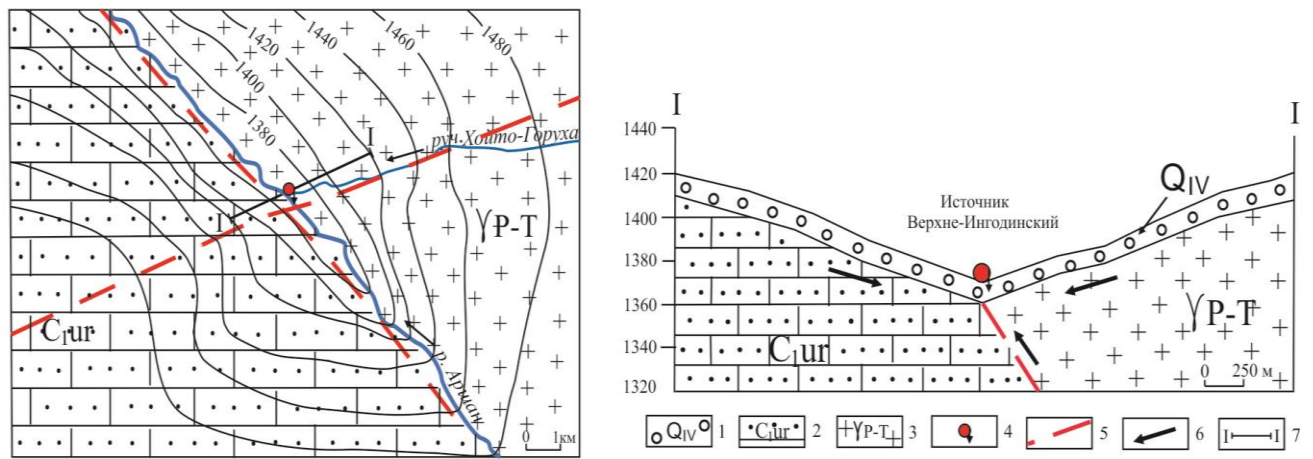


Рис. 3.3 Схематическая карта и разрез места выхода вод Верхне-Ингодинского термального источника: 1 – четвертичные аллювиальные отложения. Галечники; 2 – нижний карбон. Уртуйская свита. Песчаники, алевролиты, конгломераты; 3 – пермо-триасовые интрузии. Граниты, гранодиориты; 4 – источник термальных вод; 5 – разломы, выделенные по геологическим предпосылкам; 6 – направление потока подземных вод; 7 – линия разреза.

Проблема происхождения термальных вод до сих пор является предметом острых дискуссий. Один из основных вопросов заключается в определении источника формирования как собственно воды, так и компонентов её состава, т.е. роли в этом процессе вод инфильтрационного (поверхностного) и ювенильного (глубинного) генезиса. Впервые понятие ювенильных вод было предложено австрийским геологом Э. Зюссом при изучении горячих источников Альп. Он утверждал, что эти источники формируются за счет горячих растворов, поднимающихся с больших глубин из магматического очага. Затем в течение многих десятилетий шла интенсивная дискуссия между сторонниками «ювенильной» и «инфильтрационной» гипотез происхождения гидротерм, но после исследования изотопного состава воды (кислород и водород),



большинством гидрогеологов было признано, что основная масса воды гидротерм имеет поверхностное происхождение. Возможность присутствия в их общем объёме воды мантийного генезиса полностью не отрицается, но доля её ограничивается величиной ошибки изотопных определений тяжелого кислорода и дейтерия и не превышает 5 % [50]. Гораздо больше противоречий наблюдается в вопросе формирования компонентов химического и газового состава термальных вод.

#### Макрокомпонентный состав термальных вод.

Вода термальных азотных источников Хэнтэй-Даурского свода имеет щелочную реакцию, величина рН варьирует в пределах 8,0-9,3. Отчетливой зависимости ее значений от температуры воды не отмечается (рисунок 3.4).

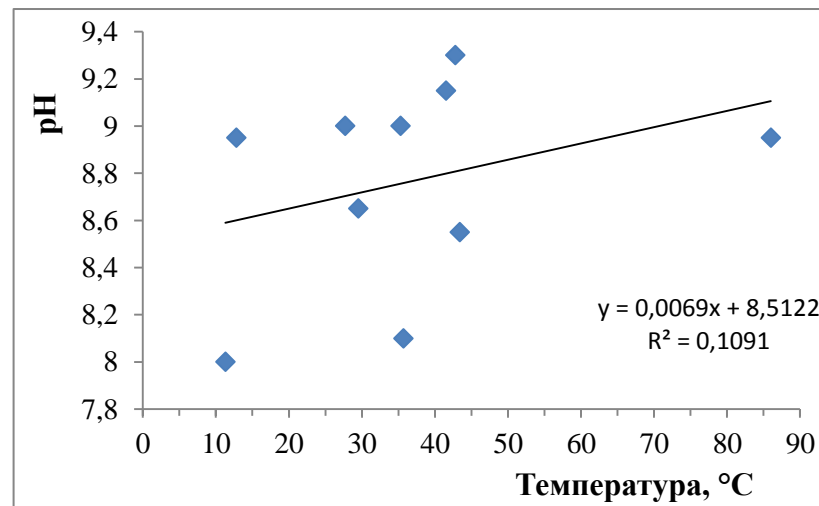


Рис. 3.4 Зависимость рН от температуры воды

Что касается взаимосвязи рН с содержанием основных анионов, то для изучаемого региона какой-либо закономерности в отношении между кислотнo-щелочными условиям и содержанием сульфат-иона не наблюдается. В отличие от  $\text{SO}_4^{2-}$ , для карбонатных ионов прямая зависимость от рН прослеживается довольно хорошо (рисунок 3.5).

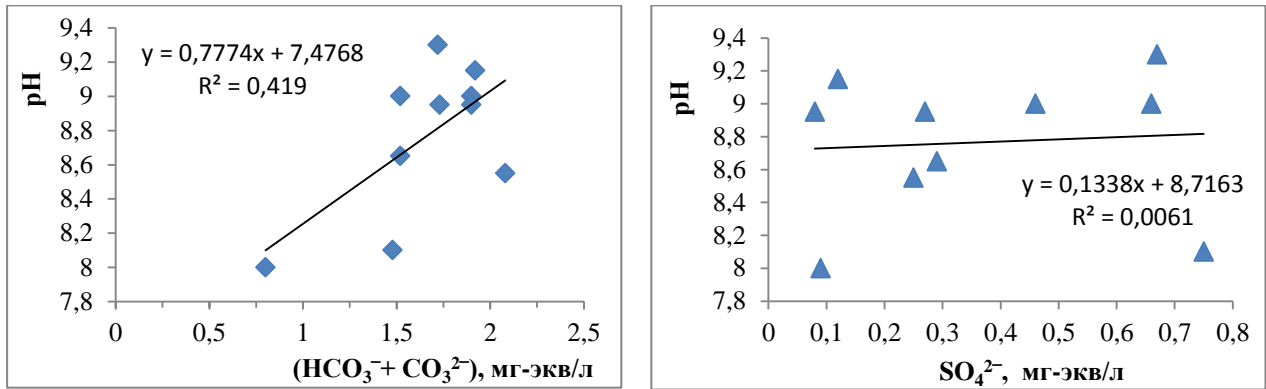


Рис. 3.5 Зависимость pH от содержаний карбонатных и сульфатных ионов

Шварцев С.Л. [114] объясняет это процессом гидролиза алюмосиликатов. В то же время, авторы работы [80] считают, что формирование кислотно-щелочных свойств природных вод представляет собой весьма сложный процесс, который не может сводиться лишь к обогащению раствора гидроксил-ионами в результате гидролиза алюмосиликатных минералов вмещающих пород, а является результатом совокупного взаимодействия раствора с исходными и вторичными твердыми фазами в системе «вода-порода».

Минерализация гидротерм Хэнтэй-Даурского свода невелика, не превышает 0,5 г/л (таблица 3.2). Большинство исследователей объясняет это их формированием в кристаллических породах, слабо подвергающихся выщелачиванию [7; 8; 62; 87 и др.]. Химический состав воды данного типа представлен рисунком 3.6.

В анионном составе термальных вод Хэнтэй-Даурского свода преобладают гидрокарбонаты и карбонаты. Это позволяет отнести их к былыринскому типу [8]. Содержание  $(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$  варьирует от 50 до 98 %-экв. Характерно высокое содержание фтора, достигающее 26 %-экв в источнике Куналейский-2. Необходимо отметить, что в источниках, информация о которых взята из литературы (см. табл. 3.2), содержание фтора не определялось. Содержание хлора находится в пределах 7-18 %-экв.

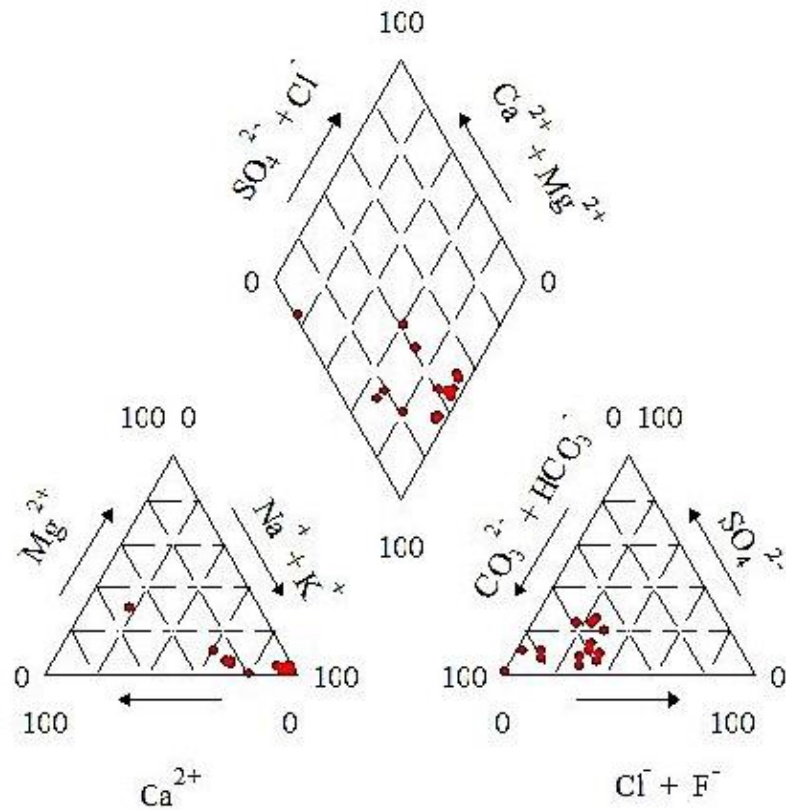


Рис. 3.6 Ионный состав термальных азотных вод

Интересным фактом может считаться увеличение относительного содержания сульфатов в источниках, расположенных в той части Хэнтэй-Даурского свода, которая относится к бассейну оз. Байкал (Ероо, Естий и Семиозерский). Здесь содержание сульфат-ионов составляет 19-25 %-экв. В гидротермах, относящихся к бассейну р. Амур (Верхне-Ингодинский, Кыринский зимний, Былыра, 12 ключей, Талачинский, Их-Онон)  $\text{SO}_4^{2-}$  содержится гораздо меньше (3-14 %-экв). Несколько выпадает из отмеченной закономерности источник Куналейский-2, который расположен в бассейне оз. Байкал, но содержит всего 6 %-экв сульфатов. По-видимому, в его формировании значительную роль играют воды приповерхностной циркуляции, что выражается в низкой минерализации (146 мг/л) и относительно малой доле натрия в катионном составе (70 %-экв) по сравнению с другими проявлениями азотных терм.

Таблица 3. 2

## Химический состав термальных азотных вод

№ на карте	Источник	T воды, °C	Q, л/с	pH поле лаб.	Eh поле	Форма выраж. анализа	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S + HS <sup>-</sup>	M	Дата обследования или источник сведений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	Куналейский-2	11,3	0,05	$\frac{8,0}{7,3}$	-	мг/л мг-экв/л % -экв.	16,91 0,74 69,45	0,71 0,02 1,71	5,01 0,25 23,61	0,61 0,05 4,72	48,82 0,8 60,25	-	4,12 0,09 6,46	3,55 0,1 7,53	6,5 0,34 25,76	59,52	-	146	19.09.2013
3	Эсугайский*	17	-	-	-	мг/л мг-экв/л % -экв	24,3 1,06 61	9,7 0,48 28	2,3 0,19 11	62,1 1,02 59			19,1 0,40 23	11,1 0,31 18	-	-	-	130	[23]
4	Хохряковский*	17,5	0,15	-	-	мг/л мг-экв/л % -экв.	26,4 1,15 70	7,8 0,39 24	1,1 0,09 6	80,7 1,32 81			5,5 0,11 7	7 0,20 12	-	-	-	130	[73]
6	Куналейский-1*	14,1	-	-	-	мг/л мг-экв/л % -экв	21,9 0,95 18	55,1 2,76 52	19,1 1,57 30	317 5,20 98			2,5 0,05 1	1,9 0,05 1	-	-	-	418	[29]
8	Семиозерский	35,7	1,5	$\frac{-}{8,10}$	-232	мг/л мг-экв/л % -экв	54,6 2,37 92,22	1,31 0,03 1,16	3,01 0,15 5,84	0,24 0,02 0,78	89,09 1,46 49,32	0,6 0,02 0,68	36,21 0,75 25,34	7,45 0,21 7,09	9,88 0,52 17,57	144,93	4,09	347	10.02.2009
11	Верхне-Ингодинский	29,5	0,1	$\frac{-}{8,65}$	-291	мг/л мг-экв/л % -экв	50,0 2,17 89,30	0,99 0,03 1,23	3,4 0,17 7,00	0,73 0,06 2,47	89,09 1,46 57,48	1,8 0,06 2,36	14,0 0,29 11,42	14,18 0,4 15,75	6,3 0,33 12,99	135,0	1,67	315	08.07.2008
12	Кыринский зимний	43,4	-	$\frac{-}{8,55}$	-224	мг/л мг-экв/л % -кв.	68,38 2,97 95,50	1,34 0,03 0,37	1,8 0,09 2,89	0,24 0,02 0,64	122,04 2,0 62,89	2,4 0,08 2,52	12,0 0,25 7,86	14,89 0,42 13,21	8,25 0,43 13,52	135,14	3,08	366	13.02.2009
13	12 ключей (Улурийский)	27,7	-	$\frac{-}{9,0}$	-130	мг/л мг-экв/л % -экв.	68,77 2,99 95,53	1,42 0,04 1,28	1,6 0,08 2,55	0,24 0,02 0,64	105,56 1,73 51,95	5,1 0,17 5,11	21,96 0,46 13,81	14,18 0,4 12,01	10,62 0,56 16,82	185,19	2,65	415	13.02.2009

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
14	Былыра** (скважина)	41,5	Σ 4,5	$\bar{-}$ 9,15	-103	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ.	57,35 2,49 94,32	1,12 0,03 1,14	1,0 0,05 1,89	0,85 0,07 2,65	100,68 1,65 57,69	8,1 0,27 9,44	6,0 0,12 4,20	12,41 0,35 12,24	9,0 0,47 16,43	140,85	0,50	338	15.07.2008	
16	Талачинский	12,8	0,015	$\bar{-}$ 8,95	-	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	60,38 2,63 92,93	1,37 0,04 1,41	1,8 0,09 3,18	0,85 0,07 2,48	95,8 1,57 51,82	4,8 0,16 5,28	12,76 0,27 8,91	17,37 0,49 16,17	10,25 0,54 17,82	156,25	0,28	362	24.04.2010	
25	Хотхон	15,7	1,7	-	-	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	[70]
27	Ероо	42,8	6,5	$\frac{9,44}{9,3}$	-302	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	73,39 3,19 93,55	1,38 0,04 1,17	2,0 0,1 2,93	0,97 0,08 2,35	87,26 1,43 41,57	8,7 0,29 8,43	32,3 0,67 19,48	22,34 0,63 18,31	8,0 0,42 12,21	105,0	1,24	319	18.08.2011	
28	Естий	35,3	2,5	$\bar{-}$ 9,0	-113	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	52,38 2,28 94,21	1,39 0,04 1,65	1,6 0,08 3,31	0,24 0,02 0,83	84,21 1,38 48,42	4,2 0,14 4,91	31,64 0,66 23,16	10,64 0,3 10,53	7,0 0,37 12,98	111,11	0,08	304	02.08.2010	
36	Их-Онон (Халуун-Ус)	86	1,4	$\frac{8,74}{8,85}$	-212	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	48,95 2,13 92,61	2,14 0,05 2,17	2,0 0,1 4,35	0,24 0,02 0,87	109,83 1,8 62,72	3,6 0,12 4,18	4,0 0,08 2,79	10,64 0,3 0,45	9,6 0,56 19,51	222,2	0,1	414	27.03.2007	
37	Бага-Онон	73	-	>8,45	-	МГ/л МГ-ЭКВ/л % -ЭКВ	81		19		41	38	11	10			-	-	152	[70]

\* – курсивом показаны весовые концентрации, пересчитанные из содержаний в %-экв., приведенных в цитируемых литературных источниках. Пересчет произведен по методике, предложенной Л.В. Заманой.

\*\* – дебит суммарный из скважины и источника

В Байкальской рифтовой зоне широко распространены термальные воды горячинского типа, которые имеют сульфатный натриевый состав [62]. Поэтому возможно, что относительно высокое содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  в воде источников Хэнтэй-Даурского свода, относящихся к бассейну оз. Байкал, связано с более глубоким раскрытием разломов Байкальской рифтовой зоны. Это обуславливает более длительное взаимодействие воды с вмещающими породами, приводящее к формированию повышенных содержаний сульфатов [87].

Происхождение сульфат-иона в термальных водах, которое ранее некоторые исследователи [62] и др. считали эндогенным, в настоящее время признается как результат взаимодействия воды с вмещающими породами. Так, Л.В. Замана [34] показал, что сульфаты образуются при окислении сульфидных минералов кислородом, поступающим в глубокие горизонты с метеорными водами. Кроме того, большое значение он придает процессам радиолиза воды, в результате которых образуется достаточное для формирования соответствующих содержаний  $\text{SO}_4^{2-}$  количество кислорода. В то же время авторы [80], опираясь на результаты физико-химического моделирования, показали, что кислород в необходимых для формирования сульфатов объемах, может быть получен за счет перераспределения между первичными окислами вмещающей породы и компонентами раствора, т.е. за счет внутренних резервов системы «вода-гранит».

Некоторые исследователи [1; 27; 62 и др.] объясняли повышенное содержание фтора в азотных термах поступлением флюидных эксгаляций в зону активного водообмена. Но в последние годы были получены весьма убедительные доказательства о возможности накопления фтора в минеральных водах за счет процессов в системе «вода-порода» без привлечения эндогенных источников. По мнению Л.В. Заманы [35] основным механизмом перехода фтора в водный раствор является гидролиз слюд с замещением  $\text{F}^-$  группой  $\text{ОН}^-$ . При этом он считает, что повышенное содержание фтора во вмещающих породах не обязательно. В то же время авторы работы [80], на основе результатов физико-химического моделирования пришли к выводу, что высокие содержания фтора в термальных водах формируются на участках с его повышенным содержанием в

горных породах. Вероятно, именно поэтому, несмотря на гидрокарбонатный состав термальных вод Хэнтэй-Даурского свода, содержания фтора здесь гораздо ниже его содержаний, отмечаемых в гидротермах северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны, где  $F^-$  превышает 20 мг/л [36; 62; 87]. Связь повышенных содержаний фтора в азотных термах с участками развития пород, обогащенных этим элементом, достаточно убедительно рассмотрена в работах С.Р. Крайнова [51; 54].

Сходные выводы можно сделать и по отношению к хлору, реально отмечаемые концентрации которого в азотных термах при низкой величине минерализации могут сформироваться лишь при повышенных содержаниях летучих компонентов во вмещающих породах [80].

В катионном составе изучаемых термальных вод преобладает натрий, содержание которого (совместно с калием) составляет 91-97 %-экв. Исключением является лишь источник Куналейский-2, в воде которого сумма  $Na^+$  и  $K^+$  равна 71 %-экв. Как уже упоминалось выше, это связано, скорее всего, с разубоживанием разгружающихся гидротерм приповерхностными водами. Такое резкое доминирование натрия можно объяснить состоянием равновесия азотных терм с карбонатными минералами магния и кальция – кальцитом, доломитом, магнезитом, а также флюоритом [114]. Л.В. Замана [36] ведущую роль в этом процессе отводит такому минералу, как ломонтит. Таким образом, натрий и калий удаляются из раствора путем вторичного минералообразования. В работе [80] рассмотрено формирование натриевого состава азотных терм на основе данных термодинамического моделирования в результате образования устойчивых геохимических барьеров вторичных минералов для калия, магния и кальция.

Данные о химическом составе некоторых термальных источников Хэнтэй-Даурского свода в таблице 3.2 приведены по литературным сведениям. Поэтому эти результаты не учитывались при рассмотрении процессов формирования химического состава и включены для более широкого обзора термальных вод региона.

Одним из основных компонентов химического состава азотных гидротерм является кремний. В воде термальных источников Хэнтэй-Даурского свода его содержание (в форме  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) составляет от 105 до 222 мг/л. Исключением является вышеупомянутый источник Куналейский-2, вода которого разбавлена поверхностными водами, где концентрация кремнекислоты равна всего 60 мг/л. Кремний является активным бальнеологическим компонентом. Нижняя граница его содержания ( $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3^-$ ) для отнесения минеральных вод к кремнистым составляет 50 мг/л [56], поэтому все термальные источники Хэнтэй-Даурского свода могут быть отнесены к этому типу.

Основным поставщиком кремния в современных гидротермах являются силикатные минералы [62]. При попадании инфильтрационной воды в толщу горных пород, которые в исследуемом регионе представлены в основном алюмосиликатами, главным механизмом взаимодействия в системе «вода-порода» является гидролиз, в результате чего образуются ионы  $\text{OH}^-$  [114]. По мере увеличения степени взаимодействия «вода-порода» увеличивается содержание гидросиликатного иона. Кроме того, кремний присутствует в растворе в виде кремнекислоты [80].

В работах [53; 80] справедливо отмечается, что традиционные методы химического анализа природных вод не дают полной картины соотношений форм содержания кремния в растворе, так как титруемая щелочность полностью относится только к гидрокарбонатным ионам, игнорируя возможность присутствия других анионов. Например, гидросиликатные ионы могут не только преобладать над карбонатными, но и быть единственными в растворе [101]. Возможно, отдельное определение различных форм кремния позволит в дальнейшем уточнить представление о составе гидротерм и изменить формулу их ионного состава.

Кремний в термальных водах содержится в виде коллоидных комплексов  $\text{SiO}_2$ , в недиссоциированной форме в виде кремнекислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) и в ионной форме в виде гидросиликат-иона  $\text{HSiO}_3^-$ . Раздельное определение разных



форм содержания кремния может быть весьма важным, так как они имеют различное бальнеологическое значение [7].

В настоящей работе приводятся данные о содержании кремния в изучаемых водах в форме ортокремниевой кислоты  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .

Как показано многими исследователями [7; 62 и др.], существует прямая зависимость содержания кремнекислоты от температуры воды. Такая закономерность отмечается и для изучаемого региона (рисунок 3.7).

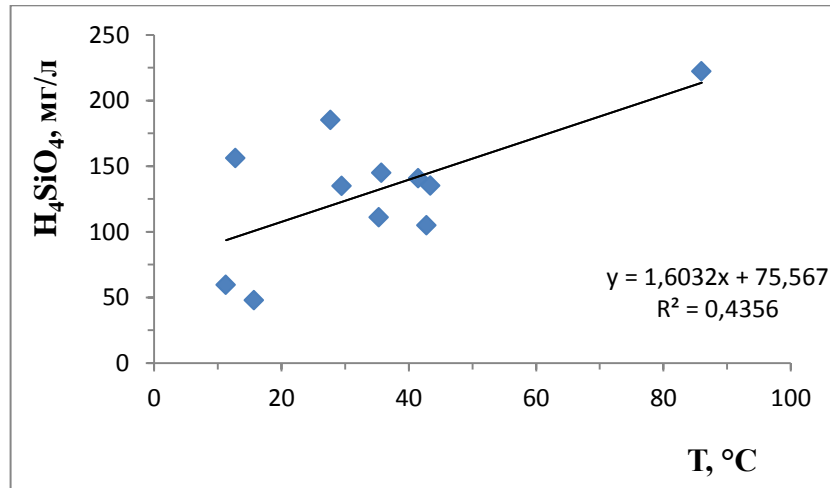


Рис. 3. 7 Зависимость содержания кремнекислоты от температуры воды

Считается, что за время пути к земной поверхности от очага формирования соединения кремния, содержащиеся в воде, не успевают выпасть в осадок. На этом базируется метод гидрохимических геотермометров, позволяющий рассчитать базовую температуру воды на глубине формирования. Для территории Байкальской рифтовой зоны такие расчеты были произведены В.А. Голубевым [24; 25] и Б.И. Писарским [84]. Для изучаемой территории автором диссертации были оценены температуры на глубине формирования гидротерм.

При расчете по кремниевому геотермометру использовалась формула, заимствованная из работы В.Ю. Лаврушина [58, стр. 11]:

$$t_{\text{гл. форм.}} = \frac{1522}{(5,75 - \lg \text{SiO}_2)} - 273,15 \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{гл. форм.}}$  – температура на глубине формирования, °C;

$\text{SiO}_2$  – концентрация  $\text{SiO}_2$ , мг/л.

Кроме вычислений с помощью кремниевого геотермометра расчет глубинных температур был произведен на основании данных о содержаниях в термальных водах натрия, калия, кальция и лития. Эмпирические формулы для таких расчетов также были заимствованы из работы В.Ю. Лаврушина [58, стр. 11]:

Na – K геотермометр:

$$t_{\text{гл. форм.}} = \frac{777}{\lg \frac{Na}{K} + 0,7} - 273,15 \quad (3.2)$$

где содержания ионов Na и K взяты в моль/л.

Na – K – Ca геотермометр

$$t_{\text{гл. форм.}} = \frac{1647}{\lg \frac{Na}{K} + \beta \lg \frac{\sqrt{Ca}}{Na} + 2,24} - 273,15 \quad (3.3)$$

где содержания ионов Na, K, Ca – в моль/л, а  $\beta = 1,33$ .

Na – Li геотермометр

$$t_{\text{гл. форм.}} = \frac{1000}{\lg \frac{Na}{Li} - 0,14} - 273,15 \quad (3.4)$$

где содержания ионов Na и Li взяты в мг/л.

Результаты вычислений приведены в таблице 3.3.

Из таблицы видно, что разброс значений базовых температур, полученных с использованием геотермометров, основанных на содержаниях щелочных металлов и кальция, очень велик. В ряде случаев рассчитанные температуры ниже, чем реально наблюдаемые на поверхности, либо, наоборот, неправдоподобно велики (более 200 °С). Поэтому для изучаемой территории, как наиболее адекватный метод оценки глубинной температуры, в работе принят кремниевый геотермометр.

Значения температуры, вычисленные с помощью кремниевого геотермометра, изменяются в меньших пределах, чем зафиксированные на поверхности. В этом различии отчетливо проявляется роль внешних факторов,

Таблица 3.3

## Температура воды на глубине формирования для некоторых термальных источников

Источник	Si геотермометр				Na-K геотермометр					Na-K-Ca геотермометр					Na-Li геотермометр				
	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> , мг/л	SiO <sub>2</sub> , мг/л	lgSiO <sub>2</sub>	t <sub>SiO<sub>2</sub></sub>	Na <sup>+</sup> , моль/л	K <sup>+</sup> , моль/л	$\frac{Na}{K}$	$lg \frac{Na}{K}$	t <sub>Na-K</sub>	Ca <sup>2+</sup> , моль/л	$\sqrt{Ca^{2+}}$ , моль/л	$\frac{\sqrt{Ca}}{Na}$	$lg \frac{\sqrt{Ca}}{Na}$	t <sub>Na-K-Ca</sub>	Na, мг/л	Li, мг/л	$\frac{Na}{Li}$	$lg \frac{Na}{Li}$	t <sub>Na-Li</sub>
Куналейский-2	59,52	37,2	1,57	91	0,00074	0,00002	37	1,57	69	0,00025	0,0158	21,4	1,33	22	16,91	0,072	235	2,37	175
Семиозерский	144,93	90,6	1,96	128	0,00237	0,00003	79	1,90	26	0,00015	0,0122	5,15	0,712	50	54,6	0,467	117	2,07	245
Верхне- Ингодинский	135	84,4	1,93	125	0,00217	0,00003	72,3	1,86	30	0,00017	0,013	5,99	0,777	48	50,0	0,059	847	2,93	85
Кыринский зимний	135,14	84,5	1,93	125	0,00297	0,00003	99	2,00	15	0,00009	0,0095	3,20	0,505	62	68,38	0,187	366	2,56	140
12 ключей	185,19	116	2,06	139	0,00299	0,00004	74,8	1,87	29	0,00008	0,0089	2,98	0,474	74	68,77	0,315	218	2,34	182
Былыра	140,85	88,0	1,94	126	0,00249	0,00003	83	1,92	23	0,00005	0,0071	2,85	0,455	72	57,35	0,322	178	2,25	201
Талачинский	156,25	97,7	1,99	132	0,00263	0,00004	65,8	1,82	35	0,00009	0,0095	3,61	0,558	70	60,38	0,199	303	2,48	154
Ероо	105	65,6	1,82	114	0,00319	0,00004	79,8	1,90	26	0,0001	0,01	3,13	0,496	70	73,39				
Естий	111,11	69,4	1,84	116	0,00228	0,00004	57	1,76	43	0,00008	0,0089	3,90	0,591	71	52,38	0,152	345	2,54	144
Их-Онон	222,2	139	2,14	148	0,00213	0,00005	42,6	1,63	60	0,0001	0,01	4,69	0,671	73	48,95	0,458	107	2,03	256

определяющих остывание воды при её подъёме из недр. Можно приблизительно оценить глубину, на которой формируется состав воды термальных источников. Она определена путем деления полученной вышеуказанным методом температуры на глубине формирования на геотермический градиент.

Величина геотермического градиента для Хэнтэй-Даурского свода равна 27 °С/км [65]. Рассчитанные величины глубины формирования показаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Глубина формирования состава воды некоторых термальных источников

Источник	Температура на глубине формирования, °С	Температура на поверхности, °С	Глубина формирования, км
Куналейский-2	91	11,3	3,4
Семиозерский	128	35,7	4,7
Верхне-Ингодинский	125	29,5	4,6
Кыринский зимний	125	43,4	4,6
12 Ключей	139	27,7	5,1
Былыра (скважина)	126	41,5	4,7
Талачинский	132	12,8	4,9
Ероо	114	42,8	4,2
Естий	116	35,3	4,3
Их-Онон	148	86	5,5

Среднее значение глубины формирования гидротерм ХДС составило 4,6 км. Это вполне согласуется с величиной 3,9 км, полученной В.А. Голубевым [25].

Несколько иные результаты при оценке глубинных температур получаются при использовании К–Na–Mg диаграммы Гиггенбаха [111, 122], которая позволяет оценить степень равновесия воды с вмещающими породами. Здесь изученные воды находятся в пределах поля неравновесных вод, т. е. их состав изменяется при подъёме от очага нагрева к поверхности. Их формирование, также как и азотных терм источника Горячий Ключ в Приморье [111] происходит при температуре не более 80 °С. Это означает, что глубина формирования термальных вод Хэнтэй-Даурского свода не превышает 3 км.

Необходимо отметить, что проблема оценки глубинных температур с использованием гидрохимических геотермометров является весьма сложной. Она требует дальнейших исследований с максимально полным учетом как внутренних (состав пород, температура и давление в очаге формирования), так и внешних (изменение физических параметров и химического состава при взаимодействии с вышелегающими горными породами и приповерхностными водами) факторов.

*Микроэлементный состав азотных термальных вод* (таблица 3.5) в целом отражает геохимические особенности вмещающих пород [10; 39].

Таблица 3.5

## Результат ICP-MS анализа термальных азотных вод (мкг/л)

Элемент	Источники								
	Куналейский-2	Семиозерский	Верхне-Ингодинский	Кыринский зимний	Былыра (скв)	Талачинский	Ероо	Естий	Их-Онон
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Li</b>	72,1	467	58,9	187	322	199	-	152	458
<b>Be</b>	-	-	0,02	-	0,23	0,013	0,011	0,041	0,32
<b>B</b>	15,8	476	512	1253	593	739	-	138	134
<b>C</b>	-	11768	11319	12956	12291	-	-	-	3383
<b>Mg</b>	304	28,1	103	20,2	15,5	33,6	27,0	68,2	14,5
<b>Al</b>	-	7,13	115	14,1	11,4	72,1	16,2	95,3	40,1
<b>Si</b>	-	28414	27660	30025	29999	38906	20180	30691	42563
<b>P</b>	-	16,4	-	18,0	-	-	-	-	19,2
<b>S</b>	-	-	5885	-	3800	9106	-	15855	2865
<b>Cl</b>	-	3029	5742	7025	4537	26544	14443	7277	4640
<b>K</b>	-	1326	931	1453	985	10980	917	993	1623
<b>Ca</b>	4473	3526	1067	2263	567	2509	2157	2459	2834
<b>Sc</b>	-	10,9	8,58	10,5	9,09	10,7	5,55	8,81	18,2
<b>Ti</b>	0,606	6,34	18,8	7,08	6,95	3,27	0,776	5,35	2,92
<b>V</b>	-	0,028	0,24	0,051	0,10	0,172	0,086	0,185	0,11
<b>Cr</b>	0,260	5,12	0,47	1,69	0,12	0,632	0,283	0,552	5,57
<b>Mn</b>	-	0,682	8,84	3,89	0,54	2,22	0,316	12,0	3,46
<b>Fe</b>	-	68,9	199	58,9	24,2	87,0	40,4	181	141
<b>Co</b>	0,021	0,02	0,07	0,018	0,01	0,024	0,016	0,045	0,05
<b>Ni</b>	< 0,03	0,617	0,66	0,692	0,57	0,181	0,167	0,248	0,55
<b>Cu</b>	-	0,795	1,91	0,998	10,0	0,429	-	0,749	2,98
<b>Zn</b>	< 0,6	6,59	23,3	6,12	7,35	0,898	0,827	2,46	12,5
<b>Ga</b>	2,14	3,76	2,39	6,94	7,0	2,61	8,85	3,70	6,62
<b>Ge</b>	6,13	8,55	7,48	10,1	6,82	5,47	12,1	4,05	5,12
<b>As</b>	4,02	38,1	5,52	31,2	80,1	7,51	0,323	20,5	11,5
<b>Se</b>	0,049	0,279	0,18	0,268	0,02	0,275	0,446	0,195	0,75

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Br</b>	-	10,2	21,2	21,2	20,4	62,2	35,0	17,4	21,6
<b>Rb</b>	6,66	24,3	8,50	19,1	16,6	11,3	18,9	11,5	38,2
<b>Sr</b>	42,4	54,6	36,0	64,8	31,3	34,8	80,8	58,6	48,9
<b>Y</b>	0,072	0,007	0,12	0,008	< 0,01	0,043	0,007	0,120	0,04
<b>Zr</b>	0,016	0,044	0,07	0,05	0,04	0,078	0,028	0,09	0,11
<b>Nb</b>	0,002	< 0,001	0,03	0,001	< 0,01	0,010	0,004	0,013	< 0,01
<b>Mo</b>	35,3	6,58	15,7	16,7	37,1	31,0	7,23	48,0	7,89
<b>Ru</b>	-	0,002	< 0,01	0,004	< 0,01	0,004	0,006	0,005	< 0,01
<b>Rh</b>	-	0,004	< 0,01	0,004	< 0,01	0,002	0,003	0,002	< 0,01
<b>Pd</b>	< 0,01	0,012	< 0,01	0,015	< 0,01	0,026	0,008	0,05	0,03
<b>Ag</b>	< 0,01	0,001	< 0,01	0,003	< 0,01	0,023	0,007	0,015	0,04
<b>Cd</b>	0,032	0,389	0,09	0,401	0,19	0,066	0,188	12,7	1,0
<b>Sn</b>	< 0,01	0,146	0,10	0,154	0,11	0,082	0,086	0,084	0,22
<b>Sb</b>	0,012	0,07	1,74	2,12	3,37	0,863	0,030	0,063	0,30
<b>Te</b>	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,003	< 0,01	< 0,01	0,014	< 0,01	< 0,01
<b>I</b>	-	-	3,48	-	2,63	5,96	2,50	1,89	2,61
<b>Cs</b>	7,25	32,7	8,71	28,4	32,8	14,0	17,1	6,86	51,9
<b>Ba</b>	15,7	41,0	1,55	18,5	0,79	1,13	0,481	1,26	7,36
<b>La</b>	0,019	0,035	0,24	0,03	0,02	0,073	0,008	0,234	0,07
<b>Ce</b>	0,063	0,025	0,51	0,022	0,02	0,116	0,041	0,471	0,12
<b>Pr</b>	0,010	0,003	-	0,003	-	0,015	0,002	0,056	0,02
<b>Nd</b>	0,044	0,012	0,21	0,011	< 0,01	0,063	0,011	0,212	0,06
<b>Sm</b>	0,008	0,002	0,04	0,003	< 0,01	0,013	0,004	0,034	0,01
<b>Eu</b>	0,003	0,008	< 0,01	0,003	< 0,01	0,001	0,0009	0,004	< 0,01
<b>Gd</b>	0,011	0,002	0,03	0,002	< 0,01	0,013	0,003	0,035	< 0,01
<b>Tb</b>	0,002	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,002	0,001	0,004	< 0,01
<b>Dy</b>	0,009	0,001	0,03	0,002	< 0,01	0,009	0,003	0,021	< 0,01
<b>Ho</b>	0,002	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,002	0,001	0,005	< 0,01
<b>Er</b>	0,006	< 0,001	0,01	0,001	< 0,01	0,005	0,002	0,012	< 0,01
<b>Tm</b>	0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,0007	0,001	0,002	< 0,01
<b>Yb</b>	0,005	< 0,001	0,01	< 0,001	< 0,01	0,004	0,002	0,013	< 0,01
<b>Lu</b>	0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,0006	0,001	0,002	< 0,01
<b>Hf</b>	0,003	< 0,001	< 0,01	0,001	< 0,01	0,003	0,006	0,003	< 0,01
<b>Ta</b>	< 0,001	< 0,001	26,0	< 0,001	1,13	0,002	0,002	0,002	< 0,01
<b>W</b>	8,27	136	96,7	113	145	75,6	104	40,1	78,6
<b>Re</b>	0,001	0,005	< 0,01	0,003	< 0,01	0,001	0,003	0,0008	< 0,01
<b>Pt</b>	< 0,1	0,002	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,002	0,001	0,002	< 0,01
<b>Au</b>	< 0,05	0,002	< 0,01	0,002	< 0,01	0,002	0,001	0,004	< 0,01
<b>Hg</b>	0,367	2,78	1,80	2,02	2,77	0,112	1,92	0,062	0,10
<b>Tl</b>	0,003	< 0,001	< 0,01	0,001	< 0,01	0,001	0,002	0,003	0,10
<b>Pb</b>	< 0,03	0,313	2,59	0,721	8,27	0,096	0,064	0,171	12,8
<b>Bi</b>	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,001	< 0,01	0,002	0,002	0,002	< 0,01
<b>Th</b>	0,012	0,027	0,07	0,028	0,01	0,015	0,004	0,085	0,23
<b>U</b>	6,08	0,147	0,13	0,013	0,22	0,131	0,038	0,077	0,02

Продолжение таблицы 3.5

Эле- мент	Источник 12 ключей					Эле- мент	Источник 12 ключей				
	основной выход	желудок	сердце	слаби- тельный	язва же- лудка		основной выход	желудок	сердце	слаби- тельный	язва же- лудка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Li</b>	315	278	274	308	291	<b>Ag</b>	0,052	0,072	0,072	0,042	0,052
<b>Be</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>Cd</b>	0,069	0,066	0,086	0,132	0,191
<b>B</b>	522	457	501	516	521	<b>Sn</b>	0,137	0,139	0,178	0,130	0,136
<b>C</b>	-	-	-	-	-	<b>Sb</b>	17,3	15,2	14,0	17,0	15,2
<b>Mg</b>	11,9	9,38	45,7	19,6	17,0	<b>Te</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Al</b>	11,0	10,8	11,9	19,4	13,8	<b>I</b>	1,35	1,02	1,25	1,32	1,39
<b>Si</b>	38859	34172	32471	38399	35234	<b>Cs</b>	29,8	27,2	11,7	29,2	13,9
<b>P</b>	-	-	-	-	-	<b>Ba</b>	18,3	25,0	34,8	13,3	16,1
<b>S</b>	8943	8484	8506	9024	8036	<b>La</b>	0,042	0,032	0,045	0,035	0,039
<b>Cl</b>	11797	10379	10491	11739	11101	<b>Ce</b>	0,044	0,024	0,041	0,047	0,046
<b>K</b>	1301	1195	1047	1343	1062	<b>Pr</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ca</b>	2022	1840	3325	2024	2682	<b>Nd</b>	0,021	0,011	0,021	0,023	0,024
<b>Sc</b>	9,94	9,38	8,97	9,40	8,34	<b>Sm</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ti</b>	1,42	1,42	1,65	1,88	1,62	<b>Eu</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>V</b>	0,139	0,133	0,170	0,147	0,153	<b>Gd</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Cr</b>	2,04	2,0	4,77	1,74	1,8	<b>Tb</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Mn</b>	0,633	0,659	0,71	1,38	1,08	<b>Dy</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Fe</b>	50,3	29,2	67,8	49,8	57,0	<b>Ho</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Co</b>	0,017	0,016	0,021	0,023	0,028	<b>Er</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ni</b>	0,584	0,597	0,765	0,628	0,678	<b>Tm</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Cu</b>	0,361	0,344	0,446	0,839	0,669	<b>Yb</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Zn</b>	1,95	2,14	3,72	4,34	3,30	<b>Lu</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ga</b>	6,04	5,32	1,48	5,84	2,14	<b>Hf</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ge</b>	8,49	7,65	7,57	8,41	8,06	<b>Ta</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>As</b>	47,5	41,9	41,5	47,1	43,7	<b>W</b>	120	107	110	119	117
<b>Se</b>	0,241	0,271	0,237	0,220	0,268	<b>Re</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Br</b>	22,0	20,5	20,7	22,0	20,6	<b>Os</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Rb</b>	21,4	19,2	12,0	20,8	13,8	<b>Ir</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Sr</b>	22,5	20,2	18,3	22,5	16,8	<b>Pt</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Y</b>	< 0,01	< 0,01	0,012	0,011	0,012	<b>Au</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Zr</b>	0,045	0,048	0,058	0,053	0,043	<b>Hg</b>	1,97	1,91	1,91	1,85	1,83
<b>Nb</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>Tl</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Mo</b>	19,5	17,9	18,1	19,0	18,4	<b>Pb</b>	0,449	0,47	0,541	0,824	0,806
<b>Ru</b>	-	-	-	-	-	<b>Bi</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Rh</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>Th</b>	0,022	0,034	0,022	0,017	0,016
<b>Pd</b>	0,022	0,024	0,023	0,030	0,027	<b>U</b>	0,119	0,107	0,492	0,117	0,222

Повышенные содержания микрокомпонентов в породах – «необходимая предпосылка, определяющая основной источник элемента в водах (хотя, принципиально говоря, полностью отрицать эндогенный источник для вод активных в тектоно-магматическом отношении районов, конечно, нельзя)» [52,

стр. 262]. Редкие щелочные металлы (литий, рубидий, цезий), являющиеся катионогенными элементами, в термальных водах содержатся в количествах, повышенных относительно кларковых. Наибольшая концентрация лития отмечена в воде источника Семиозерский – 467 мкг/л, рубидия и цезия – в источнике Их-Онон – 38,2 и 51,9 мкг/л соответственно. Характерным является превышение содержания цезия над рубидием, отмечаемое во всех водопунктах, за исключением источников Ероо и Естий.

Бериллий в термальных азотных водах содержится в минимальных количествах (десятые доли мкг/л), что объясняется щелочной средой, в которой затруднена миграция этого элемента [52].

Для азотных терм характерным является повышенное содержание бора. Его концентрация в воде источника Кыринский зимний превышает 1 мг/л (1253 мкг/л) при кларковом содержании для вод зоны гипергенеза 41,8 мкг/л [113].

Алюминия в азотных термах содержится мало, наибольшая концентрация отмечена в воде Верхне-Ингодинского источника – 115 мкг/л.

В воде изучаемых термальных источников отмечается повышенное содержание германия, которое в источнике Ероо достигает 12,1 мкг/л при величине кларка для вод зоны гипергенеза менее 1 мкг/л [113]. По своим миграционным способностям германий напоминает фтор, его наибольшие концентрации наблюдаются в натриевых термах, тогда как в водах, содержащих большое количество кальция, германия мало. Это объясняется различной растворимостью германатов натрия и кальция, так как метагерманат натрия хорошо растворим, а германат кальция – плохо. Увеличение температуры и величины рН способствуют концентрированию германия в водах [51].

Типоморфным элементом азотных терм, приуроченных к кристаллическим породам, является вольфрам. Его содержание в воде скважины Былыра достигает 145 мкг/л. Известно, что для миграции вольфрама наиболее благоприятной является щелочная натриевая среда. Кроме того, в гранитоидах вольфрам содержится в благоприятных для выщелачивания формах [52].



Весьма высокие содержания в воде акратотерм Хэнтэй-Даурского свода характерны для такого элемента, как мышьяк. Так, в воде скважины Былыра его концентрация составляет 80,1 мкг/л. Отметим, что повышенный гидрогеохимический фон для мышьяка зафиксирован и в пресных грунтовых водах изучаемой территории.

В некоторых термальных источниках отмечаются повышенные содержания молибдена (Куналейский-2, Былыра, Талачинский, Естий), кадмия (Естий), сурьмы (12 ключей), свинца (Их-Онон, Былыра).

Концентрации других изученных микроэлементов не превышают кларковых значений для вод зоны гипергенеза [113].

### **3.3 Холодные воды**

В диссертационной работе рассмотрены три типа холодных минеральных вод, выявленных на территории Хэнтэй-Даурского свода: углекислые; с повышенным содержанием сероводорода и субминеральные.

#### **3.3.1 Холодные углекислые воды**

К углекислым водам относятся воды, в составе которых содержится не менее 500 мг/л растворенного диоксида углерода [56]. Источники холодных углекислых вод имеют широкое распространение на территории Забайкалья и Северной Монголии. В настоящее время на изучаемой территории известно 28 проявлений вод данного типа, причем с большой долей вероятности можно предположить, что при более детальных исследованиях это число увеличится. Это объясняется тем, что, в отличие от выходов гидротерм, холодные углекислые источники не так отчетливо выражены на местности. Обычно они располагаются в заболоченных понижениях и имеют тенденцию изменять свое местоположение в разные годы, что связано с различными условиями увлажнения, например, в

засушливые годы выходы грунтовых вод исчезают, и «сухие» струи углекислого газа разгружаются непосредственно в атмосферу.

Низкая температура воды источников вызвана влиянием отрицательных среднегодовых температур воздуха и наличием многолетнемерзлых пород. Относительно высокая (17,5 °С) температура воды источника Дашлинг объясняется прогревом на солнце из-за очень малого дебита разгрузки.

Кроме естественных выходов (источников), углекислые воды на территории ХДС вскрыты скважинами на ряде курортов (Ямаровка, Оргил, Ар-Жанчивлин, Овор-Жанчивлин). Одним из изученных водопунктов является очаг разгрузки в горной выработке флюоритовой шахты Бэрх.

Большинство углекислых вод территории приурочены к гранитам и гранодиоритам и связаны с зонами разломов, в основном у подножий склонов долин. В.М. Степанов [98] указывал, что решающего влияния на размещение углекислых источников не оказывают ни возраст горных пород, ни их литологический состав. Отмечено, что часто минеральные воды истекают не из главных, а из оперяющих трещин [72]. Абсолютные отметки выходов углекислых вод изменяются от 890 м (Эрээн) до 1700 м (Бор-Хурга). Холодные углекислые воды приурочены к широким зонам сопряжения областей, имеющих тенденцию к общему относительному опусканию (затухающие отроги Хэнтэя), с горно-складчатыми областями сводовых поднятий [70].

Примером проявления углекислых вод Хэнтэй-Даурского свода может служить месторождение Оргил в г. Улан-Батор (рисунок 3.8).

Наибольшая измеренная величина дебита составила 3 л/с (Шийр). Необходимо отметить, что на большинстве водопунктов с углекислыми водами измерение дебита практически невозможно из-за мочажинного характера очагов разгрузки.

Специфическим компонентом минеральных вод данного типа, как следует из названия, является углекислый газ. Его максимальное содержание в отдельных источниках составляет почти 4 г/л. Величина газового фактора достигает 3,4 (Ямаровка) [46].

Формированию вод, насыщенных углекислым газом, благоприятствует низкая температура. Известно, что растворимость углекислоты при 0 °С в три раза выше, чем при 30 °С [46].

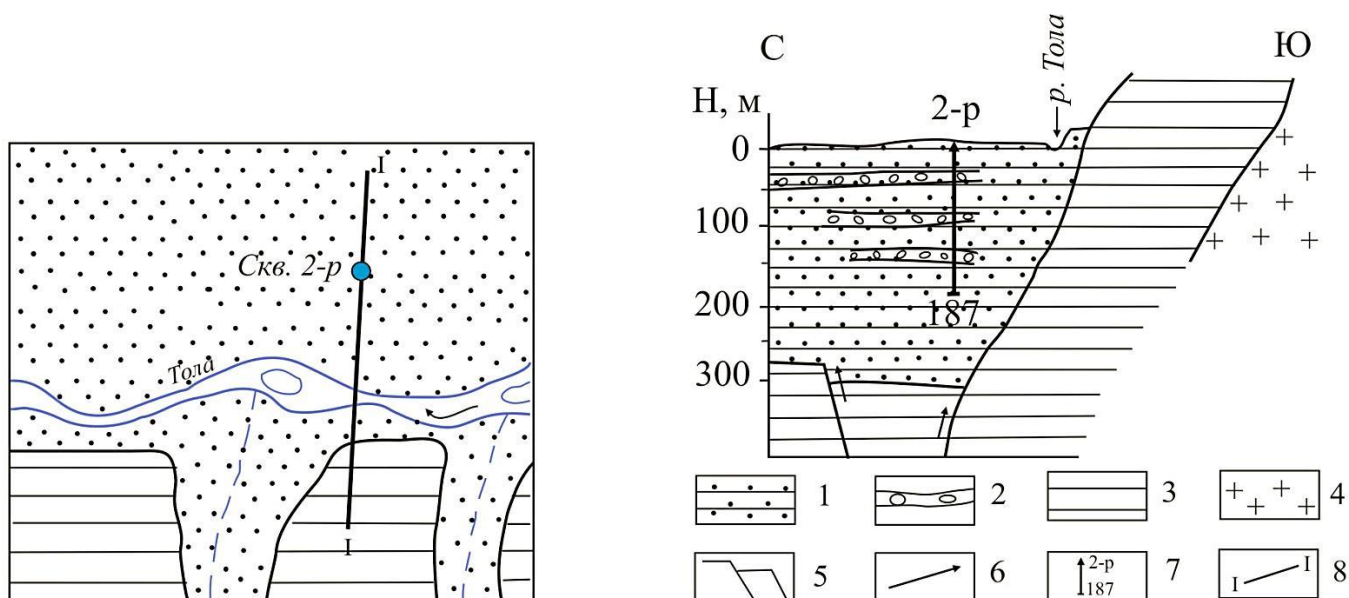


Рис. 3.8 Схема участка разведки углекислых вод Уланбаторского месторождения (Оргил) и геолого-гидрогеологический разрез по линии I-I [85, с изменениями автора]: 1 – четвертичные отложения. Галечник, пески, суглинки; 2 – водоносные валунно-галечные прослои; 3 – средний палеозой. Песчаники, сланцы; 4 – герцинские гранитоиды; 5 – блоковые тектонические смещения; 6 – пути движения углекислых вод; 7 – скважина (номер и глубина); 8 – линия разреза.

Минерализация воды (рисунок 3.9) варьирует от 0,26 г/л (Дашлинг) до 3 г/л (шахта Бэрх).

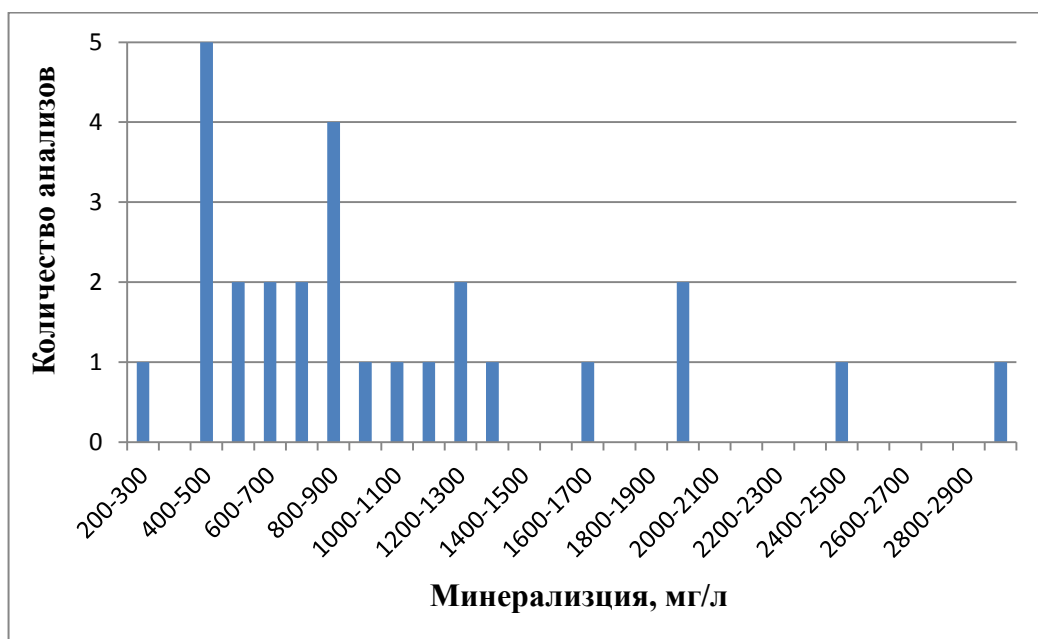


Рис.3.9 Распределение значений минерализации воды холодных углекислых источников

Изученные углекислые воды характеризуются кислой реакцией (значение рН при полевых определениях 5,4-6,1) и окислительной обстановкой (Еh от +100 до +210 мВ). Исключение представляет вода из скважины Оргил, где зафиксирована слабо восстановительная обстановка с отрицательным значением Еh (-019 мВ).

При рассмотрении содержаний углекислоты и величин минерализации (рисунок 3.10) отчетливой зависимости между этими параметрами не выявлено.

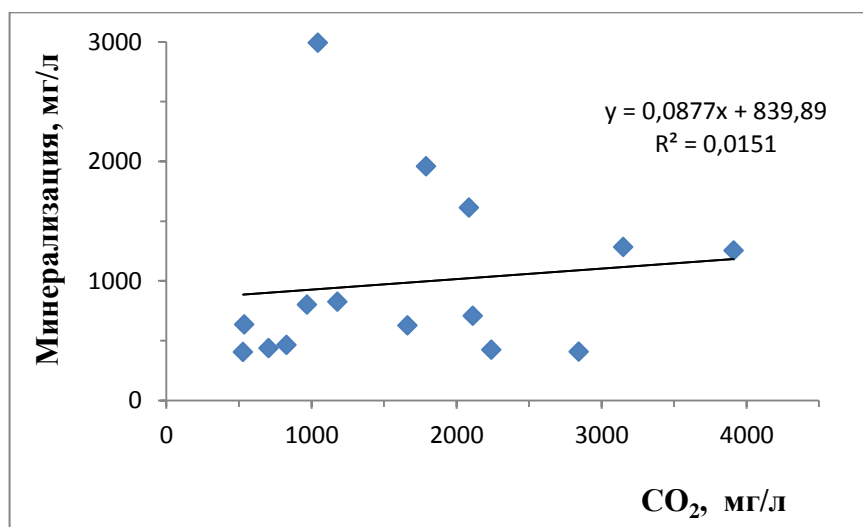


Рис. 3.10 Зависимость минерализации от содержания углекислоты

Основным анионом в воде источников описываемого типа является гидрокарбонат, чье содержание изменяется от 77,5 до почти 100 %-экв (таблица 3.6). Доля сульфат-иона составляет от 0,28 до 19,9 %-экв., хлора – от 0,5 до 7,4 %-экв. Содержание фтора, в отличие от азотных терм, незначительное и не превышает 2,55 мг/л (флюоритовая шахта Бэрх).

Среди катионов в воде большинства источников (22 из 27 изученных) преобладает кальций, в 4-х доминирует магний, и в одном (шахта Бэрх) отмечено преобладание натрия. Формирование вод содового типа в последнем случае связано, по-видимому, с более длительным временем взаимодействия в системе «вода-порода» по сравнению с остальными изученными водопунктами.

Содержание кремнекислоты в целом ниже, чем в азотных термальных водах. Наибольшее для углекислых вод содержание  $H_4SiO_4$  зафиксировано в воде скважины Оргил – 120 мг/л.

Таблица 3.6

## Химический состав холодных углекислых вод

№ на карте	Источник	Т° воды, °С	Q, л/с	pH поле лаб.	Еh поле	Форма выраж. анализа	СО <sub>2</sub> поле	Na <sup>+</sup>	К <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , мг/л	Feобщ. из осадка	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	М	Дата обследования или источник сведений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	Ямаровка (скважина)	4,5	-	<u>5,8</u> 7,2	-	мг/л мг-экв/л % экв.	2086	84,57 3,68 18,68	9,49 0,24 1,23	165,33 8,25 41,91	91,10 7,5 38,10	1159,36 19,0 96,81	13,58 0,28 1,44	9,93 0,28 1,43	1,2 0,06 0,32	< 0,1 0,3	19,23	79,36	1614	18.09.2013
7	Засуланский*	3,6	-	-	-	мг/л мг-экв/л % экв.	-	162 7,04 29	243 12,2 50	61 5,01 21	1438 23,6 97	23,3 0,49 2	8,6 0,24 1	-	-	-	-	-	1940	[29]
10	Джилберийский	4,7	-	<u>5,8</u> 5,8	-	мг/л мг-экв/л % экв.	537	21,02 0,91 12,12	1,8 0,05 0,67	120,24 6,0 79,89	6,69 0,55 7,32	367,33 6,02 79,31	72,42 1,51 19,90	1,42 0,04 0,53	0,27 0,01 0,13	< 0,1 < 0,1	-	45,0	637	28.06.2012
18	Мордойский	1,9	0,1	<u>5,41</u> 6,55	+177	мг/л мг-экв/л % экв.	2842	11,10 0,48 12,25	6,16 0,16 4,00	40,08 2,0 50,76	15,81 1,3 32,99	241,64 3,96 92,53	12,0 0,25 5,84	1,77 0,05 1,17	0,38 0,02 0,47	< 0,1 < 0,1	15,38	80,0	409	30.08.2014
21	Оргил (Улаан-Баатор) (скважина)	4,1	-	<u>5,8</u> 5,75	-019	мг/л мг-экв/л % экв.	-	33,25 1,45 13,04	2,89 0,07 0,63	110,22 5,5 49,46	49,86 4,10 36,87	698,06 11,44 97,44	4,11 0,09 0,77	6,38 0,18 1,53	0,49 0,03 0,26	< 0,1 < 0,1	15,38	120,0	1025	20.09.2012
22	Ар-Жанчивлин (скважина)	2,7	0,17	<u>-</u> 6,8	-	мг/л мг-экв/л % экв.	-	107,5 4,68 32,39	1,59 0,04 0,28	178,4 8,9 61,59	9,73 0,8 5,53	890,9 14,6 97,53	4,0 0,08 0,53	6,74 0,19 1,27	2,0 0,1 0,67	<u>0,2</u> < 0,1	1,13	71,43	1273	09.08.2001
23	Овор-Жанчивлин (скважина)	3,5	-	<u>-</u> 6,95	-	мг/л мг-экв/л % экв.	-	100,6 4,38 15,00	1,93 0,05 0,17	365,7 18,25 62,50	79,04 6,5 22,27	1842,8 30,2 99,21	< 4,0 5,32 0,15 0,49	5,32 0,15 0,09 0,30	1,8 0,09 0,30	<u>0,1</u> 0,1	23,85	76,96	2474	08.08.2001
26	Минж	1,4	-	<u>5,61</u> 7,15	+189	мг/л мг-экв/л % экв.	2112	31,72 1,38 16,87	1,86 0,05 0,58	75,15 3,75 45,86	36,48 3,0 36,69	489,37 8,02 94,42	12,0 0,25 2,94	3,55 0,1 1,18	1,75 0,09 1,08	< 0,1 < 0,1	-	55,0	709	08.08.2015
33	Баруун байдлиг	4	-	<u>-</u> 6,0	-	мг/л мг-экв/л % экв.	1789,6	107,6 4,68 19,1	316,6 15,83 64,4	36,6 3,01 12,4	1379 22,6 91,5	75,0 1,56 6,3	14,2 0,4 2,2	-	Σ 29,0	-	-	-	1958	[124]

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
34	Бурх	1	-	$\frac{-}{5,8}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	2240	40,5 1,76 32,6	54,6 2,73 50,6	11,1 0,91 16,8	305,0 5,0 92,6	сл.	14,2 04 7,4	-	-	-	-	-	425	[124]
35	Бурх рашаан нуур	-	-	-	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	Много	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[124]
38	Тарс	0	-	$\frac{-}{5,55}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	827,2	12,11 0,53 10,33	2,65 0,07 1,36	55,11 2,75 53,61	20,67 1,7 33,14	298,99 4,9 96,08	2,0 0,04 0,78	4,61 0,13 2,55	0,31 0,02 0,39	$\frac{< 0,1}{1,5}$	2,5	64,5	463	28.03.2007
39	Хужир-Нуга*	4	-	$\frac{-}{7,2}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	63,8 2,77 36	57 2,85 37	22,5 1,85 24	448 7,34 98	3,6 0,08 1	2,7 0,08 1	-	-	3 %	-	-	600	[23]
40	Ар-Арангат	0,4	2,5	$\frac{-}{-}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	3911	68,5 2,98 18,8	212,0 10,6 67,3	26,7 2,2 13,9	902,8 13,8 93,8	37,4 0,78 4,9	7,1 0,2 1,3	-	-	-	-	-	1255	[124]
42	Энгэрбулаг	2	< 0,1	$\frac{-}{-}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	528	20,7 0,9 16,7	50,0 2,5 46,3	24,3 2,0 37,0	268,5 4,4 81,5	28,8 0,6 11,1	14,2 0,4 7,4	-	-	-	-	-	407	[124]
43	Овор-Элгэн	7	-	$\frac{5,9}{7,75}$	+100	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	20,0 0,87 8,75	2,59 0,07 0,70	122,24 6,1 61,37	35,26 2,9 29,18	610,19 10,0 97,47	4,0 0,08 0,78	2,13 0,06 0,58	2,3 0,12 1,17	-	8,4	90,91	890	23.08.1989
44	Бор-Хурга	6,5	< 0,1	$\frac{5,9}{7,85}$	+210	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	20,43 0,89 8,61	7,75 0,2 1,93	124,25 6,2 59,96	37,09 3,05 29,50	562,6 9,22 95,15	18,0 0,37 3,82	2,84 0,08 0,82	0,44 0,02 0,21	$\frac{< 0,1}{< 0,1}$	-	62,5	836	23.08.1989
45	Зурт	6	1,5	$\frac{5,9}{-}$	+100	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	60,0 2,61 25,92	2,36 0,06 0,60	45,09 2,25 22,34	62,62 5,15 51,14	543,07 8,9 96,01	10,0 0,21 2,27	4,61 0,13 1,40	0,6 0,03 0,32	-	18,0	58,82	787	22.08.1989
46	Урт	1,5	0,15	$\frac{5,9}{7,8}$	+170	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	15,81 0,69 5,55	1,41 0,04 0,32	100,2 5,0 40,73	81,47 6,7 53,90	724,91 11,88 97,54	6,0 0,13 1,07	5,32 0,15 1,23	0,36 0,02 0,16	-	0,7	48,0	983	21.08.1989
47	Шийр	1	3	$\frac{6,1}{7,85}$	+200	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	23,91 1,04 14,31	1,18 0,03 0,41	77,15 3,85 52,96	28,58 2,35 32,32	402,78 6,6 93,09	14,0 0,29 4,09	5,32 0,15 2,12	0,98 0,05 0,70	$\frac{< 0,1}{< 0,1}$	-	40,0	594	21.08.1989

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
48	Дашлинг	17,5	-	$\bar{5,95}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	11,41 0,50 20,58	1,3 0,03 1,23	28,06 1,4 57,61	6,08 0,50 20,58	140,3 2,3 87,79	4,0 0,08 3,05	6,38 0,18 6,87	1,15 0,06 2,29	-	-	65,0	264	02.08.2001
49	Улан-Булаг	3	-	$\bar{6,2}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	1179,2	53,4 2,33 22,1	134,0 6,7 63,6	18,2 1,5 14,3	561,2 9,2 87,4	40,0 0,83 7,9	17,7 0,5 4,7	-	-	-	-	826	[124]	
50	Зос	0	-	$\bar{5,8}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	1663	23,5 1,02 12,0	62,1 3,1 36,4	53,5 5,4 51,6	402,6 4,6 77,5	63,4 1,32 15,5	21,3 1,6 7,00	-	-	-	-	626	[124]	
51	Шахта Бэрх	7,3	-	$\bar{6,35}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	1043,7	330,3 14,36 38,87	21,71 0,56 1,52	210,4 10,5 28,42	139,8 11,5 31,13	2178,4 35,7 97,86	16,0 0,33 0,90	11,34 0,32 0,88	2,55 0,13 0,36	$\underline{0,3}$ < 0,1	39,29	80,0	2991	30.07.2001
52	Хутаг-Уул	3	-	$\bar{5,8}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	3150,4	116,6 5,07 30,9	130,0 6,5 39,6	46,2 3,8 23,2	976,0 16,0 97,6	сл. 14,2 2,4	14,2 0,4 2,4	-	$\Sigma 0,9$	-	-	1284	[124]	
53	Овор-Арангат	0,5	-	$\frac{5,8}{7,7}$	+150	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	67,43 2,93 20,18	3,41 0,09 0,62	80,16 4,0 27,55	91,2 7,5 51,65	856,71 14,04 98,25	2,0 4,96 0,14 0,98	1,4 0,07 0,49	-	3	80,0	1187	01.09.1989	
54	Замт	3	1	$\bar{6,6}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	704	13,4 0,51 10,6	91,0 4,55 82,7	4,4 0,36 6,5	317,2 5,2 94,5	0 10,6 5,5	10,6 0,3 5,5	-	$\Sigma 0,2$	-	-	437	[124]	
56	Эрээн	1	0,17	$\bar{6,4}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	968	36,9 1,61 15,9	142,0 7,1 70,2	16,5 1,36 13,4	573,4 9,4 92,9	25,0 0,52 5,1	7,1 0,2 2,0	-	$\Sigma 1,5$	-	-	802	[124]	

\* – курсивом показаны весовые концентрации, пересчитанные из содержаний в %-экв., приведенных в цитируемых литературных источниках. Пересчет произведен по методике, предложенной Л.В. Заманой.

Химический состав воды данного типа представлен рисунком 3.11.

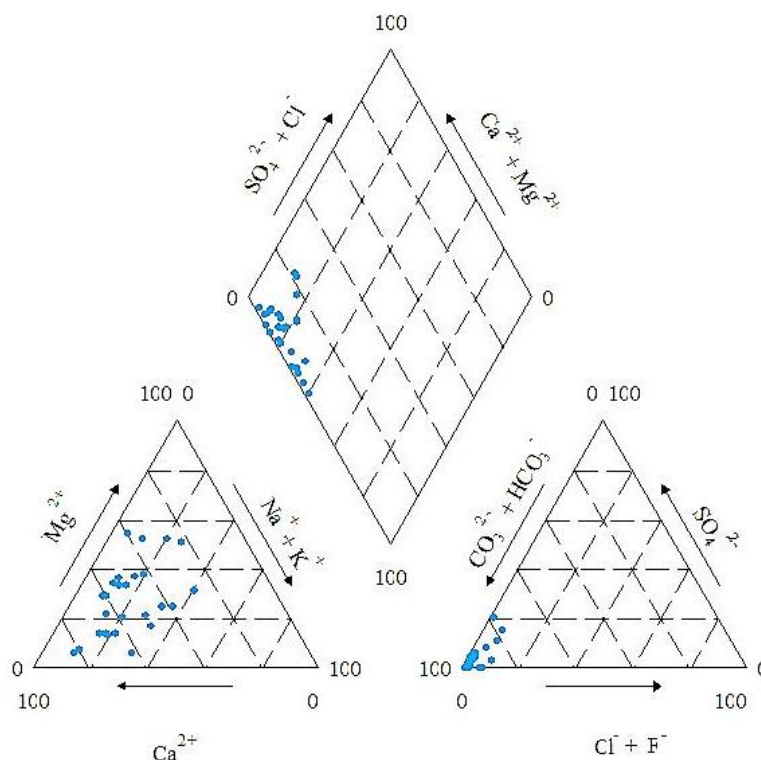


Рис. 3.11 Ионный состав холодных углекислых вод

Одним из характерных компонентов химического состава углекислых вод, определяющих их бальнеологическую ценность, является железо. Его повышенным содержанием объясняются отложения охристого цвета, отмечающиеся в местах разгрузки углекислых вод. Наибольшее содержание общего железа в воде изученных водопунктов составило 39,3 мг/л (шахта Бэрх).

В соответствии с ГОСТ Р 54316-2011 [26] гидрокарбонатные щелочноземельные воды изучаемой территории относятся к дарасунскому, кукинскому и шмаковскому типам. Гидрокарбонатные натриевые воды шахты Бэрх относятся к ласточкинскому типу.

Вопрос формирования углекислых вод с давних пор и до настоящего времени является дискуссионным. Если жидкая фаза (собственно) вода, по мнению большинства исследователей, является метеорной, то по поводу генезиса насыщающего её углекислого газа существуют различные мнения. Считается, что источником углекислоты могут быть глубинные (в том числе мантийные) эксгаляции, термометаморфизм карбонатных горных пород, окисление



органического вещества либо биохимические процессы. Некоторые исследователи [81], опираясь на данные физико-химического моделирования, считают, что углекислота может формироваться в результате взаимодействия воды с алюмосиликатными породами.

Для территории Хэнтэй-Даурского свода гипотеза органического и биохимического генезиса  $\text{CO}_2$  не является актуальной из-за отсутствия здесь достаточно мощных органических отложений. Не описаны здесь в изученной части геологического разреза и проявления карбонатных пород, при термометаморфизме которых могли бы сформироваться значительные потоки углекислого газа. В то же время здесь отсутствуют и проявления молодого магматизма (кайнозойские базальты), с которыми часто связаны очаги разгрузки углекислых вод в других регионах (например, Восточный Саян).

В.Ю. Лаврушиным [60] была высказана оригинальная гипотеза о газогидратном характере существования и разгрузки углекислоты в недрах Забайкалья, в соответствии с которой можно объяснить как весьма долгую (как минимум с мезозоя) сохранность залежей  $\text{CO}_2$ , так и низкую температуру воды углекислых минеральных источников.

Одним из критериев оценки вероятных путей формирования углекислоты является изотопный состав углерода. Этот вопрос рассматривается в следующей главе диссертации.

В общем, нельзя не согласиться с авторами работы, которые отметили, что «... вопрос о происхождении углекислоты в природных минеральных углекислых водах нельзя решать с позиций какой-либо одной гипотезы, как бы она не привлекала исследователя своими внешне логическими доводами, иногда претендующими даже на универсальность» [70, с. 385].

А. П. Карасева [46] для территории Забайкалья выделила два типа проявлений углекислых вод. К первому относятся источники, связанные с трещинно-жильными водонапорными системами, т.е. с зонами дробления локальных разрывных нарушений, ограниченных монолитными изверженными и

метаморфическими породами. Примером такого типа проявлений углекислых вод могут служить воды курорта Ямаровка.

Второй тип составляют углекислые воды, приуроченные к межгорным артезианским бассейнам, выполненными осадочными породами мезозоя-кайнозоя. В этих межгорных впадинах создаются условия для поступления в пластовые воды струй углекислоты из фундамента. В некоторых случаях естественная разгрузка минеральных вод отсутствует, в результате чего время их взаимодействия с окружающими породами увеличивается, и формируются воды натриевого (содового) типа. Примером могут служить воды, вскрытые в горной выработке шахты Бэрх.

#### Микроэлементный состав холодных углекислых вод

Наличие в углекислых водах значительных содержаний  $\text{CO}_2$ , которое обуславливают слабо кислую среду, способствует аккумуляции в растворе микрокомпонентов (таблица 3.7), имеющих важное бальнеологическое значение [116].

Содержание редких щелочных элементов (литий, рубидий, цезий) во всех изученных углекислых источниках превышает кларковые значения. Наибольшее содержание лития составляет 628 мкг/л (скважина Оргил), рубидия – 35,1 мкг/л (Мордойский источник), цезия – 4,49 мкг/л (скважина Ямаровка). В отличие от азотных терм, в углекислых водах изучаемого района во всех опробованных водопунктах рубидия содержится больше, чем цезия.

Максимальное содержание стронция для изученных углекислых вод составило 1,84 мг/л (скважина Оргил), что не превышает значение ПДК для столовых питьевых вод 7 мг/л [26].

Марганец мигрирует в основном в форме комплексов с органическими лигандами, поэтому относительно высокое его содержание в углекислых водах по сравнению с другими типами минеральных вод связано с обогащением углекислых растворов органическим веществом [116]. Его содержание в углекислых водах Хэнтэй-Даурского свода достигает 621 мкг/л (источник Тарс).

## Результат ICP-MS анализа холодных углекислых вод (мкг/л)

Элемент	Источники					Элемент	Источники				
	Ямаровка	Мордойский	Оргил	Минж	Тарс		Ямаровка	Мордойский	Оргил	Минж	Тарс
<b>Li</b>	570	81,2	628	290	318	<b>Ag</b>	< 0,01	< 0,01	0,038	0,040	0,98
<b>Be</b>	-	-	0,832	1,60	0,59	<b>Cd</b>	0,014	0,041	< 0,005	0,031	0,24
<b>B</b>	96,9	7,16	154	29,0	105	<b>Sn</b>	< 0,01	< 0,01	0,166	0,034	0,27
<b>C</b>	-	-	-	-	20362	<b>Sb</b>	< 0,005	0,077	< 0,005	0,009	0,19
<b>Na</b>	-	9048	-	29400	6545	<b>Te</b>	< 0,005	0,007	< 0,005	0,064	< 0,01
<b>Mg</b>	77837	13162	67144	28960	6504	<b>I</b>	-	< 0,005	< 0,005	-	1,2
<b>Al</b>	-	-	39,4	580	32,3	<b>Cs</b>	4,49	2,91	0,480	2,0	0,83
<b>Si</b>	-	-	55534	14710	11669	<b>Ba</b>	88,4	73,3	74,8	17,0	43,6
<b>P</b>	-	-	-	34,0	24,5	<b>La</b>	0,05	2,50	0,437	1,10	0,54
<b>S</b>	-	-	-	-	2077	<b>Ce</b>	0,159	4,95	0,669	2,10	0,86
<b>Cl</b>	-	-	1252	960	1448	<b>Pr</b>	0,023	0,645	0,087	0,29	0,14
<b>K</b>	-	-	2522	1620	1925	<b>Nd</b>	0,137	2,84	0,389	0,88	0,53
<b>Ca</b>	190727	36742	144828	72210	56568	<b>Sm</b>	0,048	0,534	0,079	0,18	0,10
<b>Sc</b>	-	-	13,2	0,52	5,73	<b>Eu</b>	0,027	0,052	0,033	0,02	0,01
<b>Ti</b>	0,810	31,0	0,683	8,80	1,44	<b>Gd</b>	0,082	0,532	0,097	0,14	0,10
<b>V</b>	-	-	0,938	0,30	0,16	<b>Tb</b>	0,018	0,073	<0,005	0,018	0,01
<b>Cr</b>	0,972	1,11	1,40	1,20	6,28	<b>Dy</b>	0,125	0,408	0,093	0,091	0,08
<b>Mn</b>	-	-	441	260	621	<b>Ho</b>	0,03	0,088	<0,005	0,022	0,02
<b>Fe</b>	-	-	26107	1090	4514	<b>Er</b>	0,097	0,302	0,074	0,065	0,06
<b>Co</b>	0,627	0,898	2,34	1,50	2,59	<b>Tm</b>	0,013	0,044	0,011	0,011	< 0,01
<b>Ni</b>	3,12	2,21	5,57	1,20	3,05	<b>Yb</b>	0,084	0,320	0,066	0,059	0,06
<b>Cu</b>	-	2,11	0,781	1,10	7,01	<b>Lu</b>	0,014	0,056	0,011	0,012	0,01
<b>Zn</b>	0,638	14,2	6,05	19,0	42,8	<b>Hf</b>	0,082	0,026	0,009	< 0,01	< 0,01
<b>Ga</b>	0,044	0,259	0,094	0,082	0,06	<b>Ta</b>	<0,005	0,004	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Ge</b>	0,336	0,103	0,237	0,026	0,10	<b>W</b>	0,059	0,043	0,023	0,068	0,20
<b>As</b>	0,142	19,4	6,95	0,130	2,05	<b>Re</b>	<0,005	0,002	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Se</b>	0,116	0,507	-	0,026	0,68	<b>Os</b>	< 0,01	< 0,01	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Br</b>	-	-	13,8	11,0	13,5	<b>Ir</b>	< 0,01	< 0,01	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Rb</b>	31,1	35,1	3,84	6,50	7,72	<b>Pt</b>	< 0,01	< 0,01	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Sr</b>	1387	212	1845	400	326	<b>Au</b>	< 0,01	< 0,01	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Y</b>	1,40	3,21	1,15	0,97	0,66	<b>Hg</b>	< 0,01	< 0,01	0,066	<0,005	0,02
<b>Zr</b>	17,1	0,984	1,05	0,064	0,32	<b>Tl</b>	<0,005	0,009	<0,005	0,002	< 0,01
<b>Nb</b>	0,017	0,077	0,005	<0,005	0,01	<b>Pb</b>	<0,005	0,398	<0,005	0,430	12,8
<b>Mo</b>	0,130	0,326	4,06	0,006	0,75	<b>Bi</b>	<0,005	0,039	<0,005	<0,005	< 0,01
<b>Ru</b>	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,06	<b>Th</b>	<0,006	0,342	<0,005	0,330	0,03
<b>Rh</b>	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,01	<b>U</b>	0,028	1,82	0,044	9,2	1,66
<b>Pd</b>	0,340	0,030	<0,005	0,004	0,21						

Аномально высокое для углекислых вод содержание свинца зафиксировано в воде источника Тарс – 12,8 мкг/л, которое превышает значение ПДК для столовых питьевых вод, составляющее 10 мкг/л [26].

Повышенное содержание мышьяка выявлено в воде Мордойского источника – 19,4 мкг/л, что соответствует высокому региональному гидрогеохимическому фону для этого элемента.

Обращает на себя внимание высокая концентрация алюминия в воде источника Минж – 580 мкг/л. Остальные изученные микроэлементы в углекислых водах ХДС содержатся в количествах, не превышающих кларковых значений. Практически все микроэлементы в этих водах содержатся в виде комплексных соединений с органическими лигандами, поэтому, даже при незначительных концентрациях они принимают активное участие в биохимических процессах. Это обуславливает бальнеологическую ценность минеральных вод данного типа [116].

### **3.3.2 Холодные воды с повышенным содержанием сероводорода**

Сероводородные (сульфидные) воды представляют собой весьма ценную в бальнеологическом отношении группу минеральных вод. Изучением условий формирования этих вод в разные годы занимались такие известные исследователи, как Бунеев А.Н., Заводнов С.С., Иванов В.В., Куканов В.М., Макаренко Ф.А., Малинин С.Д., Овчинников А.М., Плотникова Г.Н., Хитаров Н.С., Яроцкий Л.А. и др. В бальнеологической практике к сероводородным принято относить воды, в которых содержание общего сероводорода ( $\Sigma \text{H}_2\text{S}$ ) не менее 10 мг/л. Под этим подразумевается сумма следующих компонентов:

- свободного молекулярного сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- гидросульфид-иона ( $\text{HS}^-$ );
- сульфида ( $\text{S}^{2-}$ ).

Соотношение между составляющими общего сероводорода зависит от величины рН. Так, при рН = 7,0 доля свободного сероводорода составляет 52,4 %, а гидросульфид-иона 47,6 %. При смещении рН в сторону щелочных значений

резко возрастает доля  $\text{HS}^-$ . При  $\text{pH} = 8,0$  его содержание составляет 90 %; при  $\text{pH} = 9,0$  содержание  $\text{HS}^- = 98,9$  %. При ещё больших значениях водородного показателя в растворе появляется сульфид  $\text{S}^{2-}$  [56].

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. 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 Бооролжут, где суммарное содержание  $\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^-$  составляет 18,87 мг/л (таблица 3.8).

На территории ХДС зафиксировано 9 проявлений вод данного типа, причем в четырёх из них повышенное содержание сероводорода отмечено лишь органолептически. Аналитически определенная концентрация сульфидной серы, за исключением вышеупомянутого источника Бооролжут, составила 1,1-1,79 мг/л (анализ произведен в лабораторных условиях в пробах, законсервированных уксуснокислым кадмием). Основной формой присутствия восстановленной серы в описываемых водах в соответствии с величиной  $\text{pH}$  (7,55-8,55) является гидросульфид-ион ( $\text{HS}^-$ ).

Температура воды источников данного типа невысокая. Повышенные её значения в источниках Барх и Бооролжут объясняются малым дебитом водотоков (< 1 л/с) и соответствующим прогревом от солнечного излучения.

Минерализация воды варьирует от 0,17 (Барх) до 1,9 (Бооролжут) г/л.

Среди катионов в 4-х источниках доминирует натрий, а в источнике Барх, имеющем наиболее низкую минерализацию – кальций.

Анионный состав варьирует в более широких пределах, но обращает на себя внимание относительно высокое содержание фтора (до 10 мг/л в источнике Нижний Салбартуй). В этом же источнике отмечено наибольшее содержание кремнекислоты – 105 мг/л.

Таблица 3.8

## Химический состав воды источников с повышенным содержанием сероводорода

№ на карте	Источник	t <sub>воды</sub> , °C	Q, л/с	pH поле лаб.	Eh поле	Форма выраж. анализа	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S + HS <sup>-</sup>	M	Дата обследования или источник сведений
5	Солонцовский	-	-	-	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	запах	-	[73]
9	Ендинский	6,3	0,03	$\bar{8,55}$	-194	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	65,6 2,85 92,83	0,45 0,01 0,33	3,21 0,16 5,21	0,61 0,05 1,63	64,68 1,06 32,32	1,2 0,04 1,22	26,13 0,54 16,16	44,67 1,26 38,41	7,2 0,38 11,59	96,2	1,79	310	12.07.2008
15	Нижний Салбартуй	6,1	-	$\frac{8,0}{7,6}$	-134	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ.	75,25 3,27 85,38	1,40 0,04 1,04	9,02 0,45 11,75	0,85 0,07 1,83	141,56 2,32 59,64	- 0,21 5,40	10,0 0,83 21,34	29,13 0,53 13,62	10,0	105,0	1,11	383	15.07.2008
20	Падь Нижний Дылбыркэн (скважина)	5,4	-	$\frac{7,9}{7,55}$	-347	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	117,04 5,09 73,94	0,96 0,02 0,36	18,44 0,92 13,36	10,34 0,85 12,35	421,03 6,9 91,69	- 0,29 3,87	14,0 0,14 1,86	4,96 0,14 1,82	2,6 0,14 1,82	20,0	1,10	613	29.08.2014
24	Бооролжут	15,6	-	$\bar{8,05}$	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	334,0 14,53 59,28	50,0 1,28 5,22	32,06 1,6 6,53	86,34 7,1 28,97	1012,9 16,6 65,10	- 3,34 13,10	160,5 5,3 20,78	187,9 0,25 0,98	4,8	2,0	18,87	1872	07.08.2001
30	Галдтай	1,4	-	-	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	запах	-	[124]
31	Дунд байдлиг дээд	-	1	=	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	запах	-	[124]
32	Дунд байдлиг доод	-	0,5	=	-	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	запах	-	[124]
41	Барх	10	0,2	$\frac{7,1}{7,85}$	+160	МГ/Л МГ-ЭКВ/Л % ЭКВ.	4,83 0,21 10,24	1,41 0,04 1,95	28,86 1,44 70,24	4,38 0,36 17,57	106,17 1,74 94,05	- 0,04 2,16	2,0 0,04 2,16	1,42 0,04 2,16	0,57 0,03 1,63	21,0	1,57	171	29.08.1989

Повышенная концентрация упомянутых компонентов, характерных для термальных вод, позволяет рассматривать холодные воды с повышенным содержанием сероводорода как своеобразные реликты гидротерм, либо, по мнению Л.В. Заманы [38], как собственно азотные термы, охлажденные из-за малых дебитов в приповерхностных условиях.

Химический состав воды разнообразен и представлен рисунком 3.12.

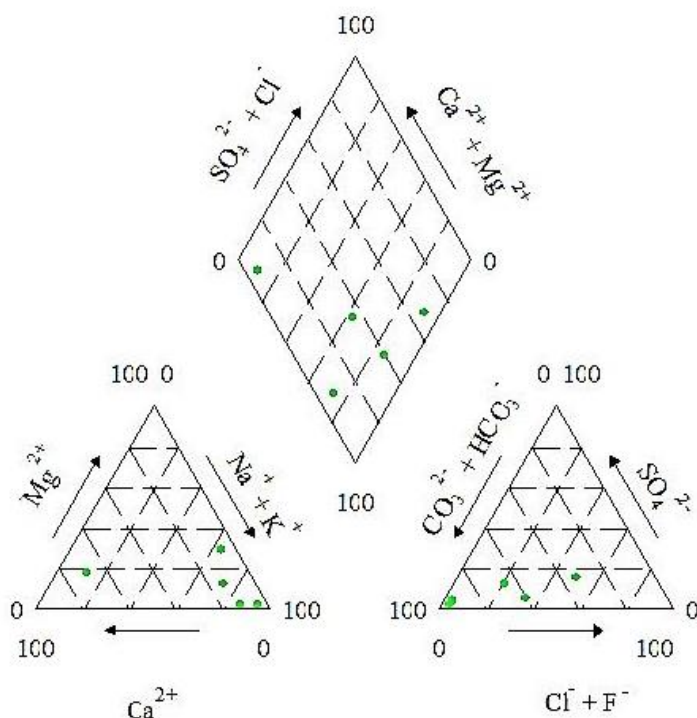


Рис. 3.12 Ионный состав воды с повышенным содержанием сероводорода

Обследование источника Нижний Салбартуй выявило исключительно высокое содержание водорастворенного гелия –  $1,9 \times 10^{-1}$  мл/л (при величине атмосферного фона  $5,2 \times 10^{-5}$  мл/л), что свидетельствует о связи источника с зоной глубинного разлома.

Как видно из названия раздела, общим для минеральных вод описываемого типа является повышенное содержание сероводорода. В связи с этим интерес представляют причины его появления в данных водах. В настоящее время рассматриваются следующие пути генерации сероводорода [86; 120 и др.]:

- абиогенный (окисление сульфидных минералов, гидролитическое разложение сульфидов перегретыми водами, термохимическое восстановление сульфатов

углеводородами, выделение сероводорода в составе вулканических газов при извержениях);

- биогенный (деятельность сульфатредуцирующих бактерий, разложение содержащих серу белковых веществ).

Для исследуемой территории наиболее вероятен механизм генерации сероводорода за счет процесса сульфатредукции, протекающего с биохимическим окислением содержащегося в горных породах органического вещества [21].

Необходимые для протекания таких процессов количества органических соединений не обязательно должны представлять собой месторождения углеводородов, а могут находиться в рассеянном состоянии в горных породах. Не менее важным условием для биохимической генерации сероводорода является присутствие в растворе сульфатов, главнейшим источником которых обычно являются гипсы и ангидриты. Сульфатредуцирующие бактерии развиваются в широком диапазоне значений рН и Eh [86]. Процесс биохимического восстановления сульфатов может протекать в различных природных условиях, поэтому сульфидные воды имеют самый разнообразный ионный состав [78].

Яроцкий Л.А. [120] выделил две группы сероводородных вод по типу взаимодействия сульфатсодержащих вод с органическим веществом, которое может быть представлено четвертичными болотными отложениями или битумами коренных пород. В частности, к первой группе можно отнести источник Барх, разгружающийся в болоте. Небольшие концентрации сероводорода в минеральных водах источников Хэнтэй-Даурского свода можно объяснить малым содержанием органического вещества в изверженных и метаморфических породах, к которым приурочены источники [62].

Для формирования проявлений сероводородных вод характерны «локальные геохимические условия» [13, стр. 120], т.е. биохимические процессы протекают на относительно небольших участках.



Микроэлементный состав вод с повышенным содержанием сероводорода

Содержание микроэлементов в воде источников описываемого типа изучено в трех водопунктах (таблица 3.9). Здесь отмечено довольно высокое содержание щелочных металлов, особенно лития, превышающее 1 мг/л в источнике Нижний Салбартуй.

В воде скважины в пади Дылбыркэн содержится повышенное количество стронция (1006 мкг/л) и бария (99,6 мкг/л).

Концентрация бериллия составляет сотые доли мкг/л, в отличие от углекислых вод, где его содержание на 1-2 порядка выше. Это связано с более высоким значением рН в сульфидных водах и миграция бериллия в щелочной среде затруднена [52].

Для сульфидных вод ХДС характерно высокое содержание бора, достигающее в источнике Нижний Салбартуй значения 1727 мкг/л.

Обращает на себя внимание повышенная концентрация алюминия в воде Ендинского источника (324 мкг/л).

Значения содержаний германия близки к величинам, отмеченным в воде азотных термальных источников, и даже несколько превышают последние. Наибольшее из определенных содержаний (15,5 мкг/л) зафиксировано в источнике Нижний Салбартуй.

Очень большие концентрации вольфрама отмечаются в двух из изученных сульфидных источников. Его содержание в Ендинском источнике составило 316 мкг/л, а в источнике Нижний Салбартуй достигло 665 мкг/л. Вода последнего источника также характеризуется высоким содержанием мышьяка – 81 мкг/л.

В воде Ендинского источника отмечено высокое содержание титана – 83,6 мкг/л при кларковом значении для вод зоны гипергенеза 10,7 мкг/л [113].

Повышенные содержания зафиксированы для таких элементов, как медь (Нижний Салбартуй), молибден и ртуть (Нижний Салбартуй, Ендинский).

Результат ICP-MS анализа воды источников с повышенным содержанием сероводорода (мкг/л)

Элемент	Источники			Элемент	Источники		
	Ендинский	Нижний Салбартуй	Падь Дылбыркэн		Ендинский	Нижний Салбартуй	Падь Дылбыркэн
<b>Li</b>	259	1004	377	<b>Ag</b>	< 0,001	< 0,001	0,004
<b>Be</b>	0,01	0,03	-	<b>Cd</b>	0,38	0,64	1,98
<b>B</b>	819	1727	345	<b>Sn</b>	0,19	0,16	< 0,003
<b>C</b>	13738	17288	-	<b>Sb</b>	0,79	2,12	0,053
<b>Mg</b>	273	533	10111	<b>Te</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Al</b>	324	25,1	-	<b>I</b>	6,92	17,6	-
<b>Si</b>	25306	20831	-	<b>Cs</b>	5,77	41,8	2,33
<b>P</b>	4,51	4,43	-	<b>Ba</b>	3,56	1,82	99,6
<b>S</b>	6068	4525	-	<b>La</b>	0,7	0,06	0,045
<b>Cl</b>	21643	13531	-	<b>Ce</b>	1,01	0,11	0,164
<b>K</b>	667	1135	-	<b>Pr</b>	0,08	0,02	0,02
<b>Ca</b>	1223	2769	17814	<b>Nd</b>	0,55	0,06	0,083
<b>Sc</b>	7,29	4,98	-	<b>Sm</b>	0,08	0,01	0,017
<b>Ti</b>	83,6	23,7	1,17	<b>Eu</b>	< 0,01	< 0,01	0,016
<b>V</b>	0,99	0,09	-	<b>Gd</b>	0,07	0,01	0,016
<b>Cr</b>	2,02	0,61	0,291	<b>Tb</b>	< 0,001	< 0,001	0,003
<b>Mn</b>	7,98	24,5	-	<b>Dy</b>	0,04	< 0,01	0,015
<b>Fe</b>	494	86,0	-	<b>Ho</b>	< 0,001	< 0,001	0,004
<b>Co</b>	0,23	0,04	0,084	<b>Er</b>	0,03	< 0,01	0,009
<b>Ni</b>	1,37	0,75	0,578	<b>Tm</b>	< 0,001	< 0,001	0,001
<b>Cu</b>	6,22	23,0	1,19	<b>Yb</b>	0,02	< 0,001	0,007
<b>Zn</b>	42,1	16,8	1,48	<b>Lu</b>	< 0,001	< 0,001	0,001
<b>Ga</b>	1,72	0,09	0,044	<b>Hf</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Ge</b>	14,7	15,5	3,7	<b>Ta</b>	60,4	4,14	< 0,001
<b>As</b>	4,11	81,0	4,08	<b>W</b>	316	665	2,79
<b>Se</b>	0,29	0,12	0,054	<b>Re</b>	< 0,001	< 0,001	0,001
<b>Br</b>	73,4	57,8	-	<b>Os</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Rb</b>	6,31	15,9	1,24	<b>Ir</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Sr</b>	27,9	92,1	1006	<b>Pt</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Y</b>	0,23	0,05	0,116	<b>Au</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Zr</b>	0,1	0,06	0,028	<b>Hg</b>	5,54	11,1	0,134
<b>Nb</b>	0,06	< 0,001	0,002	<b>Tl</b>	< 0,001	< 0,001	0,001
<b>Mo</b>	20,1	16,4	3,21	<b>Pb</b>	9,42	11,5	0,333
<b>Ru</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>Bi</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Rh</b>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<b>Th</b>	0,24	0,03	0,012
<b>Pd</b>	0,01	0,01	0,069	<b>U</b>	0,15	0,21	0,066

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.

### 3.3.3 Субминеральные воды

К данному типу отнесены воды, в составе которых, в соответствии с современной степенью изученности, отсутствуют бальнеологически активные компоненты. Тем не менее, источники таких вод пользуются большой популярностью у местного населения и интенсивно используются в лечебных целях.

В настоящей работе автор приводит сведения о шести субминеральных источниках. С большой долей вероятности можно предполагать, что их число на территории ХДС гораздо больше, так как практически в каждой местности имеется свой «аршан». Для определения бальнеологической ценности таких вод требуются серьёзные исследования специалистами-медиками.

Воды этих источников пресные холодные различного химического состава (рисунок 3.13, таблица 3.10).

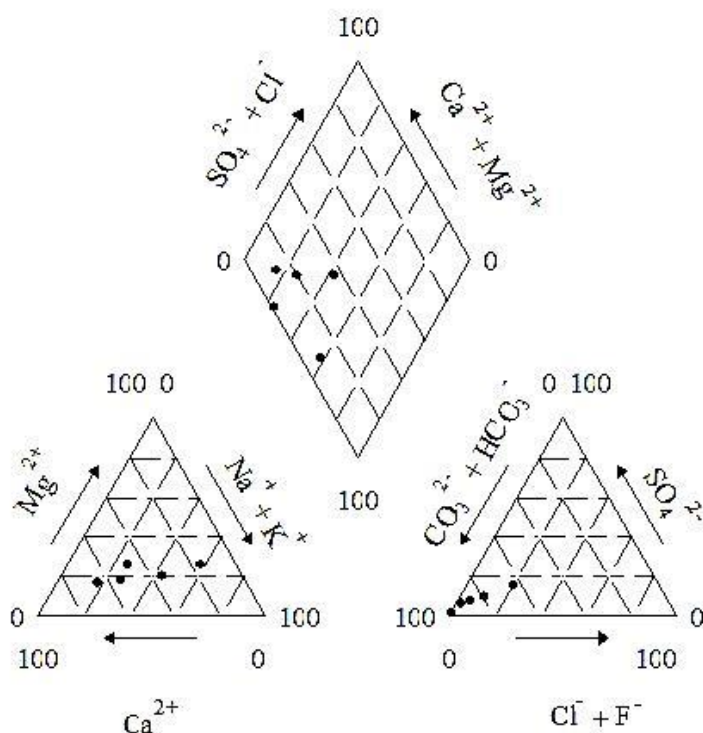


Рис. 3.13 Ионный состав воды субминеральных источников

## Химический состав воды субминеральных источников

№ на карте	Источник	t воды, °С	Q, л/с	pH поле лаб.	Eh поле	Форма выраж. анализа	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	M	Дата обследования или источник сведений
17	Шивычинские Талачи	2,5	0,07	$\frac{6,7}{6,5}$	+119	мг/л мг-экв/л % экв.	4,07 0,18 16,36	0,64 0,02 1,82	14,63 0,73 66,36	2,07 0,17 15,46	58,58 0,96 87,27	-	4,0 0,08 7,27	1,77 0,05 4,55	0,1 0,01 0,91	45,0	131	14.07.2008
19	Яшновский	4,2	0,5	$\frac{7,7}{7,95}$	-115	мг/л мг-экв/л % экв.	98,72 4,29 58,22	0,89 0,02 0,31	13,62 1,12 15,19	38,08 1,9 25,76	439,34 7,2 91,51	-	22,0 0,46 5,82	5,32 0,15 1,91	1,0 0,05 0,67	25,0	645	29.08.2014
29	Гутай	3	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[124]
55	Улаалзган	1	6	$\frac{-}{6,8}$	-	мг/л мг-экв/л % экв.	29,0 1,26 27,9	50,0 2,50 55,3	9,2 0,76 16,8	219,6 3,61 79,9	-	25,0 0,52 8,6	14,2 0,4 11,5	-	-	-	347	[124]
57	Ажнайн	4	0,31	$\frac{-}{6,8}$	-	мг/л мг-экв/л % экв.	57,0 2,48 44,4	40,0 2,0 35,8	13,4 1,1 19,8	219,6 3,6 63,9	-	40,0 0,83 14,8	42,5 1,2 21,3	-	-	-	413	[124]
58	Дайхар	5	1,1	$\frac{-}{6,4}$	-	мг/л мг-экв/л % экв.	29,9 1,30 25,9	50,0 2,50 48,1	17,02 1,4 26,9	268,48 4,4 98,4	-	19,21 0,4 0,8	14,18 0,4 0,8	-	-	-	394	[124]

Особого внимания заслуживает Яшновский источник, вода которого имеет отрицательное значение Eh (-115) и очень малое количество растворенного кислорода (0,45 мг/л). В выходе этого источника отмечается интенсивное выделение газа, в составе которого преобладает не углекислота, а азот. Источники, газифицирующие азотом, на территории Забайкалья встречаются очень редко.

Результаты микроэлементного анализа имеются только для двух источников: Шивычинские Талачи и Яшновский (таблица 3.11).

Таблица 3.11  
Результат ICP-MS анализа воды субминеральных источников (мкг/л)

Элемент	Источники		Элемент	Источники		Элемент	Источники	
	Шивычинские Талачи	Яшновский		Шивычинские Талачи	Яшновский		Шивычинские Талачи	Яшновский
<b>Li</b>	5,93	168	<b>As</b>	21,3	0,635	<b>Eu</b>	< 0,01	0,055
<b>Be</b>	0,005	-	<b>Se</b>	0,13	0,109	<b>Gd</b>	< 0,01	0,069
<b>B</b>	20,2	114	<b>Br</b>	12,8	-	<b>Tb</b>	< 0,01	0,01
<b>C</b>	13761	-	<b>Rb</b>	0,07	0,828	<b>Dy</b>	< 0,01	0,056
<b>Na</b>	5149	-	<b>Sr</b>	140	2314	<b>Ho</b>	< 0,01	0,01
<b>Mg</b>	1796	14883	<b>Y</b>	0,07	0,289	<b>Er</b>	< 0,01	0,027
<b>Al</b>	17,7	-	<b>Zr</b>	0,03	0,155	<b>Tm</b>	< 0,01	0,003
<b>Si</b>	9498	-	<b>Nb</b>	0,003	0,004	<b>Yb</b>	< 0,01	0,026
<b>P</b>	16,4	-	<b>Mo</b>	1,71	0,376	<b>Lu</b>	< 0,01	0,004
<b>S</b>	3029	-	<b>Ru</b>	< 0,01	< 0,01	<b>Hf</b>	< 0,01	0,002
<b>Cl</b>	491	-	<b>Rh</b>	< 0,01	< 0,01	<b>Ta</b>	2,07	< 0,001
<b>K</b>	730	-	<b>Pd</b>	0,01	0,009	<b>W</b>	0,36	0,162
<b>Ca</b>	4951	37584	<b>Ag</b>	0,02	< 0,01	<b>Re</b>	< 0,001	0,001
<b>Sc</b>	2,37	-	<b>Cd</b>	0,32	< 0,01	<b>Os</b>	< 0,01	< 0,01
<b>Ti</b>	21,7	1,16	<b>Sn</b>	0,11	< 0,01	<b>Ir</b>	< 0,01	< 0,01
<b>V</b>	0,37	-	<b>Sb</b>	0,26	0,045	<b>Pt</b>	< 0,01	< 0,01
<b>Cr</b>	0,29	0,354	<b>Te</b>	< 0,01	0,006	<b>Au</b>	< 0,01	< 0,01
<b>Mn</b>	0,85	-	<b>I</b>	2,39	-	<b>Hg</b>	0,03	< 0,01
<b>Fe</b>	110	-	<b>Cs</b>	0,02	1,92	<b>Tl</b>	< 0,001	0,001
<b>Co</b>	0,05	0,310	<b>Ba</b>	3,13	309	<b>Pb</b>	9,6	0,506
<b>Ni</b>	0,63	2,15	<b>La</b>	0,04	0,232	<b>Bi</b>	< 0,01	0,005
<b>Cu</b>	5,48	-	<b>Ce</b>	0,04	1,01	<b>Th</b>	< 0,01	0,057
<b>Zn</b>	14,8	2,40	<b>Pr</b>	0,04	0,085	<b>U</b>	0,10	0,021
<b>Ga</b>	< 0,01	0,109	<b>Nd</b>	0,04	0,376			
<b>Ge</b>	0,01	0,503	<b>Sm</b>	0,01	0,085			

Можно отметить довольно высокое содержание редких щелочных металлов в воде Яшновского источника: лития – 168 мкг/л и цезия – 1,92 мкг/л. Здесь же зафиксирована повышенная концентрация бора – 114 мкг/л при кларковом

содержании для вод зоны гипергенеза – 41,8 мкг/л и бария – 309 мкг/л (кларк – 19,6 мкг/л). Содержание стронция в воде Яшновского источника (2314 мкг/л) более, чем на порядок превышает кларк, составляющий 185 мкг/л.

В воде источника Шивычинские Талачи превышение кларка отмечено для таких элементов, как титан – 21,7 мкг/л, мышьяк – 21,3 мкг/л, свинец – 9,6 мкг/л при величинах кларка 10,7 мкг/л, 2,07 мкг/л и 2,21 мкг/л соответственно. Данные о значениях кларка для подземных вод зоны гипергенеза взяты из работы [113].

Изученные субминеральные источники трудно отнести к какому-либо типу минеральных вод, известных в бальнеологии [26].

### **3.4 Газовый состав минеральных вод**

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.

Первые сведения о газовом составе минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода приводятся в работах И.А. Багашева [6], В.А. Смирнова [67], Н.И. Толстихина [100]. В более поздних публикациях данные о газовом составе, наряду с другими характеристиками минеральных вод, приводятся в работах [70; 72; 73; 124 и др.]. В 2007 г. в свет вышла монография [85], в написании одной из глав которой принимал участие автор настоящей работы. На территории ХДС им, совместно с коллегами, для определения газового состава было опробовано 15 проявлений минеральных вод, представляющих все четыре типа, описанных выше. Отбирались пробы растворенного и свободного газа, результаты анализов представлены в таблицах 3.12 и 3.13.

Основными компонентами газового состава, определяемыми при хроматографическом анализе, являются: азот, кислород, углекислый газ, метан, водород, аргон, гелий. Еще Н.И. Толстихиным [100] в соответствии с преобладающими газами были выделены провинции минеральных вод («первая»

– углекислых и «вторая» – азотных). На территории Хэнтэй-Даурского свода, как уже упоминалось выше, распространены воды обеих провинций.

Таблица 3. 12

Газовый состав минеральных вод некоторых источников  
Растворенный газ

Источники	Дата обследования	Содержание, в объёмных %							Газонасыщенность, мл/л	Лаборатория*
		H <sub>2</sub>	He	Ar	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>		
Их-Онон	28.03.2007	0,004	0,143	1,59	19,92	77,94	0,405	0,0006	50	2
Верхне-Ингодинский	08.07.2008	0,000	0,000	-	0,14	95,06	4,8	0,00	14	1
Былыра, скважина	15.07.2008	0,000	0,000	-	5,25	93,86	0,95	н/о	5,7	1
Семиозерский	10.02.2009	0,000	0,000	-	19,48	80,25	0,27	0,00	50,9	1
12 Ключей (Улурийский)	20.09.1992	0,000	0,024	2,28	5,21	92,33	0,00	0,16	13,8	1
12 Ключей (Улурийский)	13.02.2009	0,000	0,000	-	17,77	81,29	0,94	0,00	20,5	1
Кыринский зимний	13.02.2009	0,000	0,000	-	9,07	89,51	1,42	0,00	12,5	1
Овор-Жанчивлин	31.07.1993	0,000	0,005	0,28	0,00	17,42	82,18	0,12	1177	1
Урт	31.08.1997	0,000	0,000	0,08	2,10	16,48	81,33	0,00	264	1
Оргил	18.08.1993	0,000	0,000	0,05	0,00	4,66	95,30	0,00	1197	1
Оргил	22.08.2000	0,000	0,000	0,81	1,08	12,36	85,75	0,00	368	1
Оргил	19.08.2002	0,000	0,000	0,13	0,26	7,99	91,62	0,00	45,6	1
Тарс	28.03.2007	0,065	0,002	1,30	10,17	43,92	44,54	0,001	50	2
Барх	29.08.1989	0,003	0,051	1,87	1,18	71,99	24,91	0,00	26,8	1
Ендинский	12.07.2008	0,000	0,000	-	1,38	98,1	0,52	н/о	9,7	1
Нижний Салбартуй	15.07.2008	0,000	0,000	-	17,72	81,8	0,48	0,00	5,5	1
Шивычинские Талачи	14.07.2008	0,000	0,000	-	4,29	88,18	7,53	н/о	15,5	1

**Углекислый газ.** В газовом составе воды углекислых источников преобладает двуокись углерода. Его относительное содержание в растворенном газе варьирует от 44,5 % (источник Тарс) до 95,3 % (скважина курорта Оргил). Вероятные пути его генезиса рассмотрены в следующей главе диссертации. В минеральных водах других типов содержание CO<sub>2</sub> не превышает первых процентов.

Газовый состав минеральных вод некоторых источников  
Свободный газ

Источник	Дата обследования	Содержание, в объёмных %							Лаборатория*
		H <sub>2</sub>	He	Ar	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
Их-Онон	28.03.2007	0,624	0,002	1,93	18,39	78,84	0,202	0,012	2
Верхне-Ингодинский	08.07.2008	0,000	0,000	0	0	94,98	5,02	н/о	1
Урт	31.08.1997	0,000	0,003	0,08	10,10	40,89	48,93	0,00	1
Тарс	28.03.2007	0,134	0,002	1,69	1,87	58,03	38,26	0,008	2
Минж	08.08.2015	0,0012	0,0001	0,68	0,77	4,11	94,44	0,0014	2
Барх	29.08.1989	0,000	0,000	0,79	0,00	49,84	2,48	46,89	1
Яшновский	29.08.2014	-	-	-	1,30	85,60	2,11	12,46	3

\* 1 – Институт земной коры СО РАН

2 – ООО НПФ «Сибэксервис»

3 – Томский политехнический университет

**Азот** является основным компонентом газового состава минеральных вод всех изученных типов, за исключением углекислых. По данным многих исследователей он имеет, в основном, атмосферное происхождение [62 и др.]. К сожалению, автор настоящей работы не имел возможности оценить величину вероятной доли эндогенного азота в газовом составе при помощи метода аргон-азотных отношений [85], так как прямого измерения содержания аргона при хроматографическом анализе не производилось, и оно определялось расчетным путем.

**Метан.** Несмотря на то, что этот газ является одним из основных в составе минеральных вод, в водопунктах изучаемой территории его содержания невелики, за несколькими исключениями. Так, довольно большое относительное количество CH<sub>4</sub> отмечается в свободном газе источников Барх (46,9 %) и Яшновский (12,5 %), а по данным авторов статьи [59] в газовом составе воды источника Хохряковский (в статье – Анга-Аршан) содержится 56 % метана. Изотопный анализ углерода в метане не производился, но он, скорее всего, имеет органическое происхождение, так как упомянутые источники разгружаются в заболоченных понижениях рельефа.



**Водород.** Как показывает опыт наших исследований на территории БРЗ и Монголии, данный газ, в повышенных количествах, содержится только в высокотемпературных водах. Как видно из таблицы 3.12, на территории ХДС такое его содержание (0,624 %) в свободном газе зафиксировано только в воде горячего (более 80 °С) источника Их-Онон.

**Гелий.** Как известно, при традиционном хроматографическом анализе газа содержание гелия определяется с гораздо меньшей точностью, чем при использовании прибора типа ИНГЕМ. Поэтому результаты определений этого инертного газа рассматриваются отдельно в следующем разделе диссертации.

### **3.5 Гелий как индикатор связи подземных вод с тектоническими разломами**

Связь аномально высоких концентраций гелия в подземных водах с глубокими разломами земной коры отмечена уже давно [117]. Установлено, что на изучаемой территории концентрации He в газовом составе подземных вод неглубокого распространения практически не превышают атмосферного фона, равного  $5,2 \times 10^{-5}$  мл/л [85]. Напротив, в водопунктах, связанных с разломами глубокого заложения, содержание гелия может достигать значительных величин.

Как указано в предыдущем разделе, для точного определения концентрации гелия в минеральных водах был использован портативный полевой прибор ИНГЕМ-1 (индикатор гелия магниторазрядный), разработанный специалистами ЦНИИ «Электроника» [117].

В 1990-е годы совместным российско-монгольским гидрогеологическим отрядом производилась гелиевая съемка водопунктов на территории Монголии, включая район Хэнтэй-Даурского свода. В этих работах принимал участие и автор данной диссертации. На территории Забайкалья такие работы активно проводил В.И. Флешлер, который неоднократно оказывал автору диссертации методическую и техническую помощь. Результаты определений содержания водорастворенного гелия приведены в таблице 3.14.

## Содержание растворенного гелия в воде минеральных источников

Источник	Дата опробования	Содержание He, мл/л	Превышение атмосферного фона *
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 (Улурийский)	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
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 [85]

Наиболее высокие содержания гелия, достигающие более 600-кратного превышения атмосферного фона, 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 (Ар-Жанчивлин и Тарс) 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.

В то же время в источнике Бооролжут, в воде которого содержится более 18 мг/л  $\text{H}_2\text{S}+\text{HS}^-$ , отмечается фоновое содержание гелия. Это явно свидетельствует о близповерхностном генезисе сульфидной серы.

Что касается субминеральных вод, то отчетливо видно резкое отличие концентрации гелия в трещинно-грунтовых водах источника Шивычинские Талачи (близко к атм. фону) от интенсивно газирующего источника Яшновский, выход которого, по-видимому, связан с зоной тектонического нарушения.

Исходя из изложенного в данной главе, подтверждается **I Защищаемое положение** о том, что в пределах Хэнтэй-Даурского свода распространены следующие типы минеральных вод: термальные азотные; холодные углекислые; холодные с повышенным содержанием сероводорода; 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.

### 4.1 Стабильные изотопы водорода и кислорода

Изотопный состав водорода и кислорода (относительные содержания дейтерия и кислорода-18) может служить критерием для установления генезиса минеральных вод [87]. Считается, что изотопный состав вод инфильтрационного происхождения соответствует составу атмосферных осадков [105], т. е. точки зависимости  $\delta D$  от  $\delta^{18}O$  должны лежать на так называемой линии Крейга, описываемой уравнением  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10 \text{ ‰ (SMOW)}$ . Для изучаемой территории определение  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  произведено в 10 минеральных источниках, а также отобрано две пробы речных вод, рассматриваемых в качестве фона (рисунок 4.1; таблица 4.1).

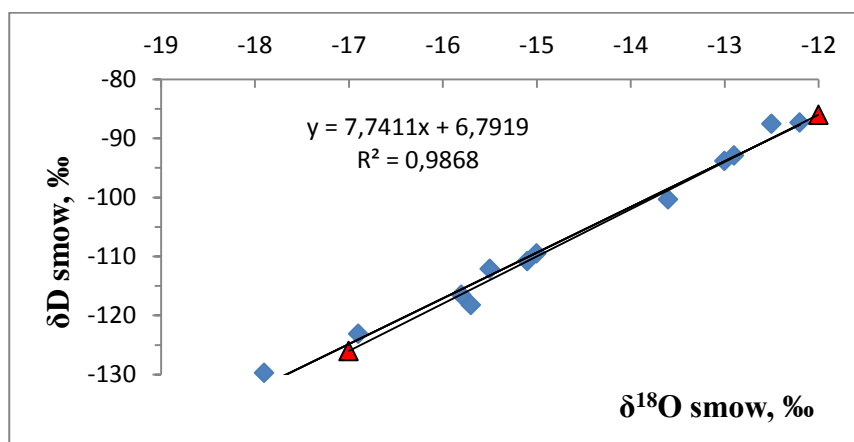


Рис. 4.1 Зависимость содержания D от  $^{18}O$  в изученных минеральных водах  
 ▲—▲ линия метеорных вод Крейга

Изотопный состав кислорода и водорода

Источник	Тип воды	Абс. отм., м	$\delta D$ , ‰	$\delta^{18}O$ , ‰	T воды, °C
Естий	азотные термы	1450	-123,1	-16,9	35,3
Верхне-Ингодинский	азотные термы	1380	-116,5	-15,8	29,5
Былыра	азотные термы	1307	-	-14,6*	41,5
Эсутайский	азотные термы	1200	-	-16,5*	16,0
Кыринский зимний	азотные термы	1100	-110,8	-15,1	43,4
Ероо	азотные термы	1087	-118,2	-15,7	42,8
Талачинский	азотные термы	1070	-100,3	-13,6	12,8
Мордойский	хол. углекислые	1000	-92,9	-12,9	1,9
Джилъберийский	хол. углекислые	1220	-87,5	-12,5	4,7
Оргил	хол. углекислые	1265	-109,5	-15,0	4,1
Шивычинские Талачи	субминеральные	1250	-93,8	-13,0	2,5
Яшновский	субминеральные	870	-87,3	-12,2	4,4
р. Кыра	фон	930	-129,7	-17,9	12,2
р. Ара-Ичильхэ, выше терм. источника Ероо	фон	1100	-112,1	-15,5	9,6

\* - данные [15]

Все точки изотопного состава лежат в непосредственной близости от линии метеорных вод. Это позволяет утверждать, что основная масса воды ( $H_2O$ ) имеет атмосферное (вадозное) происхождение, причем температура и состав не имеют значения. Данная точка зрения совпадает с мнением подавляющего большинства современных исследователей, с которыми согласен и автор настоящей работы.

Тем не менее, существует мнение, что в мантийных, а возможно, и в более глубоких очагах, могут формироваться ювенильные водные флюиды [107]. В определенных геолого-структурных условиях такие «глубинные флюиды» могут обуславливать вертикальные гидрогеохимические инверсии. В частности, авторы работы [31] объясняют формирование уникальной пресноводной системы оз. Байкал поступлением эндогенных ультрапресных вод.

Упомянутые исследователи [107] считают, что информация об относительном содержании тяжелых изотопов дейтерия и кислорода-18 на современном этапе не может служить четким диагностическим признаком

генезиса природных вод, так как до сих пор нет единого мнения об изотопном составе «ювенильной» воды.

При рассмотрении в термальных водах зависимости содержания кислорода-18 от абсолютной высоты местности выявляется следующая закономерность (рисунок 4.2).

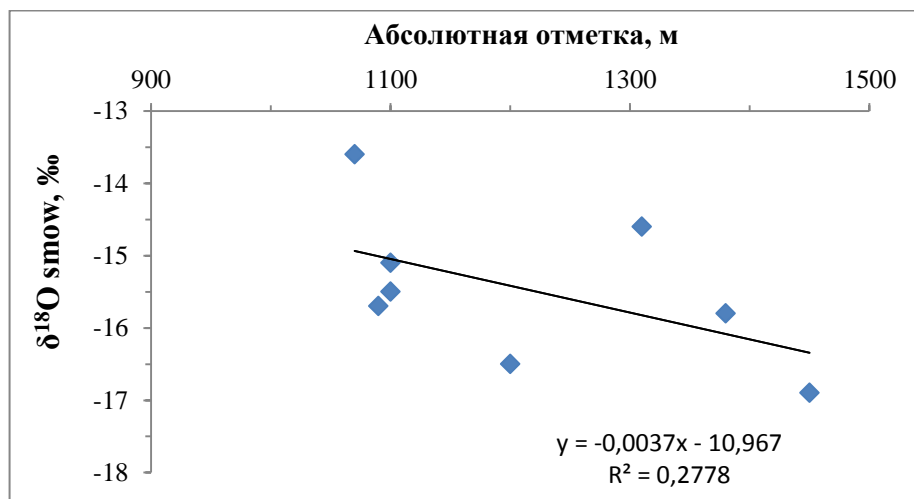


Рис. 4.2 Зависимость содержания  $^{18}\text{O}$  в термальных водах от абсолютной высоты местности Хэнтэй-Даурского свода

Для источников, разгружающихся на высоких гипсометрических уровнях, характерен более легкий изотопный состав кислорода. Причиной этого явления, вероятно, являются специфические геолого-тектонические условия, когда наибольшая степень раскрытости разломов наблюдается в приводораздельных областях, и более высокие содержания кислорода-18 отмечаются в источниках, находящихся на более низких отметках. По-видимому, здесь имеют место процессы кислородного обмена в системе «вода-порода», обогащающие воду тяжелым изотопом  $^{18}\text{O}$  [37].

#### 4.2 Изотоп $^{13}\text{C}$ в углекислых водах

Изотопный состав углерода изучался в углекислых водах, т.е. там, где в газовом составе преобладает  $\text{CO}_2$ . Углерод (C), как химический элемент, является составной частью как углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), так и гидрокарбонат-иона ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Определение  $\delta^{13}\text{C}$  было произведено в гидрокарбонат-ионе ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) (DIC – dissolved inorganic carbon), а также в свободном углекислом газе ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ). Непосредственно для территории Хэнтэй-Даурского свода изотопный состав углерода определен только в 5 водопунктах, поэтому для более детального рассмотрения проблемы автором работы приводятся данные по смежным с районом исследований территориям.

Изучением изотопного состава углерода в минеральных водах различных районов России занимались такие исследователи, как Лаврушин В.Ю. [58; 60] (Кавказ), Замана Л.В. [40] (Забайкалье), Чудаев О.В. [112], Челноков Г.А., Харитонов Н.А. [110] (Дальний Восток), Лепокурова О.Е. [61] (Западная Сибирь) и др.

Определение  $\delta^{13}\text{C}$  в минеральных водах производилось с целью выявления источников поступления углекислого газа. Известно, что генерация  $\text{CO}_2$  может происходить следующими путями [110]:

- за счет разложения органического вещества (интервал  $\delta^{13}\text{C}$  от -26 ‰ до -12 ‰);
- за счет глубинных (магматических) эксгаляций ( $\delta^{13}\text{C}$  от -8 ‰ до -4 ‰);
- за счет термометаморфизма карбонатных пород ( $\delta^{13}\text{C}$  от 0 до +2 ‰).

Необходимо отметить, что ряд весьма авторитетных исследователей призывает с осторожностью относиться к оценке генезиса углекислоты по её изотопному составу. Так, В.И. Кононов и Б.Г. Поляк пишут: «... не имея единой достаточно определенной ювенильной метки, изотопный состав углерода не может служить надежным основанием для выявления мантийной компоненты .... В подземных флюидах изотопный состав углерода должен в той или иной мере быть следствием смешения углерода разного генезиса» [50, стр. 168]. Тем не менее, при рассмотрении результатов определения  $\delta^{13}\text{C}$  в углекислых водах разных районов Монголо-Сибирского региона (таблица 4.2) можно выделить определенные закономерности.

Для Забайкалья и Монголии углерод в минеральных водах имеет относительно «легкий» изотопный состав, примерно соответствующий диапазону,

характерному для мантийных газов, а в некоторых источниках даже «легче» его. Предполагать наличие на территории Забайкалья мощных толщ органических осадков вряд ли представляется возможным, поэтому автор склоняется к глубинному характеру генезиса CO<sub>2</sub>.

Таблица 4.2

## Изотопный состав углерода углекислых вод

Водопункт	Координаты	t° воды, °C	TDS, г/л	δ <sup>13</sup> C <sub>CO<sub>2</sub></sub> , ‰ (VPDB)	δ <sup>13</sup> C <sub>ДИС</sub> , ‰ (VPDB)
Забайкалье и Монголия					
Мордойский кислый ключ*	N49°44,464'; E112°03,161'	13,0	0,229	-	- 10,0
Источник Джильберийский*	N49°22,086'; E111°21,541'	4,7	0,637	-	- 8,7
Скважина в частном доме	N50°45,093'; E115°13,472'	2,0	2,17	-	- 4,2
Скв., курорт Ямаровка*	N50°37,031'; E110°14,923'	4,5	1,61	-	- 8,4
Скв., курорт Шиванда	N51°43,155'; E115°34,108'	1,1	1,90	-	- 4,5
Скв., курорт Ургучан	N51°45,188'; E116°41,684'	0,8	1,65	-	- 1,6
Скв., курорт Молоковка	N51°54,742'; E113°32,901'	2,6	1,34	-	- 6,8
Озеро, курорт Ямкун	N51°31,604'; E118°19,975'	16,7	1,77	- 6,5	0,3
Скв., курорт Ямкун	N51°31,620'; E118°19,623'	22,6	1,77	-	- 2,0
Скв., с. Базаново	N50°57,022'; E117°47,281'	0,4	1,26	-	- 1,1
Скв. №45, курорт Кука	N51°43,632'; E112°57,236'	3,8	2,98	- 13,0	- 9,3
Скв., курорт Оргил*	N47°53,846'; E106°54,806'	4,1	1,03	-	-10,7
Источник Минж*	N49°07,967'; E108°05,625'	1,4	0,709	- 13,2	- 11,8
Байкальская рифтовая зона					
Скв. 1-Г, курорт Жемчуг	N51°42,992'; E102°25,600'	54,5	4,94	-	- 0,9
Скв. 41, курорт Аршан	N51°55,200'; E102°25,920'	44,5	4,18	-	0,2
Скв. 39, курорт Аршан	N51°55,195'; E102°25,921'	43,0	4,08	-	- 0,2
Травертиновый ист., верхн.	-	17,5	6,15	- 5,6	0,2
Травертиновый ист., нижн.	N56°13,882'; E117°38,296'	14,4	5,86	- 5,5	- 0,1
Восточный Саян					
Источник Хойто-Гол	N52°37,265'; E99°00,882'	34,9	0,727	-	- 2,7
Чойган, выход №5	N52°34,932'; E98°45,429'	14,1	1,14	- 2,1	0,3
Чойган, выход №10	N52°34,902'; E98°45,314'	27,1	2,71	-	1,0
Чойган, выход №11	N52°34,904'; E98°45,412'	34,3	2,41	- 1,1	-
Чойган, выход №15	N52°34,859'; E98°45,320'	23,6	2,26	-	1,0
Чойган, выход №18	N52°34,788'; E98°45,415'	31,5	1,26	-	- 0,1
Чойган, выход №19	N52°34,800'; E98°45,411'	-	1,03	- 1,6	-
Чойган, выход №27	N52°34,772'; E98°45,331'	22,0	1,61	-	- 0,3
Источник Сарикта	N52°19,497'; E98°48,032'	9,7	1,23	- 1,3	2,6
Источник Тиссинский	N52°20,192'; E98°47,473'	0,5	0,223	- 1,2	- 0,6
Ист. Верхний Кадыр-Ос	N53°23,987'; E96°51,861'	9,6	0,931	- 4,4	-
Источник Шандал-Ой	N53°28,266'; E96°52,316'	2,7	1,69	- 3,9	-
Источник Даштыг	N53°30,668'; E96°45,102'	3,3	2,65	- 4,3	0,9
Источник Исвен	N53°18,487'; E97°37,483'	5,2	1,23	- 4,1	- 1,9

\* – источники, расположенные на территории ХДС.



Наглядным примером связи изотопного состава углерода с геологическим строением могут служить результаты определения  $\delta^{13}\text{C}$  в пробах воды из водопунктов Ямкун и Базаново, расположенных в восточной части Забайкалья. Здесь в геологическом разрезе отмечаются пласты известняков (быстринская свита нижнего кембрия). Соответственно, значения  $\delta^{13}\text{C}$  здесь существенно «тяжелее», чем на остальной территории Забайкалья и близки к интервалу, характерному для  $\text{CO}_2$ , образующемуся при метаморфизме карбонатов.

Что касается Байкальской рифтовой зоны, то, как видно из таблицы 4.2, углекислые воды курортов Жемчуг и Аршан характеризуются относительно «тяжелым»  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ . По-видимому, это можно объяснить происхождением углекислоты за счет термометаморфизма карбонатных пород, мощные прослои которых широко распространены в этом районе. В источнике Травертиновый, расположенном на северо-восточном фланге БРЗ, значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  соответствуют глубинному диапазону. Это объясняется непосредственной приуроченностью выхода углекислых вод к молодому голоценовому вулкану, поэтому с большой долей вероятности можно предположить магматический генезис углекислоты, а разница значений  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  и  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  указывает на условия выделения  $\text{CO}_2$ , близкие к равновесным. В геологическом строении Восточного Саяна принимают участие различные по составу, в том числе и карбонатные, горные породы. Здесь распространены как холодные, так и термальные углекислые воды. Изотопный состав углерода здесь довольно «тяжелый», что примерно соответствует промежуточному положению между магматическим и термометаморфическим происхождением углекислоты.

На основании полученных результатов автор настоящей работы склоняется к мнению о глубинном характере генезиса  $\text{CO}_2$  в углекислых источниках территории и согласен с авторами статьи [115], что дальнейшие исследования покажут, является ли он коровым либо мантийным.

### 4.3 Изотопное отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$

Изучение изотопного состава гелия позволяет понимать процессы, происходящие в недрах. По величине отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  можно оценивать долю глубинной (мантийной) составляющей в минеральных флюидах и рассчитывать значения теплового потока для различных регионов. Проблемой изотопии гелия в подземных водах в разные годы занимались Ануфриев Г.С., Брандт С.Б., Верховский А.Б., Грачев А.Ф., Друбецкой Е.Р., Дучков А.Д., Каменский И.Л., Козловцева С.В., Лаврушин В.Ю., Лобков В.В., Ломоносов И.С., Лысак С.В., Мамырин Б.А., Мартынова М.А., Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Рычкова К.М., Толстихин И.Н., Хуторской М.Д., Якуцени В.П. и др. исследователи.

Как известно [44], земной гелий имеет различное происхождение. Так, выделяются первичный (мантийный) гелий и гелий, формирующийся в основном в земной коре в результате распада радиоактивных элементов (радиогенный). Эти разновидности характеризуются различными величинами изотопного отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  (обычно обозначаемое символом  $R$ ). Так, для радиогенного (корового) гелия величина  $R$  равняется  $2 \times 10^{-8}$ , а для гелия, имеющего мантийный генезис,  $R$  достигает  $3,3 \times 10^{-5}$  (по данным определений в Исландии). Значение  $R$  в атмосферном воздухе ( $R_a$ ) составляет  $1,4 \times 10^{-6}$ .

Считается, что гелий является единственным компонентом минеральных вод, в котором примесь ювенильного вещества устанавливается вполне однозначно [50].

Для исключения искажающего влияния контаминации атмосферным воздухом в измеренные значения  $R$  вводят поправку, основанную на величине отношения  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ . Предполагается, что неон имеет чисто атмосферное происхождение. Для атмосферного воздуха отношение гелия к неону ( $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ ) равняется 0,317.

Исправленное значение  $R$  вычисляется по формуле [59]:

$$R_{\text{испр.}} = \frac{R_{\text{изм.}} \cdot \left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_{\text{изм.}} - R_a \left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_a}{\left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_{\text{изм.}} - \left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_a}, \quad (4.1)$$

где:  $R_{\text{испр.}}$  – исправленное значение  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ;

$R_{\text{изм.}}$  – измеренное значение  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ;

$R_a$  – значение  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  для атмосферного воздуха;

$\left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_{\text{изм.}}$  – отношение гелия к неону измеренное;

$\left(\frac{{}^4\text{He}}{{}^{20}\text{Ne}}\right)_a$  – отношение гелия к неону в атмосферном воздухе.

Известно, что изотопный состав гелия отражает возраст геологических структур: более древней коре отвечают меньшие значения  $R$ , а более молодой – бóльшие. Величина отношения  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  соответствует не просто возрасту тектонических движений, как таковых, а, прежде всего, магматической активности в данном регионе [90].

На территории Хэнтэй-Даурского свода при участии автора был отобран ряд проб для определения изотопного состава гелия, а также соотношения  ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$  для введения поправок на контаминацию атмосферным воздухом.

Азотным термальным и холодным водам с повышенным содержанием сероводорода соответствуют меньшие значения  $R$ , чем углекислым. Если в первых двух преобладает коровый (радиоогенный) гелий, то в углекислых водах ощутимой становится доля мантийной составляющей. Необходимо отметить, что существует обратная зависимость между абсолютным содержанием гелия в газовом составе минеральных вод и величиной  $R$ , что свидетельствует о коровой природе повышенных концентраций  $\text{He}$ . В углекислых водах  $R$  достигает  $1,9 \times 10^{-6}$  (источник Урт), что превышает значение  $3,6 \times 10^{-7}$ , характерное для позднемезозойской коры, в поле развития которой располагаются изученные минеральные источники [91]. Это может быть объяснено проявлением более поздней (кайнозойской) тектоно-магматической активизации, не имеющей отражения на поверхности в виде вулканизма [108].

О значительном прогреве недр Забайкалья также свидетельствует низкая величина отношения концентраций радиоогенных гелия и аргона ( ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ar}$ ) в газах

углекислых вод Ямаровки [88]. В термальных водах, как уже отмечено, преобладает радиогенный (коровый) изотопно тяжелый  $^4\text{He}$ , причем в наиболее горячем источнике территории (Их-Онон) величина  $R$  составила всего  $3,21 \times 10^{-8}$ , что близко к каноническому значению для континентальной коры ( $2 \times 10^{-8}$ ).

По результатам проведенных исследований установлена закономерная связь между изотопным составом гелия подземных флюидов и региональным тепловым потоком [90]. Выявлено, что на основании данных о величине  $R$  можно проводить оценки величины теплового потока ( $q$ ) на более объективной основе, чем непосредственные измерения в скважинах. В последнем случае на точность определения  $q$  могут влиять внешние факторы (неоднородности рельефа, циркуляция подземных вод и т.д.).

Для вычисления величины теплового потока предложена следующая формула [91]:

$$q \text{ (мВт/м}^2\text{)} = 18,23 \lg R + 181,82 \quad (4.2)$$

На основании этих зависимостей, для соседних с Хэнтэй-Даурским сводом территорий Монголии и Байкальской рифтовой зоны с её горным обрамлением такими исследователями как Поляк Б.Г., Хуторской М.Д., Козловцева С.В., Дучков А.Д., Голубев В.А., Лысак С.В., Писарский Б.И. и др., а также Рычковой К.М. для территории Тувы, были проведены региональные оценки теплового потока.

Автор настоящей работы, используя вышеупомянутую зависимость, рассчитал значения тепловых потоков для некоторых минеральных источников ХДС (таблица 4.3). Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными С.В. Лысак и Р.П. Дорофеевой [65] и др.

По данным об изотопном составе гелия можно оценить долю мантийной составляющей в его общем объёме. Авторы работы [66] предложили следующую формулу для такой оценки:

$$\text{He}_m = 12,5 \frac{R_{\text{изм.}}}{R_a}, \quad (4.3)$$

где:  $\text{He}_m$  – доля мантийного гелия, %;

$R_{\text{изм.}}$  – измеренное отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ;

$R_a$  – атмосферный репер  $^3\text{He}/^4\text{He}$ , равен  $1,4 \times 10^{-6}$ .

Результаты расчетов с использованием данной формулы для минеральных источников ХДС также представлены в таблице 4.3, из которой видно, что доля мантийного гелия в холодных углекислых водах гораздо выше, чем в азотных термах.

Таблица 4.3

## Изоотопный состав гелия в растворенном газе минеральных вод

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

\* – [108]; \*\* – [59]

Результаты анализа изотопного состава минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода подтверждают **II защищаемое положение** о том, что содержание стабильных изотопов водорода и кислорода в минеральных водах свидетельствует об их метеогенном генезисе. Вариации значений изотопа углерода  $^{13}\text{C}$  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

### 5.1 Использование минеральных вод

Минеральные воды – весьма ценное полезное ископаемое и его практическое применение сводится к трем основным направлениям:

- использование термальных вод в теплоэнергетических целях;
- извлечение из вод ценных компонентов их химического и газового состава;
- бальнеологическое применение минеральных вод.

Рассмотрим в соответствии с этими основными направлениями современное состояние и перспективы практического использования минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода.

#### Теплоэнергетика

На изучаемой территории известно 15 термальных источников, среди которых наиболее высокая температура воды (более 80 °С) отмечается в источнике Их-Онон. Это довольно высокое значение температуры, при котором при современных технологиях можно было бы организовать выработку электроэнергии. Но это представляется малоперспективным из-за расположения данного источника в весьма труднодоступной местности и, кроме того, на территории Хан-Хэнтэйского заповедника. Среди группы источников с температурой воды 35-45 °С можно выделить два. Это Былыра в России и Ероо в Монголии. На базе этих источников еще несколько лет назад успешно функционировали не очень большие, но весьма уютные курорты. Поэтому при будущем, весьма желательном, возрождении этих здравниц вполне возможна организация обогрева зданий. Что касается использования остальных источников этой группы, то оно вряд ли будет оправданным либо из-за отсутствия соответствующей инфраструктуры, либо из-за расположения в труднодоступных и особо охраняемых территориях. Источники с более низкой (до 30 °С)

температурой воды еще менее перспективны в отношении теплоэнергетического использования.

### **Извлечение ценных компонентов состава**

Использование минеральных вод в качестве «жидкой руды» с целью извлечения таких компонентов, как литий, бром, сода и т.д., имеет широкое распространение. Но это относится к высокоминерализованным водам. На территории Хэнтэй-Даурского свода не встречены воды с такой степенью солености. В отличие от других территорий, здесь имеется множество источников, газующих углекислым газом. Этот газ является весьма ценным веществом, используемым в различных областях хозяйства, поэтому заслуживает внимания возможность его добычи в очагах разгрузки углекислых вод. Если в местах некаптированных выходов минеральных источников такая добыча технически весьма сложна (из-за малого дебита и миграции головок источников), то в скважинах, вскрывающих углекислые воды, вполне возможно организовать извлечение углекислого газа. Положительным примером такого использования ценного гидроминерального ресурса может служить курорт Ямаровка. Здесь эксплуатационная скважина оборудована газоотделителем, в котором собирается выделяющийся  $\text{CO}_2$ . Затем добытый газ используется для дополнительного насыщения добываемой из этой же скважины питьевой минеральной воды. Этим минеральная вода Ямаровка выгодно отличается от других бутилированных вод, где для сатурации используется «чужеродный» углекислый газ.

Добываемый из скважин, эксплуатирующих минеральные воды, углекислый газ вполне мог бы фасоваться в баллоны и поступать в продажу потребителям.

### **Бальнеология**

Целебные свойства минеральных вод издавна привлекают не только людей, но и диких животных. Охотникам хорошо известно, что в местах выходов минеральных источников сходятся тропы оленей, лосей и других копытных.

Восточная медицина с древних времен уделяла очень большое внимание лечению различных заболеваний при помощи минеральных вод и грязей.

Монгольские ламы обладали обширными знаниями о бальнеологических свойствах минеральных вод и осуществляли контроль за лечением на источниках.

В настоящее время на территории Хэнтэй-Даурского свода эксплуатация бальнеологических свойств минеральных вод идет с разной степенью интенсивности. Наиболее развитым курортом описываемого района является санаторий Оргил, расположенный в столице Монголии г. Улан-Батор. Учреждение обладает развитой инфраструктурой, применяются самые разнообразные методы лечения, основным из которых является бальнеотерапия с использованием углекислой воды. Необходимо отметить, что в настоящее время ухудшается техническое состояние скважины, из-за чего происходит снижение содержания углекислоты.

На территории Монголии в пределах Хэнтэй-Даурского свода имеются еще два санатория, эксплуатирующие углекислые воды. Это Ар-Жанчивлин и Овор-Жанчивлин, которые также оснащены современным оборудованием и пользуются популярностью у местного населения.

К сожалению, в российской части территории Хэнтэй-Даурского свода в настоящее время отсутствуют курортные учреждения, отвечающие современным требованиям. В первую очередь это относится к одному из старейших курортов Забайкалья – Ямаровке. Инфраструктура этого курорта в постперестроечные годы практически полностью пришла в упадок, и в настоящее время здесь осуществляется лишь розлив углекислой воды. То же относится и к бывшим известным курортам Былыра (Россия) и Ероо (Монголия). Представляется абсолютно необходимым возрождение этих некогда знаменитых здравниц, с привлечением как государственных, так и частных инвестиций.

Остальные минеральные источники ХДС используются населением для лечения в качестве «диких курортов». Отдыхающие посещают их либо круглогодично, либо в отдельные периоды года. Это связано с доступностью мест выхода минеральных вод. Так, например, источник Их-Онон доступен только зимой, когда замерзают непроходимые летом болота, а источник Кыринский



зимний разгружается непосредственно в русло и летом затапливается речными водами, поэтому посещается тоже только зимой.

## 5.2 Охрана минеральных вод

Источники минеральных вод являются неотъемлемой частью окружающей среды, которая требует охраны от постоянно возрастающего техногенного воздействия. Выходы минеральных вод являются своеобразными «геологическими памятниками», имеющими не только бальнеологическое, но и рекреационное и познавательное значение.

Охрана природы является предметом заботы не отдельно взятых государств, а всего мирового сообщества. Исходя из этого, на границах различных стран создаются трансграничные особо охраняемые природные территории (ООПТ). Примером может служить проектируемая ООПТ «Истоки Амура», включающая в себя Сохондинский заповедник, Чикойский национальный парк и заказник «Горная степь» на территории России, а также Хан-Хэнтыйский заповедник, Онон-Бальджинский и Горхи-Тэрэлжийский национальные парки в Монголии (рисунок 5.1). В пределах этой ООПТ расположены участки ландшафтов различных природных зон, от сухих предгорных степей до каменистых гольцовых вершин.

Источники минеральных вод располагаются на ООПТ с различным статусом, от чего зависит интенсивность их использования. Так, если находящиеся в границах заповедников минеральные источники посещаются лишь по специальным разрешениям администрации, то развитые курорты (Оргил, Ар-Жанчивлин, Овор-Жанчивлин) эксплуатируются весьма интенсивно.

Промежуточное положение занимают источники, расположенные на относительно удаленном расстоянии от населенных пунктов, но вне границ заповедников. Некоторые из них также имеют статус ООПТ более низкого ранга.

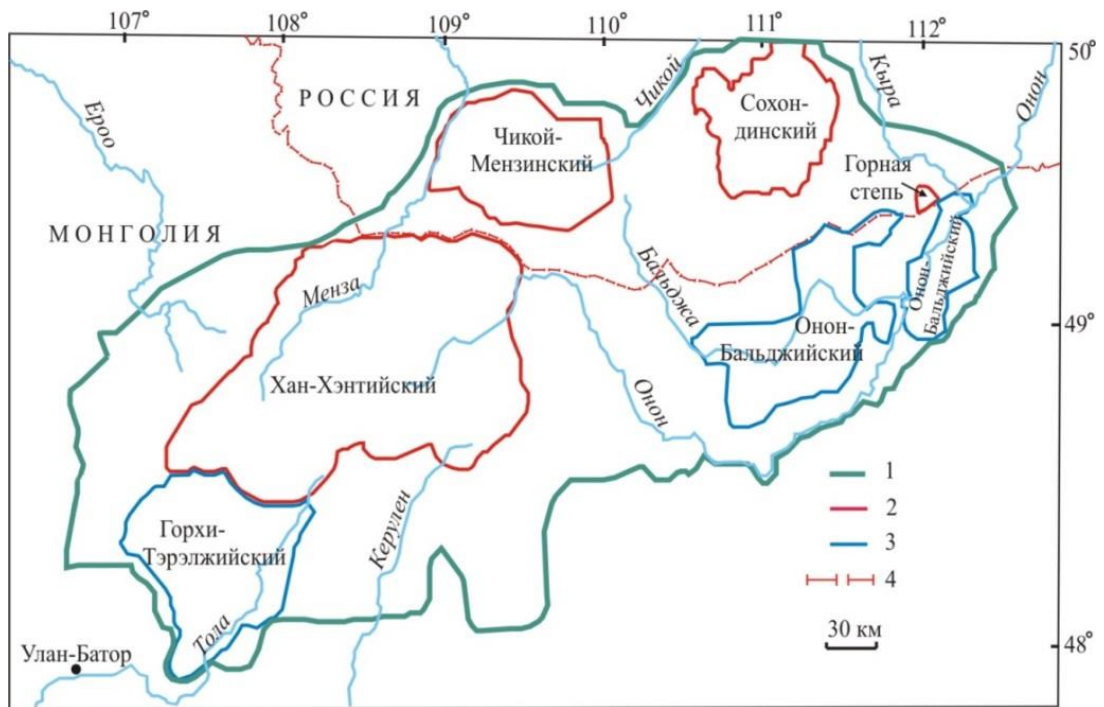


Рис. 5.1 Карта-схема проектируемой трансграничной ООПТ «Истоки Амура». Границы: 1-ООПТ; 2-заповедников; 3-национальных парков; 4-государственная

Так, например, источники Былыра, Двенадцать ключей и Кыринский зимний включены в ООПТ «Былыра», имеющую статус «лечебно-оздоровительной местности». Статус «памятник природы» имеет Мордойский источник (под названием «Минеральный источник пади Лагерная» [69].

На основании вышеизложенного, выдвигается **III защищаемое положение**: практическое использование минеральных вод должно определяться статусом территории, на которой расположены источники. 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.

Исходя из этой концепции, все изученные минеральные источники Хэнтэй-Даурского свода разделены на три группы в соответствии с их расположением в

перечисленных зонах: 1 – строгого заповедного режима; 2 – ограниченного заповедного режима; 3 – свободного доступа.

В таблице 5.1 приведено предлагаемое распределение минеральных источников ХДС на группы, в соответствии с природоохраным статусом.

Таблица 5.1

Природоохранный статус минеральных источников Хэнтэй-Даурского свода

№ на карте (гл. 3)	Источник	Группа природоохранного статуса	№ на карте (гл. 3)	Источник	Группа природоохранного статуса
1	Ямаровка	3	30	Голдтай	2
2	Куналейский-2	2	31	Дунд байдлиг дээд	2
3	Эсугайский	2	32	Дунд байдлиг доод	2
4	Хохряковский	2	33	Баруун-Байдлиг	2
5	Солонцовский	2	34	Бурх	2
6	Куналейский-1	2	35	Бурх рашаан нуур	2
7	Засуланский	2	36	Их-Онон	1
8	Семиозерский	1	37	Бага-Онон	1
9	Ендинский	1	38	Тарс	1
10	Джилберийский	2	39	Хужир-Нуга	2
11	Верхне-Ингодинский	1	40	Ар-Арангат	2
12	Кыринский зимний	2	41	Барх	2
13	12 Ключей (Улурийский)	2	42	Энгэрбулаг	2
14	Былыра	3	43	Оворэлгэн	2
15	Нижний Салбартуй	2	44	Бор-Хурга	2
16	Талачинский	2	45	Зурт	2
17	Шивычинские Талачи	2	46	Урт	2
18	Мордойский	2	47	Шийр	2
19	Яшновский	2	48	Дашлинг	2
20	падь Нижний Дылбыркен	2	49	Улан-Булаг	2
21	Оргил	3	50	Зос	2
22	Ар-Жанчивлин	3	51	Шахта Бэрх	2
23	Овор-Жанчивлин	3	52	Хутаг-Уул	2
24	Бооролжут	2	53	Овор-Арангат	2
25	Хотхон	1	54	Замт	2
26	Минж	1	55	Улаалзган	2
27	Ероо	3	56	Эрээн	2
28	Естий	2	57	Ажнайн	2
29	Гутай	2	58	Дайхар	2

## 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. В пределах Хэнтэй-Даурского свода распространены минеральные воды различных типов. Это термальные азотные, холодные углекислые, холодные с повышенным содержанием сероводорода и субтермальные воды. Разнообразие состава и температуры минеральных вод определяется сложностью геолого-структурных и физико-географических условий региона.
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  $^{13}\text{C}$  свидетельствует о глубинном характере  $\text{CO}_2$  в холодных углекислых водах. Диапазон значений изотопных отношений  $^3\text{He}/^4\text{He}$  указывает на низкую долю мантийной компоненты в составе водорастворенного гелия. В азотных термах её величина не превышает 3,4 %, а в холодных углекислых водах она достигает 17 %. С использованием данных об изотопии гелия были рассчитаны значения теплового потока для территории Хэнтэй-Даурского свода, которые составили от 45 до 78 мВт/м<sup>2</sup>.
3. Основным направлением практического использования минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода является бальнеология. Существует необходимость восстановления инфраструктуры разрушенных курортов Ямаровка, Былыра (Россия) и Ероо (Монголия). На углекислых источниках имеется возможность добычи  $\text{CO}_2$ , что уже осуществляется на курорте Ямаровка. Использование термальных вод в теплоэнергетических целях представляется

нецелесообразным из-за удаленности и труднодоступности горячих источников от потенциальных потребителей.

4. Минеральные источники являются уникальными природными объектами, имеющими важное рекреационное значение. В условиях нарастающего антропогенного прессинга повышается опасность загрязнения минеральных вод и истощения их запасов. Эта проблема является актуальной и для рассматриваемой территории, несмотря на её удаленность от основных промышленных центров и крупных населенных пунктов. Поэтому необходимо предусматривать меры по защите минеральных источников. Для организации охраны минеральных вод предложено деление территории Хэнтэй-Даурского свода на зоны: *строгого заповедного режима, ограниченного заповедного режима, свободного доступа*. Исходя из этого, все источники ХДС распределены на группы в соответствии с природоохранным статусом местности, на которой расположен конкретный источник.

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

**П Р И Л О Ж Е Н И Е**  
**(справочное)**

## КАТАЛОГ

проявлений минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода, где № источника соответствует № на карте (рисунок 3.1; таблица 3.1).

### Термальные азотные воды

2. **Куналейский-2** (Россия). М-49-65 (здесь и далее – номер листа карты М 1:100000). Находится на территории Красночикойского района Забайкальского края. Источник расположен в истоке р. Куналей, приток р. Аца, впадающей слева в р. Чикой. Описание И.А. Багашева [6]: В узкой сырой пади с густым хвойным лесом из склона горы выходят 4 ключа. Источник довольно обильный – 14400 ведер воды в сутки. Температура воды 20 °С. Данные из монографии [72]: Выходит из основания крутого склона на правом берегу р. Куналей. Приурочен к гранитам, перекрытым делювиальными отложениями. Температура воды 17,5-20 °С. Дебит 2 л/с. В газовом составе преобладает азот, чья доля составляет 94 % [8]. *Обследование автора – 19.09.2013 г.:* Нисходящий выход из коренного склона, сложенного гранитоидами, в виде ручейка с дебитом около 0,1 л/с. Вода без посторонних привкусов, без специфических запахов. Какие-либо отложения или характерная термофильная растительность отсутствуют. Отмечены многочисленные следы диких копытных животных. Температура воды 11,3 °С при температуре воздуха +5,5 °С. По имеющимся данным, этот источник можно отнести к термальным, несмотря на довольно низкую, для гидротерм, температуру воды.

3. **Эсутайский** (Россия). М-49-65. Находится на территории Красночикойского района Забайкальского края. Источник расположен в долине р. Эсутай (правый приток р. Чикокон, бассейн р. Чикой), в 13 км к северо-западу от пос. Усть-Эсутай. Описание из монографии [72]: Источник представляет собой несколько выходов, приурочен к зоне разлома в палеозойских гранитах. Используется местным населением в лечебных целях. Дебит значительный. Температура воды 17 °С. Описание из монографии [23]: Температура воды 17 °С. Л.М. Орлова [79], упоминая о гидрокарбонатном натриевом составе воды данного

источника, приводит величину содержания фтора 4 мг/л. Вода Эсутайского источника относится к былыринскому типу акратотерм.

4. **Хохряковский** (Россия). М-49-66. Находится на территории Красночикойского района Забайкальского края. Источник расположен в долине р. Хохряковская Анга (правый приток р. Чикой), в 36 км к северо-востоку от пос. Усть-Эсутай. Автор не имел возможности личного посещения данного источника, а сведения, взятые из различных литературных источников, весьма противоречивы. Например, авторы монографии [72] относят его к типу гидротерм. Их описание: 7 выходов в долине р. Хохряковская Анга. Приурочены к зоне разлома в гранитах. Дебит  $\approx 0,15$  л/с. Содержание радона в различных выходах от 48 до 600 эман. Температура воды 17,5 °С. А обследование Л.М. Орловой, А.Н. Складневской в 1963 г.: «В 1963 г. впервые в Читинской области было установлено наличие холодных радиоактивных сероводородных минеральных вод. Такую характеристику имеют воды Хохряковского источника, расположенного в бассейне р. Чикой. Источник приурочен к зоне тектонического нарушения северо-восточного направления, проходящей в аплитовидных гранитах мезозоя. Повышенная радиоактивность вод данного источника связана, по-видимому, с выщелачиванием рассеянных радиоактивных элементов из раздробленных трещиноватых гранитов или из минералов тектонической зоны. Температура воды 5-6 °С» [23, стр. 380-381]. В статье В.Ю. Лаврушина с соавторами [59] приведен газовый состав источника под названием Анга-Аршан, который, по-видимому, и является Хохряковским источником. При обследовании в 1995 г. они зафиксировали значение температуры воды 3,0 °С. В газовом составе преобладает метан – 56 %, азота содержится 34 %, углекислого газа – 5%. Из приведенных ссылок видно, что Хохряковский источник, скорее всего, является аналогом Талачинского источника. Необходимость его детального изучения не вызывает сомнения, учитывая аномально высокое содержание углеводов.

6. **Куналейский-1** (Россия). М-49-66. Находится на территории Красночикойского района Забайкальского края. Описание Ю.П. Деньгина [29]:



Минеральная вода выходит со дна долины (левый берег) р. Куналей, правого притока р. Чикой, в 13 км от впадения её в последний. Выход минеральной воды находится на простирании линии контакта гранита и кварцитовидного песчаника, пересекающей в этом месте долину речки. Вода прозрачная, на вкус слегка солоноватая, без запаха. Наблюдается выделение редких пузырьков газа. Ключ слабо протекает. 2.09.1930 г. температура воды источника была 14,1 °С при температуре воздуха +21,8 °С. Авторы монографии [72] приводят значения температуры 9,0 °С.

8. **Семиозерский** (Россия). М-49-89. Находится на территории Красночикоийского района Забайкальского края. Источник расположен в верховьях р. Горячая (правый приток р. Чикой) в 2 км от мирового водораздела между бассейнами Северного Ледовитого и Тихого океанов. Описание Ю.П. Деньгина [29]: Источник выходит в правом борту долины р. Горячая, которая берет начало с плоского заболоченного перевала. Дно долины широкое, заросшее лесом и в значительной степени заболоченное. Болота продолжают и вниз по долине, что делает источник труднодоступным в летнее время. Повышенные части окрестностей источника сложены метаморфизованными осадочными породами – песчаниками. Нижние части склонов и перевал в сторону р. Киркун (бассейн Тихого океана) сложены гранитом, прорывающим и метаморфизующим осадочные породы. Возраст гранитов верхне- или послемезозойский. Выход источника представляет собой ямку, диаметром 1,2 м, выложенную камнями. Отмечается выделение пузырьков газа. Вода бесцветная, с запахом сероводорода. Температура воды 35,6 °С. В составе выделяющегося газа преобладает азот (99 %). Источник пользуется широкой известностью среди бурятского и русского населения верховьев рр. Чикой и Бальджа. Больные съезжаются обычно в зимнее время. В остальные времена года источник посещают лишь в исключительных случаях. Лечатся на нем от ревматизма и кожных болезней. По данным авторов монографии [72] содержание радона – 58 эман. *Обследование автора – 10.02.2009 г.:* Выход источника каптирован желобом, сооружена ванна, над которой возведена избушка (фото 1). Имеются дома для отдыхающих.



Фото 1 Источник Семиозерский

Температура воды 35,7 °С при температуре воздуха минус 7 °С. Дебит, измеренный объёмным способом составил 1,5 л/с. Термы Семиозерского источника по составу сходны с былыринскими, но отличаются более высоким содержанием сульфатов.

11. **Верхне-Ингодинский** (Россия). М-49-79. Находится на территории Сохондинского государственного природного биосферного заповедника, в Улетовском районе Забайкальского края. Источник расположен в устье руч. Хойту-Горуха, впадающего справа в р. Аршан – правый приток р. Ингода. По описанию Ю.П. Деньгина [29], выход источника приурочен к тектоническому разлому на контакте палеозойских песчаников с гранитами пермско-триасового возраста. В месте выхода источника присутствуют несортированные моренные отложения (фото 2). Минеральные воды источника выходят по обоим берегам р. Аршан. Основной выход находится на левом берегу, а на правом берегу – ряд слабых восходящих струек среди валунов.



Фото 2 Источник Верхне-Ингодинский (фото И.Г. Крюковой)

При посещении источника Ю.П. Деньгиным в 1930х годах XX в. отмечалось, что на основном выходе был сооружен шалаш из коры, а также вырыта ямка для принятия ванн. В настоящее время никакого сооружения нет. *Обследование автора – 08-09.07.2008 г.:* Суммарный видимый дебит выходов с обоих берегов незначительный и вряд ли превышает 0,1 л/с. Температура воды на правом берегу 28,5 °С, на левом – 29,5 °С при температуре воздуха +19,5 °С. Вода прозрачная, с легким привкусом и запахом сероводорода. В выходах видны характерные водоросли светло-серого цвета. В газовом составе преобладает азот. Термы Верхне-Ингодинского источника относятся к былыринскому типу акратотерм.

**12. Кыринский зимний** (Россия). М-49-68. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен на левом берегу р. Кыра, в 20 км к западу от пос. Надёжный. *Обследование автора – 13.02.2009 г.:* Источник выходит из гранитных валунов у уреза левого берега р. Кыра. В летнее время источник заливается речными водами. Зимой над ним сооружается сруб и отдыхающие принимают ванны (фото 3).



Фото 3 Источник Кыринский зимний

Для отдыха на высокой террасе построен дом. Температура воды 43,4 °С при температуре воздуха минус 20 °С. По данным монографии [72] содержание радона 90 эман. Дебит 4,1 л/с. Источник относится к акратотермам былыринского типа и имеет наибольшую температуру среди термальных вод на российской части Хэнтэй-Даурского свода.

13. **12 ключей** (Улурийский) (Россия). М-49-68. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен на левом склоне долины р. Кыра, в 3 км выше впадения левого притока – р. Урла. Выход приурочен к тектоническому разлому в гранитах мезозойского возраста, представляет собой 3 линии источников, расположенных в 150-200 м друг от друга. Суммарный дебит 3,6 л/с [8]. Радиоактивность воды 66 эман [79].

*Обследование автора – 13.02.2009 г.:* Наиболее высокотемпературный выход находится на 1<sup>й</sup> линии, наиболее гипсометрически высокой. Здесь и сооружен ванный корпус (фото 4), вода в который поступает по желобу.



Фото 4 Источник 12 ключей

Температура воды 27,7 °С при температуре воздуха минус 20 °С. В составе газа преобладает азот. Рядом с основным выходом на 1 линии расположены:

- источник «Слабительный» – температура воды 23,7 °С;
- источник «Желудок» – температура воды 22,5 °С.

2<sup>я</sup> линия – по направлению вниз по склону:

- источник «Болезни глаз» – температура воды 9,4 °С;
- источник «Язва желудка» – температура воды 12,1 °С.

3<sup>я</sup> линия (нижняя):

- источник «От болезней сердца» – температура воды 10,4 °С.

Данный источник относится к былыринскому типу акратотерм. Различие в температуре воды дериватов объясняется, скорее всего, влиянием разбавления холодными инфильтрационными водами. Источник пользуется большой популярностью, особенно в зимнее время, когда сюда можно легко доехать на

автомобиле. На день обследования здесь находилось несколько десятков отдыхающих. Сооружено несколько деревянных домов для жилья, обустроено помещение для приема ванн. Считается, что вода из различных выходов (дериватов) источника помогает от различных болезней, о чем свидетельствуют таблички.

14. **Былыра** (Россия). М-49-68. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Месторождение термальных вод расположено в пади Кузьмиха в правом борту долины р. Арашантуй (правый приток р. Былыра), в 7 км к западу от пос. Надежный. Приурочен к тектоническому разлому в гранитах мезозойского возраста. По И.А. Багашеву [6], ключ открыт в XVIII столетии «зверовщиками» (охотниками). По приказу Акшинского окружного начальника И.О. Разгильдеева в 1823 г. здесь был построен дом, и в последующие годы семья Разгильдеевых развивала инфраструктуру курорта, на котором ежегодно лечилось от 600 до 2000 отдыхающих (в 50е годы XIX века). В дальнейшем развитие курорта происходило стихийно, сооружались деревянные избы для проживания и помещения для приема ванн. В 1967-1969 г.г. на Былыринском месторождении термальных вод проведен комплекс разведочных гидрогеологических работ, в результате которых не только был изучен состав минеральной воды, но и осуществлен подсчет её запасов. Их величина по категории В составила 330 м<sup>3</sup>/сут [71]. Было пробурено 12 скважин глубиной от 50 до 150 м. Это дало новый толчок к развитию базы курорта и стали приезжать больные со всех уголков Сибири, и даже из Европейской части СССР. Здесь успешно лечили заболевания периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата и кожные заболевания [12]. К сожалению, экономические трудности последних лет привели к почти полному разрушению инфраструктуры курорта. Остается выразить надежду, что местные власти обратят своё внимание на уникальный природный объект – Былыринское месторождение термальных вод.

*Обследование автора – 15.07.2008 г.: Источник (фото 5) – Температура воды 39 °С при температуре воздуха +13 °С. Дебит 2,4 л/с.*

*Изливающая скважина 2/67* (остальные скважины разрушены, и сток из них не осуществляется) – Температура воды 41,5 °С при температуре воздуха +13 °С. Дебит 1,9 л/с.



Фото 5 Источник Былыра (фото И.Г. Крюковой)

Былыринские термы относятся к типу гидрокарбонатных натриевых акратотерм с повышенным содержанием фтора и кремнекислоты. В газовом составе преобладает азот. По данным А.Б. Авдеевой (гидрогеологическая экспедиция «Геоминвод») содержание радона достигает 666 Бк/л.

16. **Талачинский** (Россия). М-49-80. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен на правом берегу р. Талача (правый приток р. Былыра), в 4 км от устья. Выход из палеозойских гранитов. В литературе об этом источнике имеются противоречивые сведения. Одни авторы: [23; 72; 79] относят его к термальным, приводя значения температуры воды от 14 до 20 °С. Данные из монографии [72]: Температура воды 14 °С. Содержание радона 8 эман. Другие авторы: [18; 74] считают этот источник холодным, не приводя, однако его температурные значения. Данные из [18]: Источник восходящий, имеет 3 выхода на поверхность, расположенных на расстоянии 30-50 м друг от друга. Дебит 1,8 л/с. Вода холодная с кисловатым вкусом и резким запахом сероводорода. Населением используется для лечения. Подтверждение версии о холодном характере Талачинского источника можно найти в великолепном живописном повествовании В.И. Сажина [94], где дается значение температуры воды 1 °С. *Обследование автора 24.04.2010 г.* (фото 6): Температура воды основного источника 12,8 °С при температуре воздуха минус

7,5 °С. Этот источник, судя по значению температуры воды, можно отнести к термам.



Фото 6 Источник Талачинский

25. **Хотхон** (Монголия). М-48-108. Находится на территории Селенгинского аймака. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Находится в 8 км от устья р. Хотхон, правого притока р. Шарлан-гол, которая, в свою очередь, является правым притоком р. Ероо. Это дикий горно-таежный район Хэнтэя, доступный только для конно-верхового транспорта. Склоны долины р. Хотхон сложены гранитами условно герцинского возраста. Источник вытекает непосредственно из гранитов у подножия правого склона долины в 30 м от русла реки на высоте около 3 м над её урезом. Вода поступает главным образом по трещинам северо-восточного направления, а наиболее концентрированные струи отмечены на сопряжении трещин северо-восточного и северо-западного простирания. На протяжении около 100 м вдоль склона имеется несколько таких выходов. Суммарный дебит источника 1,7 л/с. Вода прозрачная, не газирует, без запаха и вкуса. Никаких отложений и налетов при выходе на поверхность не образует. Обследование 11.07.1946 г.: Температура воды 15,7 °С при температуре воздуха +25 °С. Вода используется для ванн (с предварительным подогревом), а также для питья при желудочных заболеваниях.

От гидротерм Ероо воды источника Хотхон отличаются значительно бóльшим содержанием щелочноземельных металлов, меньшим содержанием кремнекислоты, отсутствием сероводорода и более низкой температурой. Это

может быть объяснено значительно меньшей глубиной формирования вод источника Хотхон или разбавлением глубоких вод типа Ероо холодными очень слабо минерализованными гидрокарбонатными кальциевыми водами верхней зоны трещин выветривания. К сожалению, в распоряжении диссертанта нет информации об исследованиях этого источника в последующие годы.

27. **Ероо** (Монголия). М-48-108. Находится на границе сомона Мандал Селенгинского аймака и сомона Эрдэнэ Центрального аймака. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Источник расположен на северо-западном склоне Хэнтэйского хребта, в 150 км к северу – северо-востоку от г. Улан-Батор, в труднодоступной горно-таёжной местности, на левом берегу р. Ара-Ичильхэ (левый исток р. Ероо). Впервые источник описал П.С. Михно (1902). Он зафиксировал температуру воды в 10 ваннах от 35,8 °С до 42,5 °С, а также упомянул о двух ключах с холодной водой, расположенных в 400 м от выхода гидротерм, воду которых тоже использовали для лечения. М.А. Усов, посетив источник в 1915 г., отметил, что на данном участке реки происходит интенсивный эрозионный врез, поэтому накопления отложений не происходит и горячая вода вытекает из трещин неразмытого гранита. Он привел значение температуры воды 43 °С. В.А. Смирнов [97] зафиксировал величины температур из 5 выходов от 35,7 до 42,5 °С. Обследование В.Н. Попова (18-20.07.1946 г.): Источник разгружается у уреза воды на левом берегу р. Ара-Ичильхэ, в 12 км от слияния с р. Шарлунг (правый исток р. Ероо). Долина р. Ара-Ичильхэ глубоко врезана в толщу гранитоидов, прорывающих метаморфические породы (сланцы, гнейсы) среднего палеозоя, а возможно и более древнего возраста. Источник с минеральной водой вытекает непосредственно из гранитоидов и приурочен к зоне пересечения трещин северо-восточного и широтного простирания. Все 5 выходов термальной воды (исключая небольшие струйки, разгружающиеся непосредственно в русле реки) стекают в ванный корпус, расположенный в 4-5 м от уреза реки. Вода бесцветная, прозрачная, со слабым запахом сероводорода, довольно интенсивно газирует. Суммарный дебит около 3 л/сек. Температура воды в выходах: №1 – 42,8 °С; №2 – 43,0 °С; №3 – 42,0 °С; №4 – 38,8 °С; №5 –



40,6 °С. Содержание радона 76,45 эман. Формула химического состава воды из источника №2:

$$pH > 8,45; \quad M_{0,28} \frac{(HCO_3 + CO_3)54 \quad SO_4 29 \quad Cl 17}{(Na+K)95 \quad Ca 5} \quad H_2SiO_3 - 79,3 \text{ мг/л}; \quad H_2S - 5,0 \text{ мг/л}$$

Необходимо отметить, что в то время определение такого важного компонента состава термальных вод, как фтор, не производилось (прим. авт.). Источник известен с давних времен, хотя и расположен в труднодоступной в летний период горно-таёжной местности. В 1932-33 г.г. Минздрав МНР организовал здесь примитивный курорт, а ванный корпус существовал ещё со времён посещения объекта П.С. Михно в 1902 г. Лечение проходит без квалифицированного медицинского наблюдения с середины декабря до середины марта. В это время устанавливается санный путь и проезд по льду рек Ероо и Ара-Ичильхэ. За этот период успевают отдохнуть 300-400 человек. Лечат в основном ревматические и кожные заболевания. Обследование Б.И. Писарского (21.08.1987г.) [83]: Температура воды 43,5 °С. В газовом составе преобладает азот. Формула химического состава:

$$pH 8,3; \quad M_{0,347} \frac{(HCO_3 + CO_3)45 \quad SO_4 22 \quad F 18 \quad Cl 16}{(Na+K)97 \quad Ca 3} \quad H_4SiO_4 - 112 \text{ мг/л}$$

*Обследование автора 18-19.08.2011 г.:* Источник представляет собой 4 основных выхода, каптированных камнями (фото 7), и нескольких струек, разгружающихся в русло реки.



Фото 7 Источник Ероо (фото И.Г. Крюковой)

Температура воды в выходах: №1 – 42,8 °С; №2 (питьевой) – 41,3 °С; №3 – 41,7 °С; №4 – 40,8 °С при температуре воздуха 27,5 °С. Суммарный дебит около 6,5 л/с. Из инфраструктуры остались лишь развалины здания в  $\approx 100$  м от выходов источника, а интенсивно функционировавший курорт, к которому в последние десятилетия можно было добраться на автомобиле, в настоящее время эксплуатируется слабо, так как в результате сильных пожаров 2008 г. сгорел мост через р. Ероо. Тем не менее, местность Ероо можно считать весьма перспективным объектом, учитывая относительную близость к железной дороге.

На правом склоне долины р. Ара-Ичильхэ, на высоте 150-200 м. от уреза, из гранитов вытекает небольшой пресный родник с температурой воды 2,5 °С. Формула химического состава:

$$\text{pH } 6,7; \text{ CO}_2 - 11 \text{ мг/л} \quad M_{0,064} \frac{\text{HCO}_3 83 \text{ SO}_4 8 \text{ Cl } 8}{(\text{Ca} + \text{Mg}) 69 (\text{Na} + \text{K}) 25 \text{ Fe } 6} \quad \text{H}_2\text{SiO}_3 - 32,5 \text{ мг/л}$$

Термы Ероо по химическому составу сходны с Былыринским источником, отличаясь от последних повышенным содержанием сульфатов.

28. **Естий** (Монголия). М-48-132. Находится на территории Центрального аймака. Описание О. Намнандоржа [124] (обследование 14.06.1957 г.): Источник расположен в долине правого притока р. Естий-гол (система р. Ероо), в 5 км от его устья. Местность очень труднодоступная, находится в самом центре Хэнтэйской горной страны. Представляет собой два выхода на разных берегах реки, примерно в 100 м ниже по течению выходят ещё 7 небольших дериватов. Разгрузка происходит на контакте гранитоидов с осадочными породами, заполняющими впадину. Вода с небольшим запахом сероводорода. Температура воды 34 °С при температуре воздуха +15,2 °С. Сооружена примитивная ванна, а дериваты (по словам местных жителей) используются для питья и лечения глаз. Местное население лечится здесь ещё с XVII в. (нервные заболевания, болезни сердца, дерматозы и др.). Отметим, что определение фтора, являющегося важным компонентом состава термальных вод, в то время не производилось (прим. авт.).

По составу термы источника Естий сходны с водами Халуун-ус аршана (Ононские горячие воды). *Обследование автора 1-2.08.2010 г.*: Источник выходит в днище заболоченной долины ручья, по обоим его берегам. Территория

облагорожена, построен дацан. Над 2-мя основными выходами установлены срубы на 3 и 1 ванны (фото 8).



Фото 8 Источник Естий (фото И.Г. Крюковой)

Суммарный дебит основных выходов составил (визуально) около 2,5 л/с. Температура воды в корпусах 35,3 и 27,2 °С соответственно, при температуре воздуха +17 °С. В ваннах наблюдается интенсивное выделение газа.

**Халуун-Ус (Ононские горячие источники)** (Монголия). М-49-111. Находятся на территории сомона Батширэт Хэнтэйского аймака.

36. **Их-Онон** («Их» в переводе с монгольского означает «большой»). Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Источник расположен на левом берегу р. Онон. Левобережная пойма сухая, шириной 100-120 м. Правобережная пойма значительно шире (до 1 км) и заболочена, что связано с развитием здесь многолетнемерзлых пород, которые отсутствуют на левом берегу, в месте выхода гидротерм. Источник связан с зоной пересечения разломов, один из которых имеет субширотное направление и совпадает с долиной р. Онон, а второй проходит вдоль Бага-Аршанской межгорной впадины, вытянутой на северо-восток. Первые крупные тектонические нарушения северо-восточного направления относятся к доюрскому времени. В более позднее время, в частности в киммерийское, зоны тектонических нарушений обновлялись, происходило дальнейшее развитие долины и впадины. В древнечетвертичное время по тем же тектоническим зонам осуществлялись надвиговые и сбросовые перемещения отдельных блоков, о чем свидетельствуют крутые разломы в бортах впадины

Бага-Аршан. В результате новейших тектонических движений, которые сопровождалась глубокими разломами, создались благоприятные условия для формирования и проявления на дневной поверхности термальных вод. Район источника сложен герцинскими гранитами. Выходы термальных вод протягиваются в виде цепочки вдоль уреза левого берега реки. Некоторые из них затапливаются при повышении уровня воды в реке. На расстоянии около 250 м зафиксирован 31 выход. Выходы каптированы, над некоторыми сооружены примитивные домики. М.А. Усов в 1915 г зафиксировал температуру 88 °С. Обследование 8.09.1947 г.: Температура воды 91,5 °С. Присутствует сероводород. Источник пользуется большой популярностью. Зимой (в летнее время болотистая местность практически не проходима) сюда съезжаются больные из самых отдаленных районов страны. Описание О. Намнандоржа [124]: Обследование 3.12.1958 г. В месте выхода гидротерм построены домики почти одного размера (3x4 м, высотой 2 м). В этих домиках находятся 25 выходов, каптированных колодцами-ваннами. Размер ванн 2x2 м, глубина 40-60 см. Температура воды от 14 до 77 °С при температуре воздуха минус 5 °С. Суммарный дебит 20 л/сек. Санитарное состояние района выходов гидротерм неблагоприятное, т.к. отдыхающие привязывают коней в непосредственной близости от ванн. Кроме этого, в ванны бросают одежду, кости, монеты и т.д. В старинных летописях упоминается, что здесь принимал ванны сам Чингис-Хан. Многие выходы источника имеют собственные названия (по именам известных людей, принимавших там лечение). После прохождения лечения на данных термах происходит улучшение у больных с ревматизмом, неврологическими заболеваниями, болезнями почек, экземой.

*Обследование автора 27-28.03.2007 г.:* Вдоль левого берега зафиксировано 22 каптированных выхода, над 9 из которых сооружены домики (фото 9). Кроме того, на дне русла также есть ряд небольших грифонов, хорошо маркирующихся характерными зелеными термофильными водорослями.

На высокой террасе левого берега расположен дом, в котором могут одновременно разместиться до 60 отдыхающих после ванн людей.



Фото 9 Источник Их-Онон (фото П.С. Бадминова)

Поверхностный сток в р. Онон практически отсутствовал из-за зимнего истощения, выше и ниже участка выхода гидротерм русло было заполнено наледным льдом, а в месте разгрузки термальных вод наблюдалась открытая водная поверхность, образовавшаяся в результате расплавления промороженного аллювия горячими водами. Видимый на поверхности дебит гидротерм, измеренный с помощью гидрометрической вертушки, составил 1,4 л/с. Действительный объем разгрузки термальных вод, естественно, больше, так как происходит их инфильтрация в рыхлые отложения. Температура воды в выходах от 15 до 86 °С. Отмечено, что выходы гидротерм имеются и у правого берега реки. По-видимому, исследователи прошлых лет не заметили их, так как разгрузка происходит непосредственно в дно русла, и большую часть года восходящие грифоны залиты речными водами. Наибольшая температура правобережных дериватов составила 11 °С при температуре воздуха минус 5 °С. Формула химического состава:

$$\text{pH } 6,7 \quad M_{0,121} \frac{HCO_3 85 \text{ Cl } 5 \text{ F } 5 \text{ SO}_4 4 \text{ NO}_3 1}{Ca 50 (Na+K) 33 \text{ Mg } 17} \quad H_4SiO_4 - 46,03 \text{ мг/л}$$

Отчетливо видно резкое различие химического состава этих выходов, вызванное разубоживанием термальных вод холодными водами аллювиальных отложений.

37. **Бага-Онон** («Бага» в переводе с монгольского означает «малый»). Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Источник расположен в 5 км к северо-востоку от источника Их-Онон, на правом берегу р. Бага-Аршан (левый

приток р. Онон), в 1,5 км от устья. Выход минеральной воды приурочен к той же, что и Их-Онон, тектонической зоне в герцинских гранитах. Вода с запахом сероводорода вытекает из гранитной дресвы у подножия правобережной террасы. Дебит небольшой. Обследование 7.09.1947 г.: Температура воды 73 °С. Присутствует сероводород.

**Ононские термальные источники (Халуун-Ус)** представляют собой наиболее высокотемпературный очаг разгрузки термальных вод на Хэнтэй-Даурском своде. По составу они относятся к термам былыринского типа.

### Холодные углекислые воды

1. **Ямаровка** (Россия). М-49-53. Находится на территории Красночико́йского района Забайкальского края. Месторождение холодных углекислых вод приурочено к тектоническому контакту метаморфических пород среднего-верхнего палеозоя (кристаллические сланцы, гнейсы), слагающих южный склон Малханского хребта, с аркозовыми песчаниками средней юры, заполняющими Чикойскую депрессию. По данным [12; 72]: Углекислые минеральные источники выходят на поверхность в долине р. Ямаровка, стекающей с южного склона Малханского хребта. Официальная дата начала функционирования курорта – 1854 г., когда его посетил кяхтинский городской врач П.А. Марцинкевич, давший заключение о высоких лечебных свойствах воды. В 1895 г. курорт был признан общегосударственным, к этому периоду относится создание первого каптажа минеральных источников, строительство небольшого ванного здания, а также начало розлива минеральной воды. Курорт расположен в весьма живописной залесенной горной местности и может по праву считаться одним из красивейших уголков Забайкалья. Лечение показано при расстройствах нервной системы и заболеваниях органов пищеварения. Первые разведочные работы на месторождении проводились в 1893 г. Иркутским горным округом под руководством В.А. Обручева, на основании которых было установлено, что выход минеральных вод связан с тектоническим разломом. В результате работ минеральная вода была выведена на поверхность четырьмя шурфами. В 1933-

37 г.г. гидрогеологические работы на месторождении проводились ЦНИИ курортологии под руководством И.И. Кобозева. Было пробурено более 20 разведочных скважин, часть из которых были переведены в эксплуатационные.

По данным [71] на 1967 г. запасы углекислых вод месторождения составляли: по категории А – 120 м<sup>3</sup>/сут; по категории В – 50 м<sup>3</sup>/сут.

*Обследование автора 18.09.2013 г.:* Инфраструктура курорта находится в запустении. Корпуса полуразрушены. В рабочем состоянии находится только скважина №15 (глубина 230 м), с интермиттирующим режимом излива: «излив» – «покой» по 15 минут (фото 10).



Фото 10 Курорт Ямаровка, современное состояние (фото И.Г. Крюковой)

Температура воды 4,5 °С при температуре воздуха +16 °С. Судя по имеющимся данным, химический состав минеральных вод стабилен во времени.

Скважина оборудована газонакопителем для отбора углекислого газа с целью последующего дополнительного насыщения минеральной воды при розливе, осуществляемом в цехе, принадлежащем частному предпринимателю.

**7. Засуланский** (Россия). М-49-77. Находится на территории Красночикойского района Забайкальского края. Описание Ю.П. Деньгина [29]: Источник выходит по левому ключу р. Засулан, левого притока р. Чикой. Ключ впадает в р. Засулан в 7 км от устья последнего. Выход минеральной воды расположен на левом склоне долины ключа, у основания гранитной скалы. Долина ключа, в которой выходит источник, сложена гранитами. Среди дресвянистых наносов имеется 3 неглубоких ямки с водой, где наблюдается слабое выделение газа. Сток очень слабый. От выходов воды в сторону русла

ключа – заболоченное дно долины, густо поросшей кустарником. Почва вокруг выходов окрашена окислами железа в красно-бурый цвет. Вода без цвета и запаха, приятна на вкус и сильно насыщена углекислотой. 21.08.1930 г. температура воды была 3,6 °С при температуре воздуха +23,5 °С. В составе выделяющегося газа преобладает CO<sub>2</sub> (89 %). В 300 м ниже по долине имеется несколько избушек для приезжающих больных, использующих минеральную воду для питья.

10. **Джилъберийский** (Россия). М-49-91. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен в дне плоского заболоченного (пересыхающего в засушливые годы) верховья р. Зун-Джилъбери, в 18 км к юго-востоку от пос. Букукун. Описание Ю.П. Деньгина [28]: Представляет собой 2 выхода минеральной воды, расположенных в 1 км друг от друга. Обследование 8.10.1928 г.: Северный выход – ямка среди кочек глубиной около 30 см, заполненная водой. Отмечается слабое выделение углекислого газа. Почва вокруг окрашена красно-бурыми окислами. Южный выход – у подножия террасы ряд ямок, заполненных водой, где наблюдается редкое выделение пузырьков газа. Вода в обоих выходах прозрачная, со вкусом углекислоты, стока практически нет. Температура воды в северном выходе 0,5 °С, в южном – 0,7 °С при температуре воздуха +12,5 °С. Коренные склоны долины р. Зун-Джилъбери сложены девонскими песчаниками и филлитовидными сланцами. Выходы источника мигрируют («кочуют»), т.е. меняют местоположение от года к году. Обследование Л.Л. Богдановой, В.М. Степанова (июнь 1956 г.) [72]: Температура воды 0,5-0,7 °С. Содержание радона 34-48 эман. Обследование Л.М. Орловой, А.Н. Складневской (1963) [23]: Температура воды 2 °С. Данный источник представляет собой типичный выход сухих струй углекислого газа, который насыщает близповерхностные воды. В засушливые годы, когда болотистое дно долины высыхает, выходы таких разгружающихся струй зафиксировать не представляется возможным без проведения специальной газохимической съёмки. *Обследование автора 28.06.2012 г.:* Разгрузка воды в правом борту р. Зун-Джилъбери. Газирования и железистых отложений не наблюдается. В потоке



пресной воды выход источника определяется только по привкусу. Температура воды 4,7 °С при температуре воздуха +15 °С.

18. **Мордойский (Бырцинский)** (Россия). М-49-81. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен в пади Мордой, в 3,5 км к северу от автодороги Кыра – Хапчеранга. Вода выходит из аллювия, залегающего на трещиноватых мезозойских гранитах, в районе их контакта с юрскими осадочными отложениями. По данным анализа [73] температура воды 3,0 °С; содержание радона 81 эман; дебит 0,5 л/с. В выделяющемся газе преобладает углекислота – 90 %. Обследование Л.М. Орловой, А.Н. Складьевской в 1963 г. [23]: температура воды 2,0 °С. Удобное расположение поблизости от крупных поселков и автодороги послужило основанием для создания на базе данного источника районного дома отдыха, а также детского оздоровительного лагеря. В засушливые годы выход минеральных вод теряется, так же как на Джильберийском и других углекислых источниках описываемой территории. *Обследование автора – 26.06.2012 г.:* стока в источнике не было. Место выхода картируется охристыми отложениями. Имеется небольшая лужица воды, не имеющей ни привкуса, ни запаха. Газирование отсутствовало. Тем не менее, при полевых определениях содержание растворенной  $\text{CO}_2$  составило 293 мг/л. Температура воды 13 °С (за счет прогрева на солнце) при температуре воздуха +26 °С. *При обследовании автором 30.08.2014 г.* сток в источнике присутствовал (фото 11). Суммарный дебит двух выходов  $\approx 0,1$  л/с.



Фото 11 Источник Мордойский (фото И.Г. Крюковой)

Температура воды 2 °С при температуре воздуха +24 °С. Полевые определения: содержание CO<sub>2</sub> – 2,84 г/л; pH – 5,4; Fe<sub>общ.</sub> – 18,8 мг/л. Источник активно посещается местными жителями, которые берут воду для питья в лечебных целях.

21. **Оргил** (Улан-Батор, Монголия). L-48-10. Находится в г. Улан-Батор, в южной его части. По данным монографии [70]: Углекислая вода была впервые вскрыта в 1932 г. разведочной на воду скважиной на площадке промкомбината, на правом берегу р. Тола, в 350 м от её русла. Водовмещающие породы – песчаники и сланцы среднего палеозоя, перекрытые нерасчлененной толщей глинистых отложений неоген-палеоген-мелового возраста. На левом берегу р. Тола, напротив проявления углекислых вод, возвышается горный массив Богдо-Ула, являющийся южным окончанием Хэнтэя. Этот массив сложен герцинскими гранитоидами, к контакту которых с палеозойскими осадочными породами и приурочено проявление углекислых вод. В 1933 г. по заданию Министерства здравоохранения МНР на базе этих минеральных вод был открыт курорт. Величина запасов углекислых вод составляет 88,9 м<sup>3</sup>/сут [85]. *По последним данным автора 20.09.2012 г.:* Температура воды 4,1 °С. В настоящее время курорт Оргил является крупнейшим курортным учреждением Монголии, предлагающим широкий спектр оздоровительных услуг. В то же время фиксируется устойчивое снижение содержания углекислоты, которая является основным бальнеологическим фактором курорта. В связи с этим необходимо провести комплекс работ по восстановлению гидроминеральной базы.

22. **Ар-Жанчивлин** (Монголия). L-48-12. Находится на территории Центрального аймака. Расположен в 45 км к ЮВ от г. Улан-Батор. Проявление углекислых вод приурочено к тектоническому контакту гранитоидов с палеозойскими осадочными породами. На данном месторождении функционирует курорт, гидроминеральной базой которого является скважина, вскрывшая минеральную воду. *Обследование автора – 09.08.2001 г.:* Дебит скважины 0,17 л/с; температура воды 2,7 °С при температуре воздуха +24 °С; содержание углекислоты 440 мг/л.

23. **Овор-Жанчивлин** (Монголия). L-48-24. Находится на территории Центрального аймака, в 60 км к ЮВ от г. Улан-Батор, в долине небольшого ручья Барун-гол. Район источника сложен гранитоидами, прорывающими песчанико-сланцевую толщу среднего палеозоя. Выход минеральной воды приурочен к сопряжению тектонических зон северо-западного и северо-восточного простирания. При обследовании [70] 20.09.1946 г.: Источник каптирован колодцем и пользуется большой популярностью у населения при лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта. Температура воды 1,5 °С при температуре воздуха +15 °С. Вода по составу гидрокарбонатная кальциевая с минерализацией 0,99 г/л. Содержание свободной углекислоты составило 2,17 г/л. В 1958 г. рядом с вышеупомянутым колодцем была пробурена скважина глубиной 50 м, вскрывшая зону дробления гранитов. Мощность многолетнемерзлых пород составила 33 м. Первый водоносный горизонт был вскрыт на глубине 1,9 м, содержание CO<sub>2</sub> составило 0,6 г/л; второй – на глубине 36 м, напорный, с пьезометрическим уровнем +0,8 м, содержание CO<sub>2</sub> до 2,8 г/л. Вода гидрокарбонатная кальциевая с минерализацией 1,5 г/л. Дебит скважины равнялся 0,195 л/с при понижении уровня 26,15 м. Вода источника Овор-Жанчивлин по химическому и газовому составу относится к широко распространенным в Хэнтэе углекислым водам типа забайкальских дарасунов. На базе минеральных вод был создан курорт. *Обследование автора – 08.08.2001 г.*: близкое расположение курорта к столице Монголии способствует его активному функционированию. Эксплуатируются 2 скважины: одна снабжает питьевой бювет, вторая – цех по розливу воды. Температура воды в питьевой скважине 3,5 °С.

26. **Минж** (Монголия). M-49-97. Находится на территории сомона Мунгун-Морьт Селенгинского аймака. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Холодный углекислый источник расположен в долине р. Убур-Джаргаланту-гол, левого притока р. Минж-гол (на территории России называется р. Менза), в ненаселенной и труднодоступной таежной части Хэнтэя. Долина р. Убур-Джаргаланту-гол глубоко врезана в палеозойские метаморфические породы, прорванные гранитоидами. В месте выхода источника долина круто меняет своё

направление с меридионального на юго-восточное (7-8 км от устья р. Убур-Джаргаланту-гол), что связано, скорее всего, с пересечением зон тектонических нарушений. Участок выхода источника сложен гранитами. Место выхода представляет собой кочковатую заболоченность, по всей поверхности которой выделяются мелкие пузырьки углекислого газа. Отмечены 3 сосредоточенных выхода минеральных вод у подножия левого склона долины р. Убур-Джаргаланту-гол. Вода из этих выходов в виде мелких ручейков поступает в заболоченность, а затем растекается по пойме. При обследовании 13.07.1946 г. суммарный дебит 3-х выходов составил 0,5 л/с. Температура воды в 1 выходе = 2,6 °С; во 2 выходе = 3,4 °С; в 3 выходе = 0,8 °С при температуре воздуха +20,2 °С. Вода прозрачная, исключительно приятная на вкус, кисловатая, с небольшим привкусом железа. Радиоактивность 12,5 ед. Махе.

*Обследование автора – 08.08.2015 г.:* Источник представляет собой 2 сосредоточенных выхода из-под коренного склона (фото 12), примерно в 15 м друг от друга. В 1 выходе происходит интенсивное выделение газа, сток осуществляется в заболоченную пойму ручья. Выход 2 в виде сосредоточенной струи, видимого выделения газа не наблюдается. Вода очень приятная на вкус. Температура воды в обоих выходах 1,4 °С при температуре воздуха +25 °С.



Фото 12 Источник Минж (фото И.Г. Крюковой)

Источник, несмотря на исключительную труднодоступность, издавна пользуется большой популярностью у местных жителей и применяется для лечения желудочных и некоторых ревматических заболеваний. Воду источника

употребляют не только для питья, но и, после подогрева, для принятия ванн. Зимой источник замерзает, образуя наледный бугор. Как и остальные холодные углекислые источники территории, Минж меняет место своего выхода («кочует») от года к году, что связано с условиями увлажнения и промерзания конкретных лет. Вода данного источника является аналогом углекислых вод Забайкалья: Дарасун, Ямаровка, Шиванда и др.

33. **Баруун байдлиг** (Монголия). L-49-1. Находится в 25 км к СВ от сомона Баяндэлгэр Центрального аймака, в долине р. Баруун байдлиг. По данным из монографии [124] 26.08.1958 г. температура воды 4 °С при температуре воздуха +29 °С.

34. **Бурх** (синоним – Сучжи) (Монголия). M-49-134. Находится на территории сомона Мунгун-Морьт Центрального аймака, в 1 км к юго-востоку от центра сомона. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Колодец, вскрывший холодную углекислую воду, находится на правом борту долины р. Керулен, примерно в 10 км от её русла и в 2,5 км от подножия коренного склона, сложенного гранитами. К этому подножию примыкают несколько полого спускающихся в юго-восточном направлении (к днищу долины р. Керулен) увалов, сложенных рыхлыми конгломератами. Они разделены долинами правых притоков р. Керулен. Аршан Бурх (Сучжи) расположен между двумя такими увалами, в устье долины р. Бурхийн-гол, правого притока р. Керулен. Колодец-источник расположен в 1 км от русла р. Сучжи-гол, которая является правым рукавом р. Бурхийн-гол. В месте расположения колодца верхняя часть геологического разреза представлена четвертичными аллювиальными отложениями. Осадочная толща в долине р. Керулен залегает на размытой поверхности гранитов. Возраст осадочных образований от нижнего мела до палеогена. Выходы минеральных вод здесь приурочены к кайнозойским разломам меридионального и северо-восточного направлений. Глубина колодца 1,6 м. На дату обследования (18.06.1945 г.) на дне колодца лежал лёд, сохранившийся после зимы. Слой воды надо льдом 8-10 см, вода бесцветная, прозрачная, без запаха,

кислая на вкус. Отмечено газирование. Температура воды 1,5 °С при температуре воздуха +19 °С.

Формирование минеральных вод данного источника происходит за счет насыщения аллювиальных вод выделяющимся из недр углекислым газом. По словам местных жителей, в период летних паводков, когда окрестные понижения земной поверхности заполнены водой, выделение газа отмечается во многих местах. Аршан Бурх (Сучжи) является аналогом забайкальских дарасунов. По содержанию свободной углекислоты он занимает одно из первых мест на описываемой территории. Источник пользуется большой популярностью у местного населения, которое использует его для питья при лечении желудочных заболеваний. По описанию этого источника О. Намнандоржем [124]: Обследование 3.06.1957 г. Имеется 3 колодца, глубиной от 1 до 1,5 м в 50-60 м друг от друга. Опробован северо-западный колодец, глубиной 1 м. Температура воды 1 °С при температуре воздуха +18 °С. Дебит 0,03 л/с. Источник замерзает в конце октября, оттаивает в конце мая, целебную «силу» приобретает с начала июня. Если в течение лета выпадает мало осадков, в августе становится наиболее «сильным». Место расположения этого источника вполне благоприятно для организации здесь санаторно-курортного лечения. Наличие минеральных вод с очень высоким содержанием углекислоты (в количествах, позволяющих добывать её в промышленных масштабах) сочетается здесь с живописной горно-лесостепной местностью и легкой доступностью для всех видов колесного транспорта.

**35. Бурх рашаан нуур** (Монголия). М-49-134. Находится на территории сомона Мунгун-Морьт Центрального аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Источник разгружается в дне озера круглой формы, диаметром около 150 м, которое расположено в правобережной части долины р. Барун-Бурхийн-гол, примерно в 5 км от её устья, в 2 км к западу от русла. В озере происходит интенсивное выделение углекислого газа, вода бурлит как кипяток. Из-за постоянного бурления вода мутная, взвесь красно-желтого цвета. Из озера вытекает ручеек. Вода имеет очень кислый вкус и привкус железа. Зимой здесь

образуется наледный бугор, который периодически взрывается с большой силой, разбрасывая куски льда и почвы на 300-400 м. Кости павших домашних животных, пролежав некоторое время в воде этого минерального озера, приобретают красный цвет.

38. **Тарс** (Монголия). М-49-111. Находится на территории сомона Батширэт Хэнтэйского аймака. Расположен в долине р. Дзун-Тарсын-гол (правый приток р. Онон), в устье правого притока руч. Цаган-Гунутай. Описание О. Намнандоржа [124]: Кислый холодный источник, труднодоступен в летнее время из-за болот. Выход из-под берега ручья, периодически затапливается паводковыми водами. В периоды высокой водности вода теряет вкус из-за сильного разбавления, а зимой, после замерзания рек, газонасыщенность резко возрастает. Считается, что вода излечивает множество болезней (в т.ч. туберкулез), и даже обладает глистогонным свойством. Отдыхающие приезжают в основном ранней весной (март–начало апреля) и поздней осенью (октябрь–ноябрь). В это время проходимость дорог лучше, вода имеет достаточную «целебную силу», и в то же время нет сильных морозов. Вода прозрачная, очень кислая на вкус и имеет привкус железа. Сильно газирует. На камнях отложения коричневого цвета. Дебит 0,5 л/с. Источник является аналогом забайкальских дарасунов. *Обследование автора – 28.03.2007 г.:* Выход скрыт под наледью, лед бурого цвета, мощность льда 1 м. Из пробуренной лунки наблюдается интенсивное выделение пузырей газа (фото 13). Температура воды 0,1 °С при температуре воздуха минус 17 °С.

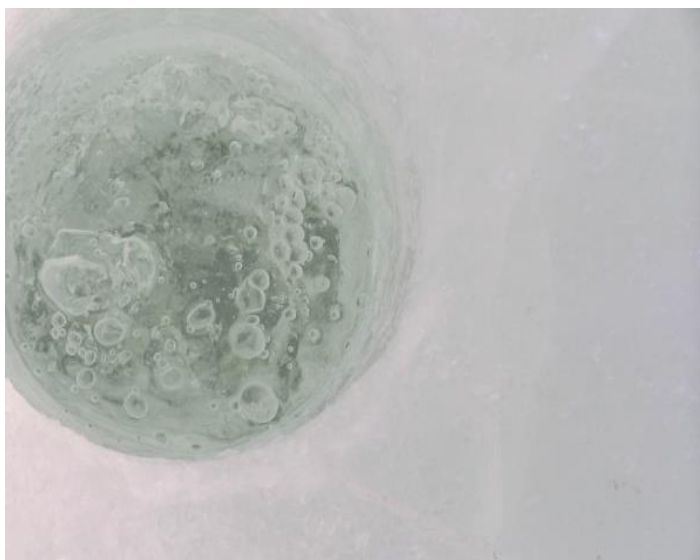


Фото 13 Источник Тарс

39. **Хужир-Нуга** (синоним Верхне-Ононский) (Монголия). М-49-100. Находится на территории Хэнтэйского аймака, в непосредственной близости от границы с Россией (на расстоянии менее 1 км). Описание Ю.П. Деньгина [28]: Выход минеральной воды находится среди торфяника у основания первой террасы левого борта широкой долины р. Онон. Источник приурочен к зоне тектонического разлома в гранитах. Источник меняет место выхода. На небольшой площадке (около 100 м<sup>2</sup>) имеется 5 ямок. Почва около ямок окрашена окислами железа в красно-бурый цвет. Зимой источник замерзает и оттаивает только в конце июля, середине августа, когда начинается газирование. В момент обследования (21.07.1929 г.) источник слабо протекал, газ не выделялся. Мерзлота была зафиксирована на глубине 30 см. Вода, даже без видимых пузырей, имеет сильный привкус углекислоты. Температура воды равнялась 4 °С при температуре воздуха +20 °С. Выделение спонтанного газа началось лишь в 20-х числах августа. Анализ пробы газа показал преобладание в нем углекислоты. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70] (ссылка на П.И. Налетова, И.Д. Помазкова и М.А. Анпилова): Вода прозрачная, приятная на вкус. 7.08.1943 г. температура воды была 7 °С при температуре воздуха +16 °С. Дебит (визуально) не более 1-2 л/сек. Выделяется газ. Источник не каптирован и не используется. Эти же авторы приводят сведения ещё о 3 холодных углекислых источниках, приуроченных к гранитам: 1 – в 3 км к ЮВ от источника Хужир-Нуга, в 1-1,5 км от устья р. Их-Дзэлэнд (правый приток р. Онон), у подножия правого склона долины; 2 – примерно в 15 км к ЮВ от источника Хужир-Нуга, на левом берегу р. Онон, недалеко от устья р. Хаслаг-гол; 3 – около 20 км от источника Хужир-Нуга, в верхней части долины р. Гун-Тал-Хан, левого притока р. Онон. При обследовании источника Хужир-Нуга А.Д. Канищевым (1963 г.) [23] температура воды составила 4 °С.

40. **Ар-Арангат** (Монголия). М-49-113. Находится на территории сомона Батширэт Хэнтэйского аймака. Расположен в южной части пади Арангат, в 1 км от её русла. Описание О. Намнандоржа [124]: Выход из очень мелкого песка белого цвета, под которым залегают более темные отложения. Функционируют с



конца мая до августа. Вода надмерзлотная, поэтому имеет очень низкую температуру, равную 0,4 °С при температуре воздуха +22 °С (27.06.1958 г.). Вода кислая на вкус, с непрерывным интенсивным газированием. Это один из самых кислых источников Монголии, содержание свободной углекислоты – 3,91 г/л. Дебит – 2,5 л/с.

42. **Энгэрбулаг** (Монголия). М-49-124. Находится на территории сомона Цэнхэрмандал Хэнтэйского аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Находится в верховьях р. Дзун-Жаргалантын-гол. Используется местным населением для лечения. Обследование 12.10.1959 г.: дебит не менее 2 л/с. *Обследование автора – 28.08.1989 г.*: Источник имеет 2 выхода в днище небольшого распада, врезанного в южный склон горы Сэруун, и приурочен к контакту гранитоидов с известняками. Основной выход представляет собой ямку диаметром 40 см, глубиной 20 см, из которой вытекает ручеек с дебитом менее 0,1 л/с. Температура воды 2 °С при температуре воздуха +13 °С. Второй выход – мочажина с температурой воды 7 °С (скорее всего от прогрева на солнце). Вода прозрачная, без цвета, вкуса и запаха. Пузырьков газа не наблюдается. Отдыхающих в день обследования не было, но возле выходов сооружено обо и лежит алюминиевая кружка. Данные этих двух обследований, проведенных в интервале 30 лет, свидетельствуют об изменчивости, как ресурсов (дебита) минеральной воды, так и её состава. Необходимость проведения дополнительных исследований сомнения не вызывает.

43. **Оворэлгэн** (Монголия). М-49-135. Находится на территории сомона Омнодэлгэр Хэнтэйского аймака. По данным Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Источник приурочен к краевым частям гранитного массива, прорывающего толщу сланцев. Описание О. Намнандоржа [124]: расположен на левом берегу р. Оворэлгэн-гол (левый приток р. Хурх-гол), в 400 м от русла. Выход в болоте в виде струек углекислого газа, насыщающих поверхностные воды. Поверхность болота в месте выходов струй покрыта железистыми отложениями кирпичного цвета. Вода кислая на вкус. Дебит определить невозможно из-за отсутствия поверхностного стока. Вода используется для питья в лечебных целях.

Обследование 10.10.1959 г.: Температура воды 4 °С при температуре воздуха +5 °С. *Обследование автора – 23.08.1989 г.:* Температура воды 7 °С при температуре воздуха +22,5 °С. Места выхода мигрируют год от года.

44. **Бор-Хурга** (Монголия). L-49-3. Находится в 30 км от сомона Цэнхэрмандал Хэнтэйского аймака, в верховьях р. Цэнхэр-гол. *Обследование автора 23.08.1989 г.:* Источник представляет собой несколько небольших выходов среди кочковатого, заболоченного луга. Основной выход – ямка глубиной 0,3 м, диаметром 0,5 м. Вода в ямке из-за постоянного газирования мутная, имеет приятный вкус углекислоты. Дебит источника очень мал, менее 0,1 л/с. Между кочек заболоченности также наблюдается газирование, сопровождающееся шипением. Температура воды 6,5 °С при температуре воздуха +16,5 °С. По словам местных жителей, зимой на месте источника образуется наледь, из-под которой слышится шипение выделяющегося газа. Вода источника используется для питья. Авторы монографии [70] со ссылкой на Б.М. Куплетского отмечают, что выход данного источника приурочен к краевым частям андезитобазальтового покрова, лежащего на массиве биотитового гранита.

45. **Зурт** (Монголия). L-49-4. Находится в 10 км к З от сомона Омнодэлгэр Хэнтэйского аймака. *Обследование автора – 22.08.1989 г.:* Источник расположен у подножия горного склона, в пределах конуса выноса, образованного реками Средний Зурт и Баруун Зурт. Основной выход – воронка глубиной 1 м, диаметром 7 м, окруженная болотной растительностью. В воде отмечается интенсивное выделение газа. На поверхности воды – маслянистая пленка соединений железа, на дне – налет красноватого цвета. Вода имеет приятный привкус углекислоты. Из воронки вытекает ручеек, подпитывающий небольшое болотце, приуроченное к полю многолетнемерзлых пород. Температура воды 6 °С при температуре воздуха +22 °С. Выход, для защиты от скота, окружен изгородью, диаметром около 30 м. Кроме основного выхода имеется еще несколько ямок с водой, где выделяется газ и отмечаются охристые отложения. Суммарный дебит источника 1,5 л/с. Авторы монографии [70], со ссылкой на Б.М. Куплетского, отмечают, что склон горной гряды, у подножия которого расположен источник, сложен осадочно-

метаморфическими породами среднего палеозоя, прорванными герцинскими гранитоидами. Днище выполнено эффузивами, возраст которых старше юрского.

46. **Урт** (Монголия). L-49-15. Находится в 10 км к СЗ от сомона Джаргалантхан Хэнтэйского аймака. *Обследование автора – 21.08.1989 г.:* Источник располагается на правом борту долины р. Уртын-гол, в 100 м от её русла. Выход мочажинного типа, среди кочковатого болота (поле многолетнемерзлых пород). Представляет собой ряд небольших (диаметром не более 1 м) ямок с водой, в которых наблюдается выделение пузырьков газа. Вода прозрачная, без цвета и запаха, с приятным привкусом уголекислоты. Общий диаметр места выхода минеральных вод около 30 м. Дебит около 0,1-0,2 л/с. По словам местных жителей выход мигрирует от года к году в пределах мерзлотного поля. Горная гряда, у подножия которой расположен источник, сложена гранитоидами мезозойского возраста. Вдоль долины проходит зона тектонического нарушения. Температура воды 1,5 °С при температуре воздуха +19 °С. Вода источника используется населением для лечения заболеваний органов пищеварения.

47. **Шийр** (Монголия). L-49-16. Находится в 7 км к югу от сомона Джаргалантхан Хэнтэйского аймака. *Обследование автора – 21.08.1989 г.:* Окружающая местность – слабо всхолмленная степь. Источник приурочен к осадочно-метаморфическим породам (сероцветные глинистые сланцы). Выход воды у подножия левого борта долины р. Шийр-гол. Диаметр выхода около 15 м, из него вытекает ручеек, впадающий в болото. Дебит этого ручья 3 л/с. В воронке выхода наблюдаются многочисленные выделение газа, сопровождающегося с характерным шипением. Вода прозрачная, без цвета и запаха, с приятным привкусом уголекислоты. Температура воды 1 °С при температуре воздуха +12 °С. Источник не каптирован и не огорожен от домашних животных, которые загрязняют прилегающую местность. По данным [70] выход минеральных вод приурочен к пересечению зон тектонических нарушений северо-западного и северо-восточного простирания.

48. **Дашлинг** (Монголия). L-49-17. Находится в 15 км к западу от сомона Мурэн Хэнтэйского аймака. *Обследование автора – 02.08.2001 г.:* Выход в родниковой воронке диаметром около 40 м. Среди кочковатой заболоченности отмечаются лужицы воды, в которых происходит интенсивное газирование. Из воронки вытекает ручеек с дебитом 0,3 л/с. Дно двух ямок с минеральной водой выложено камнями. Вода прозрачная, с привкусом углекислоты. Температура воды 17,5 °С (явный прогрев на солнце) при температуре воздуха +24 °С. Выход огорожен изгородью от скота. По данным авторов монографии [70] источник приурочен к тектоническому контакту осадочных пород мел-палеогена (конгломераты, песчаники, глины) с герцинскими гранитами, где отмечается пересечение зон нарушений северо-западного и северо-восточного направлений.

49. **Улан-Булаг** (Монголия). L-49-5. Находится в 35 км к Востоку от сомона Омнодэлгэр Хэнтэйского аймака. При обследовании О. Намнандоржа 02.08.1958 г. [124]: Температура воды 3 °С при температуре воздуха +18 °С.

50. **Зос** (Монголия). L-49-7. Находится в 10 км к СВ от г. Бэрх Хэнтэйского аймака. *Обследование автора – 11.09.1989 г.:* Источник, состоящий из 3 выходов, расположен среди кочковатого болота в долине р. Зос, в 300 м от подножия её правого борта. Основной выход представляет собой яму диаметром 0,5 м и глубиной 0,45 м, обложенную камнями. Рядом сооружено обо. Поверхностного стока из ямок нет, по-видимому, вода фильтруется через торфяные отложения. Склон долины в створе выхода сложен эффузивными породами. Наблюдается непрерывное выделение пузырьков газа. Вода прозрачная, без запаха, с приятным привкусом углекислоты. Температура воды 12,5 °С (явный прогрев на солнце) при температуре воздуха +21 °С, рН =5,9. К сожалению, пробу воды, отобранную во время обследования, сохранить не удалось, поэтому в сводной таблице приведены данные из монографии [124].

51. **Шахта Бэрх** (Монголия). L-49-7. Находится в г. Бэрх Хэнтэйского аймака, на участке Дэлгэр-Хан флюоритовой шахты Бэрх. *Обследование автора – 30.07.2001 г.:* Восходящий выход углекислых вод на горизонте 170 м ниже поверхности земли. На полосе выхода длиной около 30 м, расположены грифоны

с интенсивным выделением газа. Отмечаются обильные охристые отложения. Вода с приятным привкусом уголекислоты. Температура воды 7,3 °С при температуре воздуха в забое +6,8 °С. В стенке горной выработки отмечены трещины тектонического происхождения, из чего следует вывод, что данный выход уголекислых вод связан с зоной разлома.

52. **Хутаг-Уул** (Монголия). L-49-6. Находится на территории сомона Идэрмэг Хэнтэйского аймака. При обследовании О. Намнандоржа 01.08.1958 г. [124]: Температура воды 3 °С при температуре воздуха +20 °С.

53. **Овор-Арангат** (Монголия). M-49-126. Находится на территории сомона Баян-Адрага Хэнтэйского аймака. Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова [70]: Источник расположен в долине р. Арангат-гол, правого притока р. Онон. Минеральная вода вытекает в болотистой низине. Вода уголекислая, с сильным привкусом железа. Выход приурочен к контакту базальтов с рыхлыми четвертичными отложениями, выполняющими долину р. Арангат-гол. Правый коренной склон долины сложен осадочно-метаморфическими породами среднего палеозоя, представленными преимущественно кристаллическими сланцами и известняками. Возраст эффузивов предполагается верхнемеловым-третичным. Место, газирующее уголекислым газом, представляет собой кочковатую торфянистую заболоченность диаметром около 50 м, без поверхностного стока воды. Заболоченность расположена на левом берегу р. Арангат-гол, в 150 м от её русла, у северо-восточного подножия сопки, сложенной базальтами (гора Арангат-обо). Во многих точках заболоченности наблюдаются выходы CO<sub>2</sub> как в ямках с водой, так и сухие струи, выделяющиеся с шипением. Поверхность заболоченности покрыта железистыми налетами ржавого цвета. Территория сильно загрязнена пасущимся скотом. Зимой при замерзании образуется наледный бугор. Опробование 17.10.1946 г.: Температура воды 5,2 °С при температуре воздуха +16,8 °С. *Обследование автора – 1.09.1989 г.:* Температура воды 0,5 °С при температуре воздуха +19 °С. Источник приурочен к полю развития многолетнемерзлых пород, поэтому вода имеет такую низкую температуру. По-видимому, величину температуры, приводимую Н.А.

Мариновым и В.Н. Поповым [70] следует считать завышенной, скорее всего, из-за прогрева на солнце. Такое несоответствие служит дополнительной иллюстрацией того факта, что углекислые источники на описываемой территории представляют собой «сухие» струи  $\text{CO}_2$ , насыщающие поверхностные воды. Дебит таких источников определить практически невозможно, так как видимый сток отсутствует. По сообщению монгольских коллег при обследовании летом 2009 г. место выхода источника было сухим.

54. **Замт** (Монголия). М-49-128. Находится на территории сомона Норовлин Хэнтэйского аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Источник расположен на правом борту долины р. Замт. Выход из-под скалы серого цвета, вокруг которой местность заболочена. Возле места выхода растут берёзы. Из-за болота на машине к источнику подъехать невозможно. Жилья поблизости нет. Вода используется для питья в лечебных целях. Имеет горький привкус. При обследовании 4.08.1958 г. температура воды была  $3\text{ }^\circ\text{C}$  при температуре воздуха  $+24\text{ }^\circ\text{C}$ . Дебит 1 л/с.

56. **Эрэн** (Монголия). М-49-93. Находится на территории сомона Баянуул Дорнодского аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Находится к востоку от р. Ар-Эрэн-гол (правый приток р. Онон). Окружающая местность – березовый лес. Выход с очень малым дебитом (около 0,2 л/с) образует ручей, который через 150 м впадает в реку. Вода имеет кисловатый вкус. По химическому составу она аналогична забайкальским дарасунам. Обследование 8.08.1958 г.: Температура воды  $1\text{ }^\circ\text{C}$  при температуре воздуха  $+19\text{ }^\circ\text{C}$ . Местное население использует воду для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта.

### **Холодные воды с повышенным содержанием сероводорода**

5. **Солонцовский** (Россия). М-49-66. Находится на территории Красночико́йского района Забайкальского края. Расположен в долине р. Солонцовая (левый приток р. Чикой), в 52 км к юго-востоку от с. Черемхово. По данным авторов монографии [72] источник холодный, слабо сероводородный.

9. **Ендинский** (Россия). М-49-90. Находится на территории Сохондинского государственного природного биосферного заповедника, расположенного в Кыринском районе Забайкальского края. Выход расположен на левом склоне долины р. Енда, в 8 км от одноименного кордона вверх по течению реки. У И.А. Багашева [6] упоминается под названием Хашеталанский. *Обследование автора – 12.07.2008*: Источник представляет собой нисходящий ручеек, вытекающий из трещин коренного склона, сложенного гранитами, на высоте около 15 м над



урезом р. Енда (фото 14). Дебит, измеренный объёмным способом, составил 0,03 л/с. Температура воды 6,3 °С при температуре воздуха +18 °С.

Фото 14 Источник Ендинский (фото И.Г. Крюковой)

Вода бесцветная, прозрачная, со слабым запахом и привкусом сероводорода. Своеобразный химический состав воды источника, в частности повышенное содержание хлора, привлекает множество диких копытных животных.

15. **Нижний Салбартуй** (Россия). М-49-68. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Источник расположен на окраине пос. Надёжный, у автодороги п. Кыра-курорт Былыра, на левом склоне долины р. Нижний Салбартуй. Выходит из гранитов мезозойского возраста. По данным авторов монографии [72] содержание радона 86 эман. *Обследование автора – 15.07.2008 г.*: Температура воды 6,1 °С при температуре воздуха +15,5 °С. Дебит незначительный, менее 0,05 л/с. Выход каптирован и над ним сооружена беседка (фото 15). Запах сероводорода ощущается очень слабо.



Фото 15 Источник Нижний Салбартуй (фото И.Г. Крюковой)

Данный источник интересен очень высоким содержанием в воде растворенного гелия, которое на дату обследования составило  $1,90 \times 10^{-1}$  мл/л. Это на 4 порядка превышает величину атмосферного фона, которая равняется  $5,2 \times 10^{-5}$  мл/л, и свидетельствует о приуроченности источника к зоне тектонического нарушения.

20. **Самоизливающая скважина** (Россия). М-49-82. Находится в Кыринском районе Забайкальского края. Расположена в пади Нижний Дылбыркэн, левого борта долины р. Онон, в 8 км к СЗ от с. Мангут и в 50 км к СВ от п. Кыра. *Обследование автора – 29.08.2014 г.:* Оголовок скважины разрушен, но на его месте вырыт колодец, глубиной около 2-х м. Над колодцем сооружен сруб, закрывающийся крышкой. Дебит самоизлива незначительный. Температура воды  $5,4$  °С при температуре воздуха  $+37$  °С. Вода с запахом сероводорода (содержание  $\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^-$  по данным химического анализа составило  $1,1$  мг/л.

24. **Бооролжут** (Монголия). L-49-13. Находится на территории Центрального аймака, в 25 км к СЗ от сомона Баянджаргалан. *Обследование автора – 07.08.2001 г.:* Источник расположен в акватории озера круглой формы, площадью зеркала  $0,2-0,3$  км<sup>2</sup>, примерно в 10 м от берега, каптирован бетонным кольцом диаметром  $0,5$  м. Глубина слоя воды  $\approx 0,5$  м. Температура воды источника  $15,6$  °С, озера  $16,5$  °С при температуре воздуха  $+23$  °С. Вода имеет запах и вкус  $\text{H}_2\text{S}$ . На базе источника функционирует дом отдыха местного значения.



30. **Галдтай** (Монголия). М-49-133. Находится на территории сомона Эрдэнэ Центрального аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Источник находится на левом борту долины р. Галдтай-гол (левый приток р. Тола), примерно в 2-3 км от русла, у подножия отрогов Хэнтэйского хребта. Источник приурочен к контакту гранитов и метаморфических пород. Окружающая местность – пологие безлесные сопки. Вода бесцветная, прозрачная, с запахом сероводорода. При обследовании 5.06.1957 г. в источнике ещё был лёд. В родниковой воронке несколько сильно газифицированных грифонов. Температура воды 1,4 °С при температуре воздуха +13 °С. Вода используется для лечения наружных заболеваний.

31. **Дунд байдлиг дээд** (верхний) (Монголия). М-49-133. Находится на территории сомона Баяндэлгэр Хэнтэйского аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Расположен в верховьях р. Дундбайдлиг-гол. Местное название источника – «халуун ус» («горячая вода»), видимо, подразумевается, что это остывший термальный источник. Вода бесцветная, прозрачная, с запахом сероводорода. Зимой замерзает, образуя большой наледный бугор. При обследовании 4.06.1957 г. была отмечена нарастающая наледь большого объёма. Дебит около 1 л/с.

32. **Дунд байдлиг доод** (нижний). (Монголия). М-49-133. Находится на территории сомона Баяндэлгэр Хэнтэйского аймака. Расположен у южной границы территории ХДС. Состав аналогичен источнику Дунд байдлиг дээд. Расстояние между источниками 16-17 км.

41. **Барх** (Монголия). М-49-123. Находится на территории сомона Баяндэлгэр Хэнтэйского аймака. Расположен в труднодоступной местности, в верховьях р. Барх, в 1 км от устья её правого притока руч. Рашаантын. *Обследование автора – 29.08.1989 г.* Выход у подножия левого склона долины ручья, мочажинного типа. Образует небольшое озерцо, диаметром около 10 м., со дна которого интенсивно выделяются пузырьки газа. Выше по течению ручья, примерно в 100 м, находится ещё один выход – небольшая воронка. Суммарный дебит обоих выходов около 0,2 л/с. Вода прозрачная, без цвета, привкуса, со слабым запахом сероводорода. На дне источника растут светло-серые водоросли

и отлагается ил черного цвета. Температура воды 10 °С при температуре воздуха +3 °С. Окружающие склоны долины густо поросли хвойным лесом, рядом с выходом источника обнажений коренных пород нет, но, по данным О. Намнандоржа [124], в этом районе в основном распространены гранитоиды. По словам местных жителей, источник зимой замерзает, образуя большую наледь. В составе выделяющегося свободного газа очень большая доля (около 46 %) принадлежит метану, что связано, по-видимому, с разложением органического вещества болотных отложений. Местное население использует воду источника в бальнеологических целях, в том числе для лечения скота после трудной зимовки.

### Субминеральные воды

17. **Шивычинские Талачи** (Россия). М-49-80. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края, в 13 км к северо-западу от п. Кыра, в вершине пади Дальние Шивычи. Красочно описан забайкальским краеведом В.И. Сажиным [94]. *Обследование автора – 14.07.2008 г.:* Холодный нисходящий источник, активно используемый населением для лечения. Дебит 0,07 л/с. Температура воды 2 °С при температуре воздуха +17,5 °С. Выход оборудован желобом (фото 16), который ведет в домик для принятия водных процедур.



В химическом составе не обнаружено каких-либо специфических компонентов, имеющих бальнеологическое значение. Содержание гелия близко к атмосферному фону. Тем не менее, значительный терапевтический эффект от применения воды этого источника не вызывает сомнения.

Фото 16 Источник Шивычинские Талачи (фото И.Г. Крюковой)

19. **Яшновский** (Россия). М-49-94. Находится на территории Кыринского района Забайкальского края. Расположен в левом борту долины р. Онон, в 8 км к СЗ от с. Верхний Ульхун. *Обследование автора – 29.08.2014 г.*: Выход в виде небольшого озерка, диаметром 5 м, из которого вытекает ручеек с дебитом около 0,5 л/с. В месте выхода отмечается постоянное газирование, но выделяющийся газ в основной массе не является углекислым. Содержание свободной  $\text{CO}_2$  при титровании в поле составило 22,9 мг/л. Кислород практически отсутствует (содержание  $\text{O}_2$  при титровании в поле всего 0,45 мг/л). Проведенный анализ пробы свободного газа показал довольно своеобразный состав (85,6 об. % – азот; 12,5 об. % – метан). По химическому составу вода гидрокарбонатная магниевонариевая с минерализацией 0,65 г/л. Температура воды 4,2 °С при температуре воздуха +20 °С. Источники, интенсивно газирующие азотом, довольно редко встречаются в природе, поэтому автором Яшновский источник отнесен к типу субминеральных.

29. **Гугай** (Монголия). М-48-144. Находится на территории сомона Эрдэнэ Центрального аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Обследован 16.06.1957 г. Температура воды 3 °С при температуре воздуха +18 °С. Вода со вкусом железа. Источник хотя и не очень известен, применяется при лечении женских болезней, малокровия, анемии.

55. **Улаалзган** (Монголия). М-49-105. Находится на территории сомона Дадал Хэнтэйского аймака. Описание О. Намнандоржа [124]: Расположен на правом борту долины р. Ар-Улаалзган (правый приток р. Онон). Представляет собой ряд выходов из россыпи камней, примерно в 100 м от русла р. Ар-Улаалзган, в которое и осуществляется сток источника. В источнике круглый год (зимой подо льдом) живут характерные мелкие насекомые черного цвета. Источник известен местному населению издавна, здесь лечат болезни легких, анемию, заболевания желудочно-кишечного тракта. Обследование 10.08.1958 г.: Температура воды 1 °С при температуре воздуха +13 °С. Дебит 6 л/с.

57. **Ажнайн** (Монголия). М-49-117. Находится на территории сомона Баян-Уул Дорнодского аймака, 35 км к юго-западу от сомонного центра, в 10 км к

северу от г. Дунг-ула. *Обследование автора – 04.09.1989 г.* Родниковая воронка диаметром около 5 м, на дне которой выходят несколько восходящих грифонов. Выход каптирован бетонным кольцом. Вода прозрачная, с легким привкусом железа. Дебит, измеренный поплавковым методом, составил 0,3 л/с. Температура воды 4 °С при температуре воздуха +9,5 °С. В русле ручейка, стекающего из места выхода, иловые отложения черного цвета, с легким запахом сероводорода. Местные жители используют воду для питья при желудочно-кишечных заболеваниях, а ил для лечения заболеваний суставов. Этот источник является субминеральным. Его нельзя отнести к углекислым, так как содержание CO<sub>2</sub> всего 16,9 мг/л.

58. **Дайхар** (синонимы – Дахрэ, Аршан-булаг) (Монголия). М-49-142. Находится на территории сомона Хулэнбуйр Дорнодского аймака. Описание В.А. Смирнова [97]: Источник находится в глухой труднодоступной местности. Он вытекает у южной подошвы небольшой сопки, образуя болотце и небольшой ручей, использующийся для водопоя скота. Вода имеет приятный вкус. При обследовании 11.08.1927 г. температура воды 4,8 °С при температуре воздуха +18,4 °С. Дебит 1,1 л/с. Радиоактивность 17,9 ед. Махе (65,16 эман). Описание Н.А. Маринова, В.Н. Попова (со ссылкой на В.В. Дельнова) [70]: Обследование 10.08.1944 г. Вода вытекает из трещин песчаников и конгломератов условно третично-мелового возраста, образуя небольшой ручей с дебитом 1 л/с. Температура воды 5,5 °С при температуре воздуха +28,5 °С. Вода бесцветная, прозрачная, без запаха, с небольшим привкусом железа. Источник не благоустроен, но местным населением используется для питья в лечебных целях, а также для водопоя скота. Описание О. Намнандоржа [124]: Источник расположен в юго-западной части урочища Тосонгийн Тал (степь Тосон), в 8,5 км к югу от горы Харат-Ула. Родниковая воронка круглой формы, имеющая несколько выходов, сливающихся в ручеек, стекающий в юго-восточном направлении. Вмещающие породы – раздробленные известковистые песчаники. На 14.10.1959 г. дебит источника составил 1,1 л/с, температура воды 5 °С при температуре воздуха +8 °С. Вода имеет приятный железистый вкус.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БРЗ – Байкальская рифтовая зона

ММП – Многолетнемерзлые породы

ООПТ – Особо охраняемая природная территория

ПДК – Предельно допустимая концентрация

ХДС – Хэнтэй-Даурский свод

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.А. Фтор в акратотермах / А.А. Алексеев // Геохимия. – 1956. – №4. – С. 58–63.
2. Алтухов Е.Н. Тектоника Забайкалья / А.Н. Соколов, А.Д. Смирнов, Л.И. Леонтьев. – М.: Недра, 1973. – 172 с.
3. Амантов В.А. Основные черты геотектонического развития и размещения структур Монголии в системах Алтае-Саянской и Монголо-Амурской складчатых областей / В.А. Амантов, П.С. Матросов // Материалы по региональной геологии Алтае-Саянской складчатой области. Труды ВСЕГЕИ, новая серия. – Т. 58. – Л., 1961. – С. 183–206.
4. Амантов В.А. Основные черты стратиграфии палеозоя МНР / В.А. Амантов, В.А. Благоднаров, Ю.А. Борзаковский и др. // Стратиграфия и тектоника Монгольской Народной Республики. Отв. ред. Маринов Н.А. Труды Совместной советско-монгольской геологической экспедиции. – Вып. 1. – М.: Наука, 1970. – С. 8–63.
5. Ащепков И.В. Ксенолиты гранатовых перидотитов из меланефелинитов хребта Хэнтэй (Южное Забайкалье): Свидетельство подъема мантийного диапира / И.В. Ащепков, Ю.Д. Литасов, К.Д. Литасов // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – №1. – С. 130–147.
6. Багашев И. А. Минеральные источники Забайкалья. Приложение к Запискам Читинского отделения Приамурского отдела РГО / И.А. Багашев. – М.: изд. М.Д. Бутина, 1905. – 159 с.
7. Барабанов Л.Н. Азотные термы СССР / Л.Н. Барабанов, В.Н. Дислер. – М.: Геоминвод, 1968. – 120 с.
8. Басков Е.А. Состав и условия формирования минеральных вод Забайкалья / Е.А. Басков, Г.И. Климов // Труды ВСЕГЕИ, новая серия. – Т. 101. – Л., 1963. – С. 50–88.
9. Басков Е.А. Гидрогеологические структуры Восточной Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока СССР / Е.А. Басков, Г.И. Климов, В.А. Кирюхин, С.Н. Суриков, Н.А. Петрова, О.Н. Толстихин // Основные типы гидрогеологических структур СССР, науч. ред. И.К. Зайцев. Труды ВСЕГЕИ, новая серия. – Т. 229. – Л., 1974. – С. 70–82
10. Басков Е.А. Металлоносность термальных вод Прибайкалья и Забайкалья / Е.А. Басков, Г.И. Климов, Н.А. Петрова // Труды ВСЕГЕИ. – Т. 260. – Л., 1979. – С. 87–107.
11. Бобров В.А. Отложения казанского яруса Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии / В.А. Бобров, Г.В. Котляр // Доклады академии наук СССР. – 1963. – Т. 149. – №5. – С. 1141–1144.
12. Боечко И.Д. Курорты Восточной Сибири / И.Д. Боечко, В.А. Козлов, Б.И. Кузник. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1990. – 352 с.
13. Борисенко И.М. Минеральные воды Бурятской АССР / И.М. Борисенко, Л.В. Замана. – Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1978. – 162 с.

14. Вартамян Г.С. Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов / Г.С. Вартамян. – М.: Недра, 1977. – 286 с.
15. Ветштейн В.Е. Новые данные о содержании кислорода-18 в некоторых вулканических термальных и минеральных водах Курильских островов, Камчатки и Забайкалья / В.Е. Ветштейн, Е.А. Басков, Г.И. Климов и др. // Советская геология. – 1971. – №9. – С. 98–108.
16. Геокриология СССР. Горные страны юга СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 360 с.
17. Геокриологические условия МНР. Труды Совместной Советско-Монгольской науч.-исслед. геолог. экспедиции. – Вып. 10 / Отв. ред. П.И. Мельников. – М.: Наука, 1974. – 200 с.
18. Геологическая карта СССР, М-б 1:200000. Лист М-49-XXII, XXVIII. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1965. – 96 с.
19. Геологическая карта юга Восточной Сибири и северной части МНР, М-б 1:1500000 / Гл. ред. А.Л. Яншин. – Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
20. Геоморфология МНР: Труды совместной советско-монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. – Вып. 28. – М.: Наука, 1982. – 259 с.
21. Геохимическая деятельность микроорганизмов гидротерм Байкальской рифтовой зоны / Б.Б. Намсараев, Д.Д. Бархутова, Э.В. Данилова и др. – Новосибирск: ГЕО, 2011. – 302 с.
22. Геохимия подземных минеральных вод Монгольской Народной Республики / Отв. ред. д.г.-м.н. Е.В. Пиннекер. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976. – 77 с.
23. Гидрогеология СССР. Т. XXI, Читинская область. – М.: Недра, 1969. – 444 с.
24. Голубев В.А. Тепловые и химические характеристики гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны / В.А. Голубев // Советская геология. – 1982. – №10. – С. 100–108.
25. Голубев В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне / В.А. Голубев. – Новосибирск: ГЕО, 2007. – 223 с.
26. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 48 с.
27. Данилова М.А. Структурно-гидрогеологический анализ и физико-химическое моделирование процессов формирования подземных вод района Северо-Муйского тоннеля БАМ: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.07 / Данилова Мария Александровна. – Иркутск, 2010. – 18 с.
28. Деньгин Ю.П. Некоторые минеральные источники южной части Центрального Забайкалья Ю.П. Деньгин // Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. – Иркутск: Вост.-Сиб. район. геол.-развед. управление, 1931. – №4. – С. 57–73.
29. Деньгин Ю.П. Минеральные источники Центрального Забайкалья (верховья рек Чикой, Онон, Ингода) / Ю.П. Деньгин // Тр. Всесоюз. геол.-развед. объединения. – М.-Л.: Госгеолтехиздат, 1932. – Вып. 184. – 43 с.
30. Дзенс-Литовский А.И. Минеральные воды Северной Азии в связи с ее геологическим строением / А.И. Дзенс-Литовский, Н.И. Толстихин //

- Междун. геологич. конгресс. Труды XVII Сессии, отв. ред. М.И. Варенцов. – Т. 5. – М.: Гос. науч.-техн. Изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1937. – С. 163–181.
31. Диденков Ю.Н. О возможности существования эндогенного источника пресных вод в рифтовых геодинамических условиях / Ю.Н. Диденков, В.А. Бычинский, И.С. Ломоносов // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47 – №10. – С. 1114–1118.
  32. Дислер В.Н. Возможные исправления эволюции углекислых вод и азотных терм областей новейшего горообразования / В.Н. Дислер // Бюллетень МОИП, отд. геологии. – Т. XLVI. – №3. 1971. – С. 114–124.
  33. Елманова Н.М. Основные типы месторождений азотных терм гранитных массивов / Н.М. Елманова // Вопросы гидрогеологии минеральных вод. Труды ЦНИИ курортологии и физиотерапии, под ред. В.В. Иванова. – Т. XXXIV. – М., 1977. – С. 144–160.
  34. Замана Л.В. О происхождении сульфатного состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны / Л.В. Замана // Доклады академии наук. – 2000. – Т. 372. – №3. – С. 361–363.
  35. Замана Л.В. Фтор в азотных термах Забайкалья / Л.В. Замана // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41 – №11. – С. 1575–1581.
  36. Замана Л.В. Кальциевые минеральные равновесия азотных терм Байкальской рифтовой зоны / Л.В. Замана // Геохимия. – 2000. – №11. – С. 1159–1164.
  37. Замана Л.В. Изотопный состав водорода и кислорода азотных гидротерм Байкальской рифтовой зоны с позиций взаимодействия в системе «вода-порода» / Л.В. Замана // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 442. – №1. – С. 102–106.
  38. Замана Л.В. Минеральные воды Кыринского района / Л.В. Замана // Записки Забайкальского отд. РГО. – Чита, 2013. – Вып. 132. – С. 34–41.
  39. Замана Л.В. Физико-химические характеристики азотных термальных источников бассейна реки Кыра (Юго-Восточное Забайкалье) / Л.В. Замана, Ш.А. Аскарлов // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2011. – №1. – Чита. – С. 173–178.
  40. 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.
  41. Зоненшайн Л.П. Тектоника литосферных плит территории СССР / Л.П. Зоненштайн, М.И. Кузьмин, Л.М. Натапов. – М.: Недра, 1990. – Кн.1. – 328 с.
  42. Зорин Ю.А. Террейны Восточной Монголии и Центрального Забайкалья и развитие Монголо-Охотского складчатого пояса / Ю.А. Зорин, В.Г. Беличенко, Е.Х. Турутанов и др. // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – №1. – С. 11–25.
  43. Имаев В.С. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири / В.С. Имаев, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин, В.В. Николаев, Р.М. Семенов // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. – №6. – С. 55–61.



44. Каменский И.Л. Компоненты верхней мантии Земли в газах Камчатки ( по изотопам He, Ne, Ar, C) / И.Л. Каменский, В.А. Лобков, Э.М. Прасолов и др. // Геохимия. – 1976. – №5. – С. 682–695.
45. Караванов К.П. Гидрогеологические области и основные водоносные горизонты Приамурья / К.П. Караванов. – Хабаровск: Дальнаука, 1996. – 79 с.
46. Карасева А.П. О формировании и распространении углекислых минеральных вод Забайкалья / А.П. Карасева // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. Тр. совещ. курортных институтов по гидрогеологии мин. вод, 1958 г. Отв. ред. Иванов В.В. – М: Трансжелдориздат МПС, 1960. – С. 121–140.
47. Карта минеральных вод МНР, М-б 1:2500000 / Б.И. Писарский, П. Доржсурэн, Г.М. Шпейзер и др. – Улан-Батор: Гос. упр. геодезии и картографии при ГКСА и ТК МНР, 1985.
48. Кожевников А.В. Новейшая тектоника Хангай-Хэнтэйской горной области (МНР) / А.В. Кожевников // Проблемы изучения четвертичного периода. Гл. ред. Хоментовский А.С. – Хабаровск: Приамурский (Хабаровский) филиал Географического общ-ва СССР, 1968. – С. 145.
49. Кондратенко Л.А. К закислению атмосферных осадков биосферного заповедника Забайкалья / Л.А. Кондратенко, Л.Г. Улыбина // Водные ресурсы. – 1996. – №5. – С. 565–570.
50. Кононов В.И. Проблема выявления ювенильной компоненты в современных гидротермальных системах / В.И. Кононов, Б.Г. Поляк // Геохимия. – 1982. – №2. – С. 163–177.
51. Крайнов С.Р. О геохимии фтора, вольфрама и германия в азотных термальных водах кристаллических пород / С.Р. Крайнов // Геохимия. – 1965. – №11. – С. 1335–1345.
52. Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах (в связи с геохимическими поисками месторождений) / С.Р. Крайнов. – М.: Недра, 1973. – 296 с.
53. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – М.: ЦентрЛитНефтегаз, 2012. – 672 с.
54. Крайнов С.Р. Гидрогеохимия / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
55. Кулаков В.В. Геолого-структурные и геотермальные условия формирования термальных подземных вод Приамурья / В.В. Кулаков // Тихоокеанская геология. – 2014. – №5. – С. 77–90.
56. Куликов Г.В. Минеральные лечебные воды СССР. Справочник / Г.В. Куликов, А.В. Жевлаков, С.С. Бондаренко. – М.: Недра, 1991. – 400 с.
57. Кустов Ю.И. Термальные воды юга Восточной Сибири (распространение, условия формирования, использование) / Ю.И. Кустов, С.В. Лысак // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – №6. – С. 880–895.
58. Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления / В.Ю. Лаврушин; отв. ред. Б.Г. Поляк // Труды Геологического института. – Вып. 599. – М.: ГЕОС, 2012. – 348 с.

59. Лаврушин В.Ю. Изотопный состав гелия в термоминеральных флюидах Забайкалья / В.Ю. Лаврушин, Б.Г. Поляк, И.Л. Каменский // Литология и полезные ископаемые. – 1999. – №2. – С. 146–157.
60. Лаврушин В.Ю. Углекислые воды Кавказа – генезис и условия формирования: мифы, факты, решения [Электронный ресурс] / В.Ю. Лаврушин, А. Айдаркожина, О.Е. Киквадзе // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Мат-лы III Всерос. конф. с междунар. участием, 20-25 августа 2018г., Чита / Отв. ред.: Л.В. Замана, С.Л. Шварцев. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – С. 54–59. – Режим доступа: <http://inrec.sbras.ru/IIIconfWR2018>.
61. Лепокурова О.Е. Содовые подземные воды Юго-Востока Западной Сибири: геохимия и условия формирования: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.07 / Лепокурова Олеся Евгеньевна. – Томск, 2018. – 42 с.
62. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны / И.С. Ломоносов. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1974. – 164 с.
63. Ломоносов И.С. Минеральные воды Прибайкалья / И.С. Ломоносов, Ю.И. Кустов, Е.В. Пиннекер. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. – 224 с.
64. Лысак С.В. Тепловой поток в зонах активных разломов на юге Восточной Сибири / С.В. Лысак // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43. – №8. – С. 791–803.
65. Лысак С.В. Термальное состояние литосферы в Монголии / С.В. Лысак, Р.П. Дорофеева // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – №9. – С. 929–941.
66. Лысак С.В. Оценка теплового потока по изотопам гелия в газовом составе подземных вод Байкальской рифтовой зоны и окружающих районов / С.В. Лысак, Б.И. Писарский // Вулканология и сейсмология. – 1999. – №3. – С. 45–55.
67. Маврицкий Б.Ф. Классификация подземных вод по температурному признаку / Б.Ф. Маврицкий // Вопросы геохимии подземных вод. Труды ВСЕГИНГЕО, новая серия. – №9. – М.: Недра, 1964. – С. 198–205.
68. Максимов Б.А. Геологический очерк района гольца Сохондо / Б.А. Максимов // Геологические исследования в Центральном Забайкалье. Материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. – Вып. IX. – Новосибирск-М.-Л.-Грозный: Гос. объединенное научно-техническое изд-во. – 1935. – С. 3–47.
69. Малая энциклопедия Забайкалья: Природное наследие / гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. – Новосибирск: Наука, 2009. – 698 с.
70. Маринов Н.А. Гидрогеология МНР / Н.А. Маринов, В.Н. Попов. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 449 с.
71. Минерально-сырьевые ресурсы Читинской области / В.С. Чечеткин, В.М. Асосков, Л.И. Воронова и др. – Чита: Читагеолком, 1997. – 121 с.
72. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. – Т. I. / Под общей ред. В.Г. Ткачук и Н.И. Толстихина. – М.-Л.: изд-во АН СССР, 1961. – 345 с.

73. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. – Т. II. / Под общей ред. Н.А. Власова, В.Г. Ткачук и Н.И. Толстихина. – М.-Л.: изд-во АН СССР, 1962. – 199 с.
74. Михайлов М.П. Минеральные источники и грязевые озера Восточной Сибири, их гидрогеология, бальнеохимия и курортологическое значение / М.П. Михайлов, Н.И. Толстихин. Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. – Вып. 21. – Иркутск. – 1946. – 91 с.
75. Нагибина М.С. Новые данные по тектонике Монголо-Охотского пояса / М.С. Нагибина // Бюлл. МОИП, отд. геол., 1958. – №3. – С. 3–22.
76. Нагибина М.С. Тектоника и магматизм Монголо-Охотского пояса / М.С. Нагибина // Труды ГИН АН СССР. – Вып. 79. – М., 1963. – 463 с.
77. Овчинников А.М. Условия формирования месторождений углекислых вод / А.М. Овчинников // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. Тр. совещ. курортных институтов по гидрогеологии мин. вод, 1958. Отв. ред. Иванов В.В. – М.: Трансжелдориздат МПС, 1960. – С. 12–36.
78. Овчинников А.М. Минеральные воды (учение о месторождениях минеральных вод с основами гидрогеохимии и радиогидрогеологии). / А.М. Овчинников. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 376 с.
79. Орлова Л.М. Термы Читинской области / Л.М. Орлова // Изв. Забайкальского филиала Географического общества СССР. – Т. II. – Вып. 3. – Чита. – 1966. – С. 47–65.
80. Павлов С.Х. Формирование азотных терм: моделирование физико-химических взаимодействий в системе «вода-порода» / С.Х. Павлов, К.В. Чудненко // Геохимия. – 2013. – №12. – С. 1090–1104.
81. Павлов С.Х. Углекислые воды – результат физико-химических взаимодействий в системе «вода-порода» / С.Х. Павлов, К.В. Чудненко // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Мат-лы II Всерос. конф. с междунар. участием, 6-11 сентября 2015г., Владивосток / Отв. ред. С.Л. Шварцев. – Владивосток: Изд-во Дальнаука. – 2015. – С. 159–162.
82. Парфенов А.М. Террейны и формирование орогенных поясов Забайкалья / А.М. Парфенов, А.Н. Булгатов, И.В. Гордиенко // Тихоокеанская геология. – 1996. – №4. – С. 3–15.
83. Пиннекер Е.В. Изотопные исследования минеральных вод Монголии / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, С.Е. Павлова, В.С. Лепин // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – №1. – С. 94–102.
84. Писарский Б.И. Закономерности формирования подземного стока бассейна озера Байкал / Б.И. Писарский. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1987. – 157 с.
85. Писарский Б.И. Газовый состав подземных минеральных вод Монголии / Б.И. Писарский, Д. Ганчимэг. Науч. ред. д.г.-м.н. И.С. Ломоносов. – Иркутск: Институт земной коры, 2007. – 107 с.
86. Плотникова Г.Н. Сероводородные воды СССР / Г.Н. Плотникова. – М.: Недра, 1981. – 132 с.
87. Плюснин А.М. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны / А.М. Плюснин, Л.В. Замана, С.Л. Шварцев и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – №5. – С. 647–664.

88. Поляк Б.Г. Изотопы гелия в подземных флюидах Байкальского рифта и его обрамления (к геодинамике континентального рифтогенеза) / Б.Г. Поляк // Российский журнал наук о земле. – 2000. – Т. 2. – №2. – С. 109–133.
89. Поляк Б.Г. Новейшая тектоно-магматическая активизация Колочинско-Мечигменской зоны Чукотского полуострова (по данным о составе газов гидротерм) / Б.Г. Поляк, В.Ю. Лаврушин, А.Л. Чешко, Э.М. Прасолов, И.Л. Каменский // Геотектоника. – 2010. – №6. – С. 99–110.
90. Поляк Б.Г. Изотопный состав гелия и тепловой поток – геохимический и геофизический аспекты тектогенеза / Б.Г. Поляк, И.Н. Толстихин, В.П. Якуцени // Геотектоника. – 1979. – №5. – С. 3–23.
91. Поляк Б.Г. Тепломассопоток из мантии на территории Монголии (по изотопно-гелиевым и геотермическим данным) / Б.Г. Поляк, М.Д. Хуторской, И.Л. Каменский, Э.М. Прасолов // Геохимия. – 1994. – №12. – С. 1693–1705.
92. Посохов Е.В. Минеральные воды лечебные, промышленные, энергетические / Е.В. Посохов, Н.И. Толстихин. – Л.: Недра, Ленинградское отд-е, 1977. – 240 с.
93. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур (под ред. к.г.н. А.П. Муранова). – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 783 с.
94. Сажин В.И. Повести земли Кыринской / В.И. Сажин. – Чита: Поиск, 2002. – 224 с.
95. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / Отв. ред. чл.-корр. АН СССР В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд-е, 1977. – 304 с.
96. Сейсмичность и районирование сейсмической опасности территории Монголии / Отв. ред. Ф.И. Иванов. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – 420 с.
97. Смирнов В.А. Аршаны Монголии / В.А. Смирнов // Тр. Монгольской комиссии АН СССР и научн.-иссл. комитета МНР, 1932. – №5. – М.: Изд-во АН СССР. – 48 с.
98. Степанов В.М. К вопросу о формировании газового состава некоторых типов минеральных вод Забайкалья / В.М. Степанов // Вопросы геохимии подземных вод. Труды ВСЕГИНГЕО, новая серия. – №9. – М.: Недра. – 1964. – С. 145–158.
99. Степанов В.М. Гидрогеологические структуры Забайкалья / В.М. Степанов. – М.: Недра, 1980. – 177 с.
100. Толстихин Н.И. Газы Восточного Забайкалья / Н.И. Толстихин // Тр. Геологоразведочного Бюро газовых месторождений, 1932. – Т. I. – Вып. 3. – Л.-М.: Гос. науч.-техн. геол.-развед. изд-во. – 41 с.
101. Толстихин Н.И. Минеральные воды (учебное пособие) / Н.И. Толстихин, Е.В. Посохов. – Л.: ЛГИ, 1975. – 170 с.
102. Усов М.А. Орография и геология Кентэйского хребта в Монголии / М.А. Усов // Изв. Геологического Комитета. – 1915. – Т. 34. – №8. – С. 889–997.
103. Уфимцев Г.Ф. Сводово-глыбовый или гобийский новейший орогенез / Г.Ф. Уфимцев // Литосфера. – 2008. – №3. – С. 14–25.

104. Уфимцев Г.Ф. Цокольное поднятие Монголо-Сибирского возрожденного орогена / Г.Ф. Уфимцев, А.А. Щетников // Тихоокеанская геология. – 1999. – №5. – С. 57–60.
105. Ферронский В.И. Природные изотопы гидросферы / В.И. Ферронский, В.Т. Дубинчук, В.А. Поляков и др. – М.: Недра, 1975. – 280 с.
106. Флоренсов Н.А. Геоморфология и новейшая тектоника Забайкалья / Н.А. Флоренсов // Изв. АН СССР, сер. Геол. – 1948. – №2. – С. 3–16.
107. Хаустов В.В. К проблеме состава и происхождения ювенильных вод / В.В. Хаустов, М.А. Мартынова, Ю.Н. Диденков // Изв. Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2010. – №2(37). – С. 99–108.
108. Хуторской М.Д. Тепловой режим недр МНР / М.Д. Хуторской, В.А. Голубев, С.В. Козловцева, М.М. Митник, В.В. Ярмолюк. – М.: Наука, 1991. – 127 с.
109. Цэгмид Ш. О ландшафтах Монголии (на примере Хэнтэйского горного района и Восточно-Монгольской приподнятой равнины) / Ш. Цэгмид // Известия АН СССР, сер. Геогр. – 1964. – №2. – С. 102–106.
110. Челноков Г.А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России / Г.А. Челноков, Н.А. Харитонова. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 165 с.
111. Челноков Г.А. Гидрогеохимия и генезис термальных вод источника Горячий Ключ, Приморье (Дальний Восток России) / Г.А. Челноков, Е.Г. Калитина, И.В. Брагин, Н.А. Харитонова // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33. – №6. – С. 99–110.
112. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России / О.В. Чудаев. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 216 с.
113. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1978. – 288 с.
114. Шварцев С.Л. Равновесие азотных терм Байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования / С.Л. Шварцев, Л.В. Замана, А.М. Плюснин, О.Г. Токаренко // Геохимия. – 2015. – №8. – С. 720–733.
115. Шварцев С.Л. Генезис и эволюция углекислых минеральных вод месторождения Мухен (Дальний Восток) / С.Л. Шварцев, Н.А. Харитонова, О.Е. Лепокурова, Г.А. Челноков // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – №1. – С. 48–59.
116. Шпейзер Г.М. Гидрохимия минеральных вод горно-складчатых областей / Г.М. Шпейзер. – Иркутск: изд-во Иркутского госуниверситета, 1992. – 240 с.
117. Яницкий И.Н. Гелиевая съёмка / И.Н. Яницкий. – М.: Недра, 1979. – 96 с.
118. Ярмолюк В.В. Внутриплитная позднемезозойско-кайнозойская вулканическая провинция Центральной и Восточной Азии – проекция горячего поля мантии / В.В. Ярмолюк, В.И. Коваленко, В.Г. Иванов // Геотектоника. – 1995. – №5. – С. 41–67.
119. Ярмолюк В.В. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика / В.В. Ярмолюк, В.И. Коваленко, М.И. Кузьмин // Геотектоника. – 2000. – №5. – С. 3–29.

120. Яроцкий Л.А. Основные закономерности образования сероводородных вод / Л.А. Яроцкий // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. Тр. совещ. курортных институтов по гидрогеологии мин. вод, 1958 г. – М.: Трансжелдориздат МПС, 1960. – С. 141–168.
121. Ясько В.Г. Некоторые особенности распространения минеральных вод в складчатых сооружениях юга Восточной Сибири / В.Г. Ясько // Советская геология. – 1969. – №1. – С. 81–90.
122. Giggenbach W.F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na–K–Mg–Ca geoindicators / W.F. Giggenbach // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1988. – V. 52. – №12. – P. 2749–2765.
123. Map of mineral waters in Mongolia, Scale 1:2500000 / B.I. Pisarsky, B. Nambar, B. Ariyadagva. – Ulaanbaatar: Cartography. – Mongolia. – 2003.
124. Намнандорж О. БНМАУ-ын рашаан (Аршаны МНР, на монгольском языке) / О. Намнандорж, Ш. Цэрэн, Ө. Нямдорж. – Улаанбаатар: УХГ. – 1966. – 468 х.

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

## Рисунки

№ рисунка	Наименование рисунка	Страница
2.1	Географическое положение Хэнтэй-Даурского свода	14
2.2	Геологическая карта района Хэнтэй-Даурского свода	20
3.1	Карта минеральных вод Хэнтэй-Даурского свода	36
3.2	Зависимость температуры воды от абсолютной отметки места выхода источника	39
3.3	Схематическая карта и разрез места выхода Верхне-Ингодинского термального источника	40
3.4	Зависимость содержания рН от температуры воды	41
3.5	Зависимость рН от содержаний карбонатных и сульфатных ионов	42
3.6	Ионный состав термальных азотных вод	43
3.7	Зависимость содержания кремнекислоты от температуры воды	49
3.8	Схема участка разведки углекислых вод Уланбаторского месторождения (Оргил) и геолого-гидрогеологический разрез по линии I-I	59
3.9	Распределение значений минерализации воды холодных углекислых источников	59
3.10	Зависимость минерализации от содержания углекислоты	60
3.11	Ионный состав холодных углекислых вод	64
3.12	Ионный состав сероводородных вод	71
3.13	Ионный состав субминеральных вод	75
4.1	Зависимость содержания $\delta D$ от $^{18}O$ в изученных минеральных водах	84
4.2	Зависимость содержания $^{18}O$ в термальных водах от абсолютной высоты местности Хэнтэй-Даурского свода	86
5.1	Карта-схема проектируемой трансграничной ООПТ «Истоки Амура»	98

## Фотографии

№	Наименование фотографии	Страница
1	Источник Семиозерский	106
2	Источник Верхне-Ингодинский	106
3	Источник Кыринский зимний	107
4	Источник 12 ключей	108
5	Источник Былыра	110
6	Источник Талачинский	111
7	Источник Ероо	113
8	Источник Естий	115
9	Источник Их-Онон	117
10	Источник Курорт Ямаровка, современное состояние	119
11	Источник Мордойский	121
12	Источник Минж	124
13	Источник Тарс	127
14	Источник Ендинский	135
15	Источник Нижний Салбартуй	136
16	Источник Шивычинские Талачи	138

## Таблицы

№ таблицы	Наименование таблицы	Страница
2.1	Годовое количество атмосферных осадков	18
3.1	Минеральные воды Хэнтэй-Даурского свода	37
3.2	Химический состав термальных азотных вод	44
3.3	Температура воды на глубине формирования для некоторых термальных источников	51
3.4	Глубина формирования состава воды некоторых термальных источников	52
3.5	Результат ICP-MS анализа термальных азотных вод	53
3.6	Химический состав холодных углекислых вод	61
3.7	Результат ICP-MS анализа холодных углекислых вод	67
3.8	Химический состав воды источников с повышенным содержанием сероводорода	70
3.9	Результат ICP-MS анализа воды источников с повышенным содержанием сероводорода	74
3.10	Химический состав воды субминеральных источников	76
3.11	Результат ICP-MS анализа воды субминеральных источников	77
3.12	Газовый состав минеральных вод некоторых источников. Растворенный газ	79
3.13	Газовый состав минеральных вод некоторых источников. Свободный газ	80
3.14	Содержание растворенного гелия в воде минеральных источников	82
4.1	Изотопный состав кислорода и водорода	85
4.2	Изотопный состав углерода углекислых вод	88
4.3	Изотопный состав гелия в растворенном газе минеральных вод	93
5.1	Природоохранный статус минеральных источников Хэнтэй-Даурского свода	99