

На правах рукописи

ДАМДИН СУРМААЖАВ

**ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ
ХАНГАЙСКОГО СВОДОВОГО ПОДНЯТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: **Вахромеев Андрей Гелиевич**, доктор геолого-минералогических наук, доцент, начальник геологического отдела Иркутского филиала ООО «РН-Бурение», г. Иркутск

Официальные оппоненты: **Плавник Андрей Гарьевич**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией геологии нефти и газа ФГБУН Западно-Сибирского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Аузина Лариса Ивановна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск

Ведущая организация: ФГБУН Институт геохимии имени А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

Защита состоится **20 апреля 2022 г. в 10:00 ч.** на заседании диссертационного совета 24.1.062.01 при ФГБУН Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН и на сайте: <http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsfull200/2916.pdf>

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

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

Автореферат разослан «___» февраля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Акулова В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Трещинно-жильные подземные воды издавна привлекали к себе внимание необычными свойствами, особенностями распространения, химического и газового состава, иногда высокой температурой, нередко значительными дебитами родников. Проявления этого типа термальных, минеральных и пресных вод установлены во многих странах: Венгрии, Франции, Италии, Турции, США (Калифорния), Японии, России (Забайкалье, Байкальская рифтовая зона и т.д.), Монголии и др.

Термальные воды относятся к категории ценных и широко распространенных минеральных вод, на базе которых создаются курорты, санатории, пансионаты, а также являются источником подземного тепла при экономически выгодных показателях их использования. Хотя удельный вес геотермальной энергии в общей энергетике промышленно развитых стран еще очень мал, однако перспективы ее применения значительны. Глубокое изучение всех вопросов, связанных с распространением термальных вод на территории Центральной Монголии и условиями их формирования, представляет не только практический интерес, но и имеет важное теоретическое значение.

Формирование месторождения термальных вод – весьма сложный процесс, определяющийся многими факторами, часто накладывающимися друг на друга. Изучением проблемы формирования и генезиса термальных вод, их распространения в различных геолого-гидрогеологических и геотермических обстановках занимались в разное время такие выдающиеся ученые как А.М. Овчинников, Ф.А. Макаренко, Е.В. Посохов, Г.С. Вартамян, Б.Ф. Маврицкий, Е.В. Пиннекер, И.С. Ломоносов, Ю.Н. Диденков и др. По наличию и качеству разнообразных минеральных и термальных источников территория Монголии не уступает другим регионам Мира. Здесь особо широко распространены термальные воды, исследованию которых посвящены работы С.В. Обручева, В.А. Смирнова, Н.А. Маринова, В.Н. Попова, Н.И. Толстихина, Е.В. Пиннекера, Б.И. Писарского, Г.М. Шпейзера, З. Нарангэрэла, Н. Лхагва, А.И. Оргильянова, П.С. Бадминова и др.

Монголия, обладая обширными геотермальными ресурсами, практически их не использует, т.к. эти природные богатства изучены и оценены недостаточно. Результаты предыдущих исследований термальных вод Хангая касались в основном геолого-гидрогеологических и газогидрогеохимических аспектов их изучения. На данной территории были выявлены многочисленные источники и месторождения термальных вод, такие как Хужирт, Шивэрт, Отгонтэнгэр, Шаргалжуут, Хульж и др. До настоящего времени остается ряд нерешенных вопросов, таких как особенности происхождения, формирования и распределения термальных вод в гидрогеологических структурах Монголии. Поэтому на основе структурно-гидрогеологического анализа автором выделены основные гидрогеологические структуры и особенно – обводненные разломы с присущими им гидротермами.

Цель работы – установление закономерностей распространения и особенностей формирования термальных вод в пределах Хангайского сводового поднятия Центральной Монголии.

Основные задачи:

- 1 – исследовать основные гидрогеологические структуры Центральной Монголии;
- 2 – изучить условия локализации выходов термальных вод в пределах Хангая и особенности формирования месторождений гидротерм;
- 3 – на основе регионального обобщения выполнить систематизацию комплекса данных по разным геотермальным районам, источникам и месторождениям термальных вод региона;
- 4 – оценить гидроминеральные и теплоэнергетические ресурсы в центральной части Монголии, а также перспективы расширения по использованию гидротерм в народном хозяйстве страны.

Методы исследований. Работа выполнена с использованием современного комплекса различных исследований: традиционных полевых методов (полевые маршруты, бурение, опытно-фильтрационные опробования, режимные наблюдения), лабораторных и экспериментальных работ, а также теоретических обобщений. Следует отметить, что почти все изложенные окончательные научно-практические результаты исследований получены и подтверждены в ходе натурных полевых экспериментов на конкретных объектах. При выполнении полевых опытно-фильтрационных работ применялись как традиционные, так и специальные методики исследований. Оценка фильтрационных свойств толщ пород осуществлялась графоаналитическим, гидравлическим и другими методами. Теоретические исследования сводились к аналитическому решению задач построения физико-геологической, структурно-тектонической моделей на перспективных участках. При прогнозных оценках и поиске перспективных участков проявлений гидротерм использовался факторный анализ.

Научная новизна работы. В диссертации на основе новых позиций и обширном фактическом материале выполнено обобщение и систематизация данных по термальным источникам и месторождениям Хангая в Центральной Монголии и представлены следующие результаты, имеющие научное и практическое значение:

- на основе структурно-гидрогеологического анализа в исследуемом регионе выделены три типа гидрогеологических структур: гидрогеологические массивы, гидрогеологические бассейны и обводненные разломы;
- проведена систематизация месторождений и проявлений гидротерм в обводненных разломах Хангайской гидротермальной системы;
- впервые установлены поисковые критерии (признаки) локализации проявлений гидротерм и месторождений трещинно-жильных термальных вод;
- проведено обобщение и дана сравнительная характеристика всех известных в Центральной Монголии источников и месторождений термальных вод;
- впервые оценены теплоэнергетические ресурсы по проявлениям и месторождениям термальных вод Хангая, предложены практические мероприятия по расширению и повышению эффективности использования гидротерм в народном хозяйстве страны.

Все основные результаты выполненной работы, обладающие научной новизной и практической значимостью, получены автором лично или при его участии.

Исходные материалы и вклад автора в решение проблемы. В работе использовались результаты полевых, аналитических и теоретических исследований, проводимых разными монгольскими и международными организациями, а также

лично автором и при его непосредственном участии. Автор в составе производственных и научных организаций участвовал в проведении полевых и камеральных работ, выполнял сбор, анализ, интерпретацию и обобщение материалов исследований разных подразделений в Центральной Монголии за период 1944–2019 гг, участвовал в составлении государственных гидрогеологических карт разных масштабов. Автором изучены особенности геолого-геотермических, структурно-тектонических и гидрогеологических условий Хангайского сводового поднятия, оценены теплоэнергетические ресурсы гидротерм в данной геологической структуре и даны предложения по их расширению.

Положения, выносимые на защиту.

1. В пределах Хангайского неотектонического поднятия Центральной Монголии на основе структурно-гидрогеологического анализа по условиям формирования и распределения подземных вод выделено 3 типа гидрогеологических структур: горные сооружения – гидрогеологические массивы с распространением трещинно-грунтовых вод; межгорные впадины – гидрогеологические бассейны с порово- и трещинно-пластовым типом подземных вод и разрывные тектонические нарушения – обводненные разломы с подземными водами трещинно-жильного типа. Наиболее крупные скопления подземных вод формируются в пределах бассейнов и обводненных разломов, причем: в зонах дробления приповерхностных разломов локализуются, как правило, холодные пресные подземные воды, а глубокие разломы выводят термы – трещинно-жильные минеральные воды с повышенной температурой, специфическим составом, и также низкой величиной минерализации.

2. Ведущая роль в формировании современных гидротерм, выводимых на дневную поверхность по зонам дробления глубоких обводненных разломов, принадлежит рифтогенному геодинамическому режиму развития Хангайского неотектонического поднятия. Это отражено в авторском варианте систематики структурно-гидрогеологических типов глубоких обводненных разломов, применительно к месторождениям и проявлениям термальных вод Хангайской гидротермальной системы.

3. Оценка теплового потока Хангайской гидротермальной системы предопределяет значительное расширение использования гидроминеральной базы Монголии. Рекомендованы направления дальнейших исследований их бальнеологических свойств и генетического облика. Обоснована методология ГРР на перспективных участках, которая базируется на комплексе геофизических исследований (в частности, электроразведке), а также на технологии проходки и крепления гидрогеологических скважин, позволяющей сохранить температуру и тепловой баланс восходящих флюидов.

Практическое значение работы. Практическая значимость работы заключается в изучении, оценке ресурсной базы месторождений термальных вод для использования теплоэнергетических ресурсов недр в народном хозяйстве Монголии. Установленные закономерности формирования азотных, кремнистых термальных водопроявлений позволили переоценить, и существенно повысить перспективы развития ресурсной базы курортов Хужирт, Шаргалжуут, Отгонтэнгэр, Шивэрт, Хульж, т.е. в целом Хангайской гидротермальной системы. Тем самым обоснован тренд развития санаторно-курортного строительства в этом обширном регионе.

Апробация работы. Основные результаты исследований и защищаемые положения диссертации докладывались, и обсуждались на Международных, Всероссийских и

Монгольских конференциях: Международной конференции Керуленской геологической экспедиции (Иркутск, 2015 г., Улаанбаатар, 2017 г.), Всероссийских научных конференциях «Подземные воды востока России» (Якутия, 2015 г., Новосибирск, 2018 г.), конференциях Монгольского Госуниверситета Науки и Технологии в секторе «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкологии» (Улаанбаатар, 2014–2019 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано **28** работ в трудах российских, международных конференций, совещаний, и в рецензируемых журналах, в том числе **5** статей в журналах из Перечня ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем работы составляет 164 страниц текста, 61 рисунок, 10 таблиц. В списке литературы содержится 189 наименований.

Подготовка и работа над диссертацией осуществлялась под научным руководством д.г.-м.н. А.Г. Вахромеева. В ходе работы над диссертацией автор пользовался консультациями и всесторонней поддержкой д.г.-м.н. Батсук Н., к.г.-м.н. Алей М, сотрудников ИрННТУ кандидатов геол.-мин. наук: Диденкова Ю.Н., Тугариной М.А., Верхозина И.И., а также Оргильянова А.Ю и Бадминова П.С. (Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск) и многих других коллег, которым также приносится большая и особая благодарность. Автор чтит память Лаурета государственной премии, профессора В.М. Степанова, заслуженного работника науки РАН, профессора Б.И. Писарского и к.г.-м.н. Нарангэрэл З., оказывавших настоящим исследованиям необходимое внимание и всемерную поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** рассматривается история изучения термальных вод Монголии, приводятся сведения о начальных периодах и этапности изучения минеральных и термальных вод на всей ее территории. Отмечен вклад как российских, так и монгольских исследователей при геологоразведочных работах на различные полезные ископаемые в разных районах, что позволило попутно расширить общие представления о гидроминеральных ресурсах страны, в том числе и по гидротермам.

В **главе 2** приведен обзор физико-географических и геологических условий Хангайской гидротермальной системы в пределах одноименного поднятия, которое находится в западной и центральной частях страны, примерно в 400 км западнее Улан-Батора. Территория Центральной Монголии представляет собою типичную горную область. Максимальная абсолютная высота гор Хангая составляет 4031 м, однако большая часть вершин имеет высоту 2000–3800 абс. м.

В геологическом строении Хангайского сводового поднятия принимает участие комплекс осадочных и магматических пород, а также относительно большее распространение, преимущественно на севере и крайнем западе, имеют кристаллические сланцы, известняки и гранито-гнейсы древнепалеозойских и докембрийских пород. На территории этой области широко распространены кайнозойские, в большинстве случаев, четвертичные базальты, связанные с центральными (стратовулканы) и трещинными излияниями лав. В разрезе юрских отложений региона выделяются два резко отличных по составу и возрасту пространственно разобщенных комплекса: преимущественно вулканогенный и

угленосный. Четвертичные отложения генетически представлены ледниковыми и озерно-аллювиальными типами осадков.

Складчатые сооружения Монголии были сформированы в различные периоды палеозойской эры, хотя немаловажная роль в их формировании принадлежит также и более древним докембрийским и более молодым мезозойским тектоническим подвижкам. Тектоника страны характеризуется сложным глыбовым, мозаичным строением, обусловленным сочетанием разноориентированных структурных элементов, ограниченных часто сетью пересекающихся разломов ортогональной или диагональной ориентировки. Отметим, что разрывные нарушения для решения гидрогеологических задач можно разделить на глубокие, региональные (структурообразующие) и локальные (обводненные) (рис. 1).

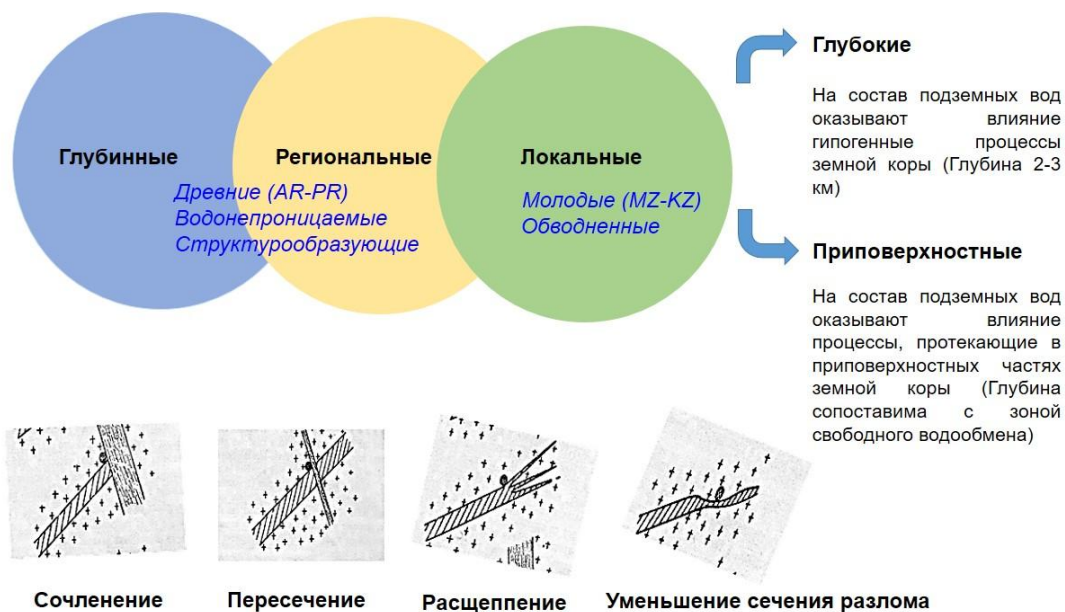


Рис. 1. Систематизация разрывных нарушений для гидрогеологических целей.

Благодаря структурно-гидрогеологическому анализу установлено, что узлы пересечения структурообразующих (глубинных) с глубокими (приповерхностными) разломами сопровождаются на земной поверхности выходами источников с термальными водами. Эти участки сопряжений разноранговых тектонических дислокаций, приуроченных к сейсмически активным районам, связаны с новейшими тектоническими движениями. Районы распространения месторождений термальных вод в глубоких разломах расположены в центральной и северо-западной частях Монголии. Подавляющее большинство месторождений термальных вод приурочено к глубоким разломам северо-западного простирания, либо к участкам пересечения северо-западных структур с разрывами северо-восточного направления.

Особенностью неотектоники Центральной Монголии является наличие глубоких радиальных разломов, возникших в результате действия сил растяжения под влиянием интенсивного общего сводового поднятия этой огромной территории, особенно в конце третичного – в начале четвертичного времени. В процессе дальнейшего тектонического развития данной области появлялись новые разломы, а некоторые из более древних разломов неоднократно подновлялись. Отзвуки активных тектонических движений отмечаются и в современную эпоху, о чем

свидетельствует ежегодно происходящие на этой территории землетрясения, иногда катастрофического характера.

В главе 3 рассмотрены структурно-гидрогеологические условия Хангайского сводового поднятия. Гидрогеологическое районирование центральной части Монголии произведено по геолого-структурному принципу, использованному авторами-гидрогеологами для аналогичного районирования смежной к северу и востоку территории страны. Выделение гидрогеологических районов в регионе произведено на основе морфоструктурной схемы.

Рассматриваемая территория исследований расположена в пределах двух крупных гидрогеологических регионов – Северного и Южного, соответствующих одноименным тектоническим мегаблокам. Гидрогеологические районы подразделяются на гидрогеологические районы первого порядка: в Северном регионе их три, в Южном – два. Районы первого порядка отвечают одноименным складчатым системам, которые сформировались в разные эпохи складкообразования. Районы первого порядка имеют сложное строение, в них выделяются более мелкие районы второго порядка – гидрогеологические массивы, адмассивы, адбассейны, вулканогенные супербассейны и артезианские бассейны.

Образование всех перечисленных структур Монголии происходило в различные геологические эпохи, но наиболее широко распространенными являются гидрогеологические массивы, сложенные протерозойскими, палеозойскими и интрузивными комплексами. Все остальные структурные подразделения имеют наложенный характер, наиболее типичными из которых являются молодые впадины, выполненные мезозойскими и кайнозойскими осадками – артезианские бассейны.

Под гидрогеологической структурой принято понимать (Степанов, 1980; Основы, 1980; и др.) геологическое тело, внутри границ которого остаются непрерывными характер распределения подземных вод в горных породах, условия формирования их ресурсов и состава. Систематизация гидрогеологических структур Центральной Монголии является исходным положением для построения геолого-структурных моделей месторождений термальных вод, определения граничных условий, выбора оптимальных моделей и расчётных схем для оценки запасов и ресурсов гидротерм. На основе структурно-гидрогеологического районирования Хангайского сводового поднятия в Центральной Монголии, автором выделено 3 типа гидрогеологических структур, различающихся условиями формирования и распределения подземных вод: гидрогеологические массивы, гидрогеологические бассейны и обводненные разломы.

Глубокие обводненные разломы, как и приповерхностные разрывные дислокации, являются, в основном, структурами поперечными. Они опережают глубинные и региональные разломы, тектоническая активность которых возобновилась на современном этапе. На территории Хангайского сводового поднятия глубокие дизъюнктивные дислокации, в основном, проявляются многочисленными выходами термальных источников, которые формируют месторождения гидротерм в Центральной Монголии, Хангайскую гидротермальную систему.

В рассматриваемом регионе известны многочисленные проявления термальных вод (гидротерм) и минеральных озёр. Минеральные воды представлены азотными термальными, холодными углекислыми и радоновыми водами, а также азотными и метановыми солеными водами и рассолами. Район исследований расположен в

пределах трех провинций развития минеральных вод, выделенных в разные годы Н.А. Мариновым и В.Н. Поповым [1963], Е.В. Пиннекером и др. [1976], Д. Доржсуреном [1983] и др. Северную часть района занимает провинция азотных термальных вод, центральную и южную – провинция азотных, метановых соленых вод и рассолов, в северо-восточной части небольшая территория относится к провинции углекислых холодных вод. В газовом составе всех типов термальных вод преобладает азот (79,5–91,5 %, об.), присутствуют растворенный сероводород, концентрация которого изменяется от 1 до 16,7 мг/л, и кремнезем, в количестве, превышающем бальнеологическую норму. Для терм характерны повышенные содержания также аргона и гелия.

Для прогнозной оценки исследуемой территории на возможные проявления термальных вод, большое значение имеет корректное использование структурно-тектонических, гидрогеологических и других критериев (признаков), используемых для характеристики общих закономерностей формирования и обоснования возможности обнаружения выходов или месторождений термальных вод. Разработка общих методических основ поиска и оценки благоприятных участков (зон) выходов гидротерм считалось ранее, и является ныне весьма важной задачей.

Анализ распределения подземных вод в гидрогеологических структурах Монголии свидетельствует о том, что их наиболее крупные скопления формируются в пределах бассейнов и обводненных разломов, причем: в зонах дробления приповерхностных разломов локализуются, как правило, холодные пресные подземные воды, а трещинно-жильные воды глубоких разломов обладают повышенной температурой, специфическим составом, но также низкой величиной минерализации. Поэтому, поисковыми признаками проявлений трещинно-жильных термальных вод и локализации месторождений гидротерм следует считать комплекс поисковых критериев благоприятных участков (зон), включающий сейсмический, литологический, гидрогеотермические, структурно-тектонические, геоморфологические, магматические, криогенные, геофизические, гидрогеохимические признаки.

Таким образом, на основе структурно-гидрогеологического районирования Хангайского сводового поднятия автором выделено 3 типа гидрогеологических структур, различающихся условиями формирования и распространения термальных вод: гидрогеологические массивы с распространением трещинно-грунтовых вод; гидрогеологические бассейны спорово- и трещинно-пластовым типом подземных вод и обводненные разломы с подземными водами трещинно-жильного типа. Глубокие дизъюнктивные дислокации проявляются многочисленными выходами термальных источников, которые формируют месторождения гидротерм Центральной Монголии. Разработан комплекс поисковых признаков (критериев) проявлений трещинно-жильных термальных вод на благоприятных участках (зонах), включающий различные, характерные показатели. Месторождения гидротерм, связанные с обводнёнными разломами Хангайской гидротермальной системы, разделяются на три соответствующих типа, имеющих общие гидрогеохимические и другие показатели (табл. 1).

В главе 4 изложены геолого-геотермические условия мест проявлений термальных вод на территории Хангая. В первую очередь необходимо уточнить термин «гидротермальная система», под которым понимается часть Земной коры над

Систематизация месторождений термальных вод в обводнённых разломах Хангайской гидротермальной системы

N п/п	Название месторождения	Глубинные и региональные разломы	Локальные разломы (обводненные)			Структурные типы глубоких обводненных разломов
			Глубокие разломы	Приповерхностные разломы	Выходы родников трещинно-жильных вод	
1	Хульж	Могогская субмеридиональная зона	Оперяющий разлом Номгон уулын А. Типы тектонических нарушений: Сбросы Б. Песчаники и конгломераты В. Северо-западного простирания Г. Котловина вытянута в меридиональном направлении на 16 км	Оперяющие разломы Догзон и Баруун наран А. Следы тектонических нарушений Б. Зона выветривания В. Глубоковрезанные овраги	<u>Термальные</u> А. Месторождение <u>Могог:</u> Температура воды: +37...45° С	Молодые открытые тектонические разрывы, причленяющиеся под разными углами к глубинным или региональным разломам
2	Хужирт	Орхонская зона разломов	Оперяющие разломы Хужиртын А. Типы тектонических нарушений: сбросо-надвиги и сбросы Б. Конгломераты, песчаники (К), граниты лейкократовые. В. Узкая долина р. Хужирт (СЗ простирания 320°)	Оперяющие разломы Хөндлөн и Шар А. Следы тектонических нарушений Б. Зона выветривания В. Глубоковрезанные овраги	<u>Термальные</u> А. Месторождение <u>Хужирт:</u> Температура воды: +35...52 °С	Грибообразные зонтичные и зонтичные структуры
3	Шаргалжуут	Баянхонгорская зона разломов	Оперяющие разломы Шаргалжуутын А. Типы тектонических нарушений: сбросы Б. Диориты, граниты лейкократовые В. Узкая долина р. Шаргалжуут (Субширотного простирания, угол падения 80–90°)	Оперяющие разломы Дорлиг и Лхам А. Следы тектонических нарушений Б. Зона выветривания В. Глубоковрезанные овраги	<u>Термальные</u> А. Месторождение <u>Шаргалжуут:</u> (Выходы рассеянные) Температура воды: +40...92 °С	Ветвистые структуры

источником теплового питания и области его влияния; в пределах этой области происходит перенос тепловой энергии с глубин к дневной поверхности посредством конвекции воды в жидкой или парообразной фазе при положительных температурах. Область, в пределах которой осуществляется циркуляция термальных вод и перенос тепла паровой фазой, считается геотермальным резервуаром.

В бассейнах осадконакопления в зоне геостатического давления формируется мощный водоносный горизонт, воды которого аккумулируют большое количество избыточного внутриземного тепла. Благодаря этому геотермические градиенты здесь резко уменьшаются, и данный горизонт определяет в целом общую разгрузку тепла на территории бассейна. Это и есть та часть избыточного тепла, которая может быть использована для практических целей. Из недр Земли тепло может быть получено с перегретыми водами, свойственными для гидротермальных систем.

Геотермальные области характеризуются повышенными тепловыми потоками, обусловленными как локальными скоплениями термальной воды в земных недрах, так и равномерным прогревом горных пород на больших площадях. В первом случае в переносе избыточного глубинного тепла основную роль играет конвекция, а во втором – теплопроводность (кондукция). Горячие источники со свойственной газовой составляющей представляют собой поверхностные проявления гидротермальных систем (рис. 2). Установлено (Хуторской, 1996), что под районами Центральной Монголии в верхней мантии сконцентрирован малоплотный и аномально нагретый материал. С областью разуплотнения мантии пространственно и генетически связаны излияния базальтов в неогено-четвертичное время. Наиболее молодые базальты приурочены к оси Хангайского сводового поднятия. В этой зоне сконцентрировано большое количество термальных источников с температурой 35–86 °С и содержанием $He = 0,25–1,0 \%$.



Рис. 2. Испарения источников гидротерм на месторождении Шаргалжуут.

Пространственно очаги разгрузки гидротермальных систем Монголии находятся в районах проявлений четвертичного щелочного вулканизма Прихубсугуля и Северного Хангая, а также в области известково-щелочного вулканизма Хэнтэя. Высказанное предположение о дополнительном тепловом питании вполне обосновано. Подтверждением этого является повышение

изотопного отношения гелия в пробах газа, отобранных из источников, приуроченных к району развития четвертичного вулканизма. Максимальные отношения ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 10^{-5}$, определенные в газах, отражают примесь первичного He , сохранившегося в подкоровых геосферах, и являются прямым индикатором современной разгрузки тепломассопотока из мантии в земную кору.

Проведена прогнозная оценка основных показателей гидротермальных систем Центральной Монголии, в частности, по кремниевому и катионным геотермометрам. Значения глубинных температур (46–128 °С), полученных Si -геотермометром, позволили выделить наиболее перспективные участки вне зависимости от природы возникновения тепловой аномалии. Ими на территории Хангая оказались месторождения термальных вод Шивэрт, Булнай, Отгон тэнгэр, Чулуут, Хуйтэн, Хужирт, Цохиот, Хурэмт, Хульж.

Температура подземных вод за пределами районов современной вулканической деятельности остается важнейшим критерием глубины проникновения метеогенных вод в открытых каналах разрывных дислокаций. Для оценки глубинных температур применена методика, использующая данные о химическом составе гидротерм. Теоретически и экспериментально установлена зависимость концентрации кремнезема и соотношения ряда щелочных металлов от температуры термальных источников, позволяющая по концентрации того или иного компонента оценить температуру на глубине формирования гидротерм.

На основе изложенных положений сделаны принципиальные выводы. *Пространственная приуроченность очагов разгрузки гидротерм Хангая, находящихся в районах проявлений четвертичного вулканизма, связана с особенностями глубинного строения Центральной Монголии, и сопряжена, главным образом, с ее тектонической активизацией в современную эпоху. Гидротермальная система региона характеризуются повышенными тепловыми потоками, обусловленные выносом глубинного тепла из недр Земли, в основном, за счет конвекции, оцененной по изотопному составу гелия (${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 10^{-5}$), что свидетельствует о более позднем, дополнительном поступлении флюидов из мантии. Обоснована ведущая роль рифтогенного геодинамического режима развития Хангайского поднятия в формировании современных гидротерм, выводимых на дневную поверхность по зонам дробления пород глубоких обводненных разломов.*

В главе 5 представлена ресурсная база проявлений термальных вод и основных месторождений гидротерм Хангайского сводового поднятия. Характерными представителями группы гидрокарбонатных натриевых гидротерм являются воды месторождений Хужирт и Шаргалжуут (рис. 2), на базе которых функционируют санатории местного и республиканского значения. Отметим, что эксплуатационные запасы месторождения термальных вод Хужирт, рассчитанные по категориям А+В+С, составляют 1742,4 м³/сут (табл. 2). А суммарный дебит горячих источников месторождения Шаргалжуут с температурой воды 48–90° С составляет 51,0 л/с. Здесь, на участке площадью 0,25 км² имеется более 80 источников с температурой воды выше 40° С.

Представителями группы сульфатных натриевых гидротерм являются такие месторождения, как Сайхан Хульж и Отгонтэнгэр, на базе которых существуют курорты также республиканского значения. Установлено, что термальные воды Отгонтэнгэр приурочены к зоне тектонического дробления интрузивных пород, а их

разгрузка связана с оперяющими и поперечными трещинами разного направления. В пределах месторождения выявлены 40 горячих выходов с температурой 28–55 °С.

Таблица 2

Основные типы месторождений термальных вод Хангайской гидротермальной системы как первоочередные объекты ГРП и освоения их теплоэнергетических ресурсов

№ п/п	Название месторождения	Глубинные и региональные разломы	Структурные типы глубоких обводненных разломов	Эксплуатационные запасы и ресурсы, м ³ /сут	Выработка тепла, ГДж/сут
1	Хульж	Моготская субмеридиональная зона	Молодые тектонические разрывы, причленившиеся к глубинным или региональным разломам	198,7	16,63
2	Хужирт	Орхонская зона разломов	Грибообразные зонтичные и зонтичные структуры	1742,4	145,87
3	Шаргалжуут	Баянхонгорская зона	Ветвистые структуры	5270	1134,5

Геотермальные ресурсы Монголии по использованию подразделились на 3 типа: бальнеология и санатория, теплоснабжение, электроснабжение. Теплоснабжение в стране на базе термальных вод развивалось, в основном, путём создания мелких объектов отопления, горячего водоснабжения и бальнеологии. Отметим, что к теплоэнергетическим ресурсам относятся подземные воды с температурой более 35 °С, независимо от их химического состава. Распределение термальных вод в центральной части Монголии показано на рис. 3. Для уточнения потенциала тепловых ресурсов термальных вод Хангайского сводового поднятия произведен расчёт суммарно возможной выработки тепла. Естественные ресурсы термальных вод на территории Хангайского сводового поднятия выражаются величиной **12681.29** м³/сут, что можно представить данное значение в виде **1 880 926** ГДж/сут энергетического потенциала. Значения глубинных температур, полученных геотермометром позволили выделить наиболее перспективные участки (см. табл. 2) вне зависимости от природы возникновения тепловой аномалии.

В настоящее время низко- и среднепотенциальные теплоэнергетические воды Хангайского сводового поднятия для теплоснабжения промышленных, сельскохозяйственных, гражданских объектов используются в незначительных объемах. Автором осуществлена систематизация проявлений термальных вод в Центральной Монголии по степени изученности, определены направления дальнейших исследований их бальнеологических свойств и генетического облика. Оцененный тепловой поток гидротерм Хангайской гидротермальной системы, в дальнейшем, позволяет обеспечить значительное расширение практического использования гидроминеральной и теплоэнергетической составляющей ресурсов страны. Для этого апробирован и внедрен комплекс геофизических исследований (в частности, элек-

троразведка) на перспективных участках, а также технология проходки и сооружения гидрогеологических скважин, позволяющие сохранить температуру потока и увеличить тепловой баланс восходящих флюидов.

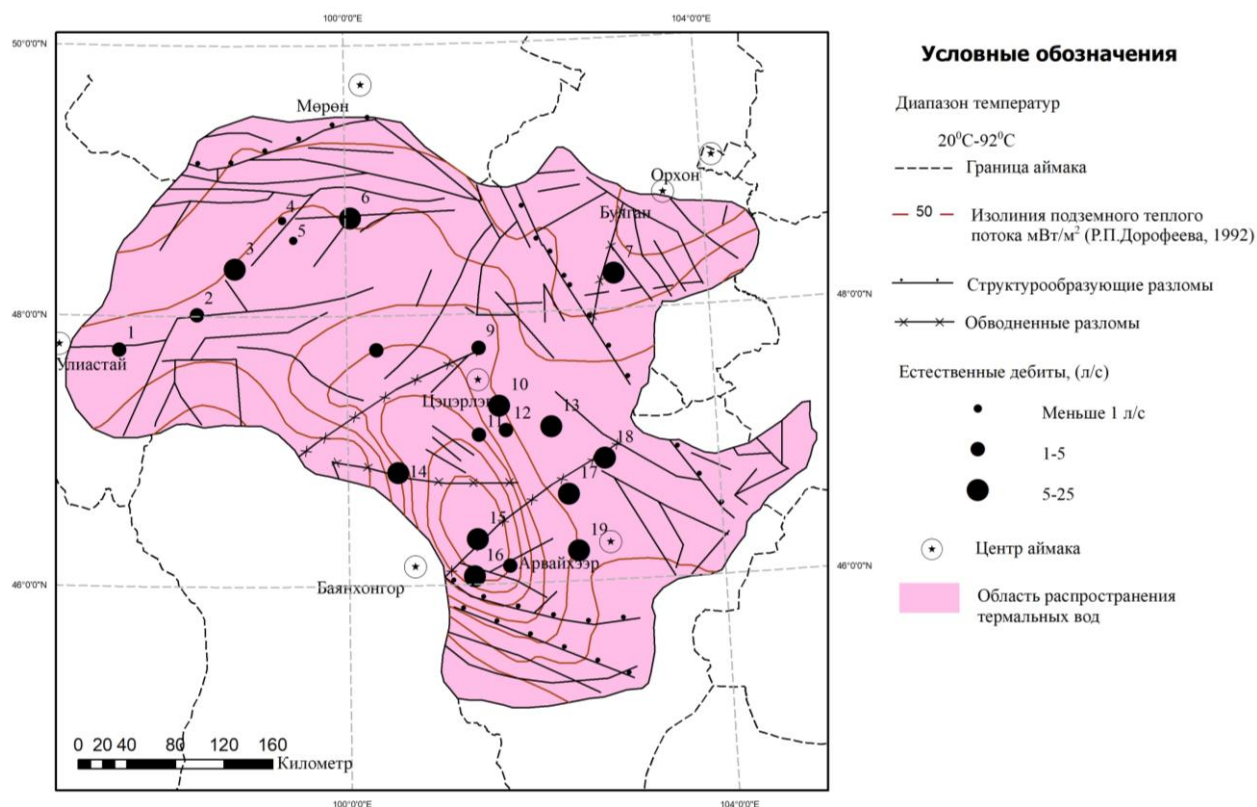


Рис. 3. Карта распространения термальных вод Хангайской гидротермальной системы.

Заключение

Наиболее существенные результаты выполненных исследований позволяют сделать выводы, представляющие научную и практическую значимость:

1. На основе структурно-гидрогеологического районирования Хангайского сводового поднятия выделено 3 типа гидрогеологических структур, различающихся условиями формирования и распределения подземных вод: горные сооружения – гидрогеологические массивы с распространением трещинно-грунтовых вод; межгорные впадины – гидрогеологические бассейны с порово- и трещинно-пластовым типом подземных вод и разрывные тектонические нарушения – обводненные разломы с подземными водами трещинно-жильного типа. В обводнённых разломах Хангайской гидротермальной системы выделяется три их типа с характерными показателями гидрогеологических структур.

2. Поисковыми признаками проявлений трещинно-жильных термальных вод и локализации месторождений гидротерм следует считать комплекс критериев благоприятных участков (зон), включающий сейсмический, литологический, гидрогеотермические, структурно-тектонические, геоморфологические, магматические, криогенные, геофизические, геохимические показатели. Поисковые критерии представляют собой такие природные факторы, которые прямо или косвенно указывают на возможность обнаружения в данных условиях проявлений (месторождений) термальных вод. Принцип комплексного изучения площади поисковых

исследований следует считать основополагающим, в соответствии с которым должна быть дана прогнозная оценка участков проявлений термальных вод.

3. Проведенная прогнозная оценка основных показателей Хангайской гидротермальной системы Центральной Монголии, в частности, по кремниевому и катионному геотермометрам, позволили выделить наиболее перспективные участки вне зависимости от природы возникновения тепловой аномалии. Ими на территории Хангайской неотектонической структуры оказались месторождения термальных вод Шивэрт, Булнай, Отгон тэнгэр, Чулуут, Хуйтэн, Хужирт, Цохиот, Хурэмт, Эмт, Халуун рашаан и др.

4. Выполненная оценка теплоэнергетических ресурсов месторождений гидротермального объекта страны – Хангайской гидротермальной системы позволяет существенно расширить масштабы и перспективы их эффективного использования на основе разработки современных представлений о закономерностях распространения и локализации трещинно-жильных термальных вод, имеющих важное народно-хозяйственное значение.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Коллективные монографии, карты и учебные издания

1. Батсух Н., Сурмаажав Д. Гидрогеологическая карта (Масштаб 1:4500000) Национальный атлас Монголии. – Улаанбаатар-Москва, 1990. – 48 с.
2. Сурмаажав Д. Учебное пособие по курсу «Оценка эксплуатационных запасов подземных вод» (на монгольском языке). Мон. ГТУ, 1993. – 86 с.
3. Сурмаажав Д., Батсух Н. Учебное пособие: Семинарские занятия по курсу «Оценка эксплуатационных запасов подземных вод» (на монгольском языке). Мон. Гос. Ун-т Науки и Технологии, 2014. – 100 с.
4. Сурмаажав Д. Учебное пособие по курсу «Поиски и разведка подземных вод» (на монгольском языке). – Улаанбаатар, 2015. – 206 с.
5. Сурмаажав Д., Пурэвсурэн С., Буяндуурэн Ц. Карта минеральных вод Монголии (под редакцией Б.И. Писарского, масштаб 1:2500000, издание перевода 2017 г.). – Улаанбаатар, 2017.

Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК

1. Сурмаажав Д. Особенности проявлений термальных вод Хангайского сводового поднятия (Монголия) // Науки о Земле и недропользование. – Том. 42. – 2019. – № 4. – С. 529–538.
2. Сурмаажав Д. Конструкция и технология бурения скважин в сложных горно-геологических условиях с целью добычи термальных вод / Д. Сурмаажав, А.Г. Вахромеев, Г.М. Толкачев [и др.] // Вестник ПНИПУ. Геология и горное дело. – 2019. – № 4. – С. 335–343.
3. Бадминов П.С., Сурмаажав Д., Шкиря М.С., Ескин А.Ю. Поиски гидрогеотермальных резервуаров геофизическими методами в Монголо-Байкальском регионе // Науки о Земле и недропользование. – Том 43. – 2020. – № 1. – С. 36–48.
4. Сурмаажав Д. Теплоэнергетические ресурсы термальных вод Центральной Монголии // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 9. – С. 106–112.

5. **Сурмаажав Д.**, Ариунаа Ч. К вопросу оценки запасов месторождения термальных вод источника Хульдж // Науки о Земле и недропользование. – Том. 44. – 2021. – № 3 (76). – С. 243–252.

**Основные работы, опубликованные по теме диссертации
в других изданиях, вне списка ВАК**

1. Батсух Н. Структурно-гидрогеологические условия Хубсугульского фосфоритоносного бассейна / Н. Батсух, В.Е. Путятин, **Д. Сурмаажав** // Природные условия и ресурсы некоторых районов МНР. – Улаанбаатар, 1986. – С. 38–39.
2. **Сурмаажав Д.** Гидрогеологические условия депрессии «Балгасын Улан нур» / Д. Сурмаажав, Р. Баттемер // Вопросы геологии и полезных ископаемых центральной и восточной Монголии. – Улаанбаатар, 1987. – С. 88–90.
3. Алей М. Условия распространения подземных вод в гидрогеологических структурах центральной части Южной Монголии / М. Алей, Н. Батсух, В.М. Степанов, **Д. Сурмаажав** // Вопросы геологии и металлогении Монголии и сопредельных территорий. – Иркутск, 1989. – С. 84–85.
4. **Сурмаажав Д.** Экспериментальные исследования процессов формирования ресурсов подземных вод засушливых территорий / Д. Сурмаажав, М. Алей // Геология и разведка недр МНР. – Улаанбаатар, 1989. – С. 165–167.
5. **Сурмаажав Д.** Исследования подземных вод Южной Монголии с помощью трития / Д. Сурмаажав, Д.В. Ефимова // Учёные записки Монг. политех. инс-та. – Улаанбаатар, 1990. – № 2/12. – С. 107–111.
6. **Сурмаажав Д.** Новые данные эксперимента конденсата в Хангае / Д. Сурмаажав, Д. Буян-Арвижах, Д. Энхчулуун // Научные труды Мон. Тех. Ун-та. – Улаанбаатар, 1993. – № 3 (18). – С. 132–136.
7. **Сурмаажав Д.** Условия формирования и распределения подземных вод в Центральной Монголии // Геология и минерагения центральной Азии. XIX международная научно-техническая конференция КМГЭ. – Иркутск.: Изд-во Ирк. гос. тех. ун-та, 2015. – С. 68–75.
8. **Сурмаажав Д.** Условия и распределения подземных вод в мерзлых зонах Монголии // Всероссийское совещание по подземным водам востока России: Материалы XXI Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Якутск: ЯГУ, 2015. – С. 430–432.
9. **Сурмаажав Д.** Термальные воды месторождения «Шаргалжуут» / Д. Сурмаажав, Н. Лхагва // Мон. Гос. Ун-т Науки и Технол. Сер. гидрогеол. – 2015. – № 31. – С. 149–153.
10. **Сурмаажав Д.** Особенности распределения термальных вод в разломах Монголии // Материалы научной конференции межвузовской Керуленской геологической экспедиции. – Улаанбаатар, 2017. – С. 198–200.
11. **Сурмаажав Д.** Теплоэнергетические ресурсы термальных вод Монголии и их использование // Мон. Гос. Ун-т Науки и Техн. Сер. гидрогеол. – 2017. – № 25. – С. 18–25.
12. **Сурмаажав Д.** Условия формирования термальных вод Монголии // Всероссийское совещание по подземным водам Востока России. Материалы XXII Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2018. – С. 464–468.

13. Сэлэнгэ Г. Минеральные углекислые воды месторождения Халзан уул и образования вторичных минералов / Г. Сэлэнгэ, Д. Сурмаажав // Мон. Гос. Ун-т Науки и Технологии. Сер. гидрогеол. – 2018. – № 26. – С. 166–175.
14. Бадминов П.С. Перспективы практического использования термальных вод Хангая // П.С. Бадминов, А.И. Оргильянов, Б. Намбар, С.В. Алексеев, И.Г. Крюкова, Д. Сурмаажав, Д. Оюнцег // Тезисы XII Рос.-монг. междунар. конф. «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика». – Иркутск: изд-во ИГУ. – 2018. – С. 83–84.
15. Нарангэрэл З. Углекислые минеральные холодные воды «Аварга» Восточной Монголии / З. Нарангэрэл, Д. Сурмаажав // Всероссийское совещание по подземным водам Востока России. Материалы XXII Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2018. – С. 323–326.
16. Сурмаажав Д. Поисковые критерии термальных вод и локализаций месторождений // Мон. Гос. Ун-т Науки и Техн. Сер. гидрогеол. – 2019. – № 27. – С. 8–12.
17. Сурмаажав Д. Особенности состава термальных вод месторождения Хульдз (Центральная Монголия) / Сурмаажав Д., Батжаргал Д., Ариунаа Ч. // Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа (Geothermal Volcanology Workshop. 2021). Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. – Петропавловск-Камчатский. – 2021. – С. 27–32.
18. Сурмаажав Д. Термальные воды Центральной Монголии // Подземная гидросфера. Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам Востока России с международным участием – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2021. – С. 106–110.

Подписано к печати 2 февраля 2022 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Таймс.
Печать Riso.
Усл. печ. л. 1.25. Тираж 100 экз. Заказ 615.
Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН.
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.