

УДК 550.837.82:556(517.3)

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

Сурмаажав Д.*Корпорация «Монгол Ус», Улан-Батор, e-mail: surmaajavdamdin@yahoo.com*

К перспективным районам, содержащим термальные воды, обычно относят территории с многочисленными локальными термопроявлениями, как правило, связанными с тектоническими движениями кайнозойского возраста. Целью данной статьи является исследование возможности оценки теплоэнергетических ресурсов Центральной Монголии геотермическими, структурно-тектоническими, гидрогеологическими исследованиями. Для достижения поставленной цели использованы следующие методы: геотермические исследования и разведочные работы по изучению и выявлению ресурсов природных тепловых носителей, которые могут использоваться в теплоэнергетических целях. В результате проведенных в последние годы геолого-структурных, геотермических и гидрогеологических исследований на территории Хангайского сводового поднятия установлены особенности формирования гидротермальных систем Хангая. Глубинные интрузии и вулканизм представляет собой классические примеры проявления восходящего теплопереноса из верхней мантии. Геотермальные области Центральной Монголии характеризуются повышенными тепловыми потоками, выходами и месторождениями термальных вод. Приведены примеры использования теплоэнергетических ресурсов и оценена возможность расширения курортной базы страны. Наиболее перспективными для поисков гидротермальных вод являются регионы, испытавшие интенсивное воздействие новейших тектонических движений и вулканизма, преимущественно расположенные в складчатых областях. Термальные воды здесь имеют локальное развитие и относятся к трещинно-жильному типу. К наиболее продуктивным следует отнести районы Хангайского сводового поднятия, на территории которого оказались месторождения гидротерм Шивэрт, Шаргалжуут, Цэнхэр, Отгонтэнгэр, Хужирт и др. В настоящее время в Центральной Монголии теплоэнергетический потенциал Хангайского сводового поднятия в незначительных объемах используются для теплоснабжения промышленных, сельскохозяйственных, гражданских объектов и в дальнейшем рассматривается возможность комплексного широкомасштабного применения термальных вод региона, в том числе и для выработки электроэнергии.

Ключевые слова: термальные воды, месторождение термальных вод, Хангайское сводовое поднятие, теплоэнергетические ресурсы, гидротермальная система, разломы

THERMAL ENERGY RESOURCES OF THERMAL WATERS OF CENTRAL MONGOLIA

Surmaazhav D.*Mongol Us Corporation, Ulaanbaatar, e-mail: surmaajavdamdin@yahoo.com*

To perspective areas containing thermal waters usually carry territories, with numerous local thermodisplays, as a rule, connected with tectonic movements Cainozoic age. The purpose of given article is research of possibility of an estimation of heat power resources of the Central Mongolia by geothermal, structurally-tectonic, hydrogeological researches. For object in view achievement following methods are used: Geothermal researches and prospecting works on studying and revealing of resources of natural thermal carriers which can be used in the heat power purposes. As a result of carried out in recent years geological and structural, geothermal and hydrogeological research in the territory of the Hangaysky svodovy raising features of forming of hydrothermal systems of Hangaya are established, deep intrusions and volcanism represents classical examples of manifestation of the ascending heatmass transfer from upper mantle. Geothermal areas of the Central Mongolia are characterized by the raised heat fluxes, exits and fields of thermal waters. Examples of use of heat power resources are resulted and possibility of expansion of resort base of the country is estimated. The most perspective for search of thermal waters are the regions which experienced the intensive impact of the latest tectonic movements and volcanism which are mainly located in folded areas. Thermal waters have local development here and belong to treshchinno-wire type. It is necessary to carry regions of the Hangaysky svodovy raising in the territory of which there were fields a hydroterm of thermal Shivert waters, Shargalzhuut, Tsenkher, Otgontenger, Huzhirt, etc. to the most productive. Now in the Central Mongolia the heat power potential of the Hangaysky svodovy raising in insignificant volumes are used for heat supply of industrial, agricultural, civilian facilities and further the possibility of complex large-scale use of thermal waters of the region including for power production is considered.

Keywords: thermal waters, a deposit of thermal waters, the Khangai arch a raising, heat power resources, hydrothermal system, faults

Вопросы изучения и практического использования недр Земли обычно привлекают большое внимание исследователей, особенно в последнее десятилетие. Во многих странах осуществляются широкие геотермические исследования и разведочные работы по изучению и выявлению ресурсов

природных тепловых носителей, которые могут использоваться в теплоэнергетических целях. Большие работы, проведенные в этом направлении в Новой Зеландии, Италии, Японии и других зарубежных странах, а также разносторонние исследования и разведка термальных вод в Монголии

дали обширные новые материалы о возможных тепловых ресурсах и перспективах использования различных геотермальных месторождений. Накопленные данные о тепловом режиме различных регионов – областей современного и молодого вулканизма и многих складчатых областей – в сочетании с результатами разведки и использования многих месторождений термальных вод позволяют в настоящее время обоснованно и реально подойти к оценке их практической реализации. Основные очаги разгрузки гидротермальных систем в Монголии расположены в районах интенсивного четвертичного щелочного вулканизма Прихубсугуля и Центрального Хангая, а также в области позднепалеозойского вулканизма западного склона Хэнтэя [1].

Материалы и методы исследования

В публикации использовались результаты полевых, аналитических и теоретических исследований, проводимых разными монгольскими и международными организациями, а также лично автором и при его непосредственном участии. Эти материалы до сих пор не опубликованы и содержатся в нескольких геологических фондах на территории Монголии.

Известно, что тепло, генерируемое на глубине в несколько сотен километров за счет одной теплопроводности, не могло бы достигнуть земной поверхности за время большее, чем миллион лет. Поэтому представляется вероятным, что развитие повышенных геотермических градиентов и соответствующих тепловых потоков вблизи земной поверхности должно вызвать массоперенос со значительной глубины, а именно от 5 до 20 км или в более геологически короткие отрезки времени. Глубинные интрузии и вулканизм представляют собой классические примеры проявления восходящего массопереноса из верхней мантии и глубоких зон земной коры. Интрузии и вулканы в современную эпоху и в недавнем геологическом прошлом наиболее развиты в подвижных поясах земной коры. С этими поясами совпадают главные линии эпицентров землетрясений. Вдоль некоторых из них проявились деформации, связанные с растяжением земной коры, тогда как в других местах сжатие вызвало погружение коровых блоков в мантию и образование желобов.

Структурно-геологическими факторами повышенного теплового потока являются современные геосинклинали, которые хотя

и не совпадают с линиями эпицентров землетрясений, но относятся к местам крупных опусканий, приводящих к погружению на глубину 5–10 км огромных масс осадков в геологически короткое время. В бассейне нередко крупные разломы с амплитудой смещения более 1 км, и наиболее важные структурные особенности здесь четко определяются развитием нормальных сбросов. Такой характер опускания блоков обуславливает изменение физико-химического состояния как осадочного, так и нижележащих комплексов вплоть до верхней мантии. Слабоконсолидированные осадочные породы со значительным содержанием воды подвергаются интенсивному нагреванию и огромному давлению.

Геосинклинальные бассейны, простирающиеся у подножий горных хребтов, образуют смятия в виде складок и приподнятые пласты с внедрением в них во многих местах изверженных пород. Наиболее глубокие осадки бассейна подверглись термометаморфизму и из этой зоны к земной поверхности происходит движение геотермальных флюидов. В глубоких геосинклинальных бассейнах термальный флюид не связан непосредственно с метеорными водами, питающими приповерхностные горизонты, и высвобождается из порового пространства осадочных толщ под действием геостатического давления. В бассейнах осадконакопления в зоне геостатического давления формируется мощный водоносный горизонт, аккумулирующий огромное количество избыточного внутриземного тепла. Благодаря этому, геотермические градиенты здесь резко уменьшаются и данный горизонт определяет в целом общую разгрузку тепла на территории бассейна.

Геотермальные области обычно тесно связаны с повышенными тепловыми потоками, обусловленными локальными скоплениями термальной воды в земных недрах (конвекция), или с равномерным прогревом горных пород на больших площадях (кондукция) [2, 3]. Особенности формирования гидротермальных систем определяют совокупность упомянутых факторов, а именно – наличием пластов нагретых пород вблизи земной поверхности, отражающих относительно недавнюю вулканическую деятельность и наличие в этих пластах горизонтов трещинных и поровых вод, выступающих в качестве переносчика тепла. Горячие источники представляют собой поверхностные проявления гидротермальных систем региона.

Гидротермальные системы характерны для районов современной вулканической деятельности и постмагматических процессов, а также для бассейнов пористых осадочных пород с повышенным геотермическим режимом. Системы первого типа имеют большее значение, поскольку характеризуются высокой концентрацией энергии. Основные из них приурочены к глобальным континентальным и срединно-океаническим поясам альпийского орогенеза. Системы второго типа также размещаются вдоль альпийских орогенических поясов. Избыточное глубинное тепло, проявляющееся в его повышенном потоке, генерируется в подкоровой магме в условиях разрастания континентальной коры и воздымания континентов. Эти системы не связаны с вулканическими проявлениями и представляют собой тектонически опускающиеся бассейны, которые заполняются осадками за счет эрозии окружающих горных массивов. Повышенный тепловой поток является причиной быстрого возрастания температуры с глубиной.

Температура и давление вместе с веществом составом гидротермальной системы определяют ход развития любого глубинного процесса, в том числе и формирования термальных вод. Отметим, что температура подземных вод дает общее представление о физических условиях ее формирования, а с учетом температурного градиента, и о глубинах внутриземной циркуляции. По температуре формирования подземного флюида и геотермическому градиенту в регионе определялась глубина формирования водного раствора. Приближенная оценка температур пород земной коры выполнялась решением уравнений теплопроводности для разных моделей с учетом измеренных значений теплового потока в качестве граничных условий. Все эти перечисленные факторы учитывались при гидрогеологическом районировании территории Монголии.

Оценка тепловых потоков по изотопам гелия позволила уточнить его распределение на территории Центральной Монголии и установить вариации в неразбуренных скважинах ареалах (в частности, на Хангайском поднятии). Выявлена зависимость величины отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ и теплового потока с глубинным строением региона. Для оценки температур более глубоких интервалов земной коры применялась методика, использующая данные о химическом составе гидротерм. Оценка глубинных температур подземных вод, в основном, выпол-

нялась с использованием геохимических геотермометров.

Геотермические условия Центральной Монголии

Величина геотермического градиента тесно связана с характером геологического строения территории, литологического состава пород и других параметров. В тектонически спокойных областях тепловой поток заметно не меняется. Тектонически активные области обычно отличаются аномально высокими или аномально низкими вариациями теплового потока. В Монголии найдены три типа регионального распределения теплового потока: узкая линейная положительная аномалия, связанная с Хубсугульской частью Байкальской рифтовой зоны; область закономерно изменяющегося теплового потока в зависимости от времени последней тектоно-магматической активизации; зона аномально низкого теплового потока в Южно-Монгольском герцинском поясе.

Распределение теплового потока в Центральной Монголии связано со структурно-вещественной перестройкой «первичной» континентальной коры, происходившей как за счет внедрения разогретого мантийного материала в земную кору и последующего его остывания ($PR-C_1$), так и за счет надвигания корово-мантийных блоков на одновозрастный автохтон (C_3-P). Тепловой поток в линейных палеозойских складчатых зонах имеет аномально низкие величины (20–350 мВт/м²), что в два раза ниже среднепланетарных значений для структур того же возраста. Такие аномалии, как правило, генетически связаны с процессами структурной реорганизации $PR-C_1$, литосферы в линейных зонах, как реакция на формирование мощных шарьяжно-надвиговых структур, экранирующих глубинный тепловой поток. Пониженная температура и теплопроводность литосферы являются причиной состояния нестационарности кондуктивного теплового потока от позднего палеозоя до настоящего времени.

В районах Хангая известны кайнозойские вулканы Хануй, Тариат и др., а также обширные поля базальтоидов. Значительный объем кайнозойских базальтов приурочен к широтной зоне Северо-Хангайских разломов, игравших важную роль в размещении магматических образований более ранних этапов. Кайнозойский рифтогенез вызвал активизацию этих зон на значи-

тельные расстояния в стороны от главной вулканической области. Северо-Хангайскую зону разломов тектонически можно сравнить с современными трансформными разломами Мирового океана, при этом отрезок этой зоны между 100° и 102° восточной долготы трассирует активную часть трансформы, лежащую между его осями [4–6].

Предполагается, что под центральными районами Монголии в верхней мантии располагается область низкоплотного и аномально нагретого материала. Разуплотненная область мантии пространственно и генетически связана с излияниями базальтов в неоген-четвертичное время. Наиболее молодые базальты приурочены к оси Хангайского сводового поднятия. В этой зоне сконцентрировано большое количество термальных источников с температурой $35\text{--}86^{\circ}\text{C}$ и с содержанием $\text{He} = 0,25\text{--}1,0\%$. В целом территория центральной части Монголии обладает значительным количеством источников термоминеральных вод. Многие из них расположены в неохваченных бурением районах, где прямых данных о распределении глубинных температур и тепловых потоков пока не получено.

Геотермальная активность Хангая реализуется не только в форме идущего из недр кондуктивного теплового потока, но и в виде гидротермальной и вулканической деятельности, отвечающей конвективному механизму теплопередачи. Глобальное изучение гидротермальных процессов показано, что определенные особенности состава подземных флюидов тесно связаны с геотермическими условиями их формирования. Поэтому изучение этих особенностей также дает информацию о тепловом режиме недр, которая дополняет результаты прямых геотермических наблюдений и служит основанием для прогноза глубинных геотермических условий в недостаточно изученных районах [7, 8]. На территории Монголии выявлено большое количество источников гидротерм, для которых вынос тепла с подземными водами по масштабу сопоставим с теплопереносом в тектонически активных районах земного шара.

М.Д. Хуторской и др. [8] рассмотрели некоторые геохимические характеристики подземных флюидов, связанные с тепловым режимом недр, и вытекающие из них представления о региональной специфике геотермальных условий Монголии. Ранее была теоретически и экспериментально обоснована зависимость содержания крем-

незема и соотношения ряда щелочных металлов от температуры термальных источников. Это позволяет по концентрации того или иного компонента оценивать температуру на глубине формирования гидротерм, исходя из предположения о равновесии в системе «вода – порода – газ». Отсутствие значительного осаждения или растворения этих компонентов по пути миграции гидротермы из зоны нагрева к выходу источника на дневную поверхность позволяет достаточно точно фиксировать этот процесс. При достижении определенного уровня концентрации кремнезема и щелочных металлов термальные воды относительно длительное время сохраняют эту концепцию при охлаждении гидротерм, что явилось основой для создания кремниевого и катионных геотермометров [1–3], которые сейчас широко используются для решения определенных задач.

Теплоэнергетические ресурсы Монголии

Месторождения термальных вод представляют собой естественные скопления в верхних частях земной коры различных теплоносителей (магмы, горячие газы, пар, термальные воды), обладающих высокими тепловыми параметрами, которые позволяют использовать их в теплоэнергетических целях. Они могут формироваться в разнообразных геоструктурных условиях и существенно различаться по составу теплоносителей и тепловой мощности. Выявление типов геотермальных месторождений, геологических закономерностей их образования и возможных тепловых ресурсов необходимо для правильной оценки их практического использования. Тип месторождения может быть определен четырьмя основными показателями: видом теплоносителя, геоструктурным положением, составом теплоносителя, тепловыми параметрами. Геотермальные месторождения подразделяются по виду теплоносителя: магматическим, газопаровым, гидротермальным и воздушным. Площадное распространение термальных вод в центральной части Монголии показано на рис. 1.

Термальные воды гранитных массивов региона характеризуются широким распространением, но ограниченными ресурсами, не превышающими $3\text{--}5$ л/с, в исключительных условиях до 10 л/с и температурами (на выходе) не более $90\text{--}96^{\circ}\text{C}$. Ограниченные ресурсы терм таких месторождений, аналогичных по масштабам месторождениям азотных слабоминерализованных гидро-

терм гранитных массивов, и слабая минерализация позволяют рассматривать их только как возможные источники теплофикации небольших предприятий, санаторных учреждений и парниково-тепличных хозяйств с обязательным применением теплообменников. Оценка теплового потока по извержениям лавы и менее явным проявлениям, как термальные источники, его вполне достаточно, чтобы обеспечить большую часть населения региона необходимой энергией.

Геотермальные ресурсы Монголии по использованию можно разделить на 4 типа: бальнеология и санаторные услуги, теплоснабжение, агрокультура, электроснабжение. Теплоснабжение в Монголии на базе термальных вод обеспечивалось главным образом путем строительства мелких объектов отопления, горячего водоснаб-

жения и бальнеологии. В 2016 г. японские специалисты впервые поставили на курорте «Цэнхэр» установку и получили электричество для гостиничного комплекса.

Под термином «теплоэнергетические воды» обычно подразумеваются природные горячие подземные воды, которые могут использоваться в народном хозяйстве в качестве источника для получения тепла или для выработки теплоэнергии. При этом главным критерием для отнесения гидротерм к категории теплоэнергетических является их температура. Они, так же как и другие виды подземных вод, используемых в народном хозяйстве, являются полезным ископаемым и относятся к комплексному сырью не только для лечебных целей, но и как источник добычи ценных элементов и их соединений для различных технологических нужд.

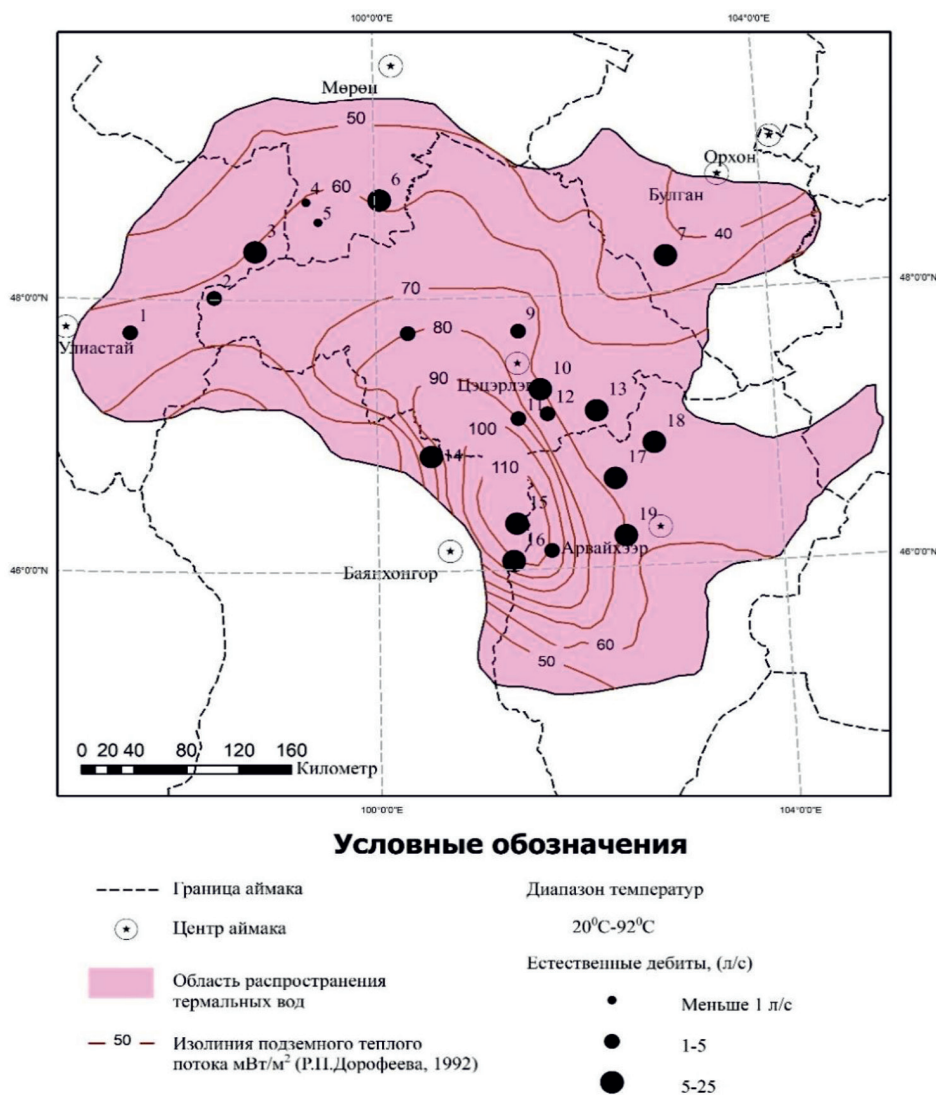


Рис. 1. Карта локализации геотермальных вод на территории Центральной Монголии

При региональном гидрогеологическом картировании региона (с учётом возможных направлений практического использования подземных вод, как полезное ископаемое), можно выделить по температуре следующие группы термоисточников (°C): слаботермальные (20–50), термальные (50–75), очень горячие (70–100).

Для тепловой энергии используют воды с температурой выше 35–40 °C. При этом нижнее значение температуры воды для обогрева защищенного грунта при бальнеологических процедурах составляет 35 °C, а нижний предел температуры воды для горячего водоснабжения – 40–45 °C [5, 6]. На основании опыта по использованию гидротерм, они делятся на низко- и среднепотенциальные. Воды низкопотенциальные (с температурой 35–70 °C) можно эффективно использовать для оттаивания мерзлых пород при промывке россыпей полезных ископаемых, рыбоводства, обогрева открытого грунта, для закачки в нефтеносные пласты и других технологических процессов, требующих низкопотенциальных теплоносителей. Для нужд теплоснабжения эти гидротермальные воды имеют ограниченное применение и используются обычно в районах с благоприятными климатическими условиями или в любых районах применении пикового подогрева.

Воды среднепотенциальные (с температурой 70–100 °C) можно эффективно использовать для теплоснабжения промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых объектов, для технологических нужд и заводнения нефтяных залежей. Эффективность теплотехнического использования таких вод может быть существенно повышена при оборудовании теплопотребителей специальными системами отопления и вентиляции, оптимизированными для условий низко- и среднепотенциальных теплоносителей, включая комбинирование этих систем с тепловыми насосами.

Для оценки потенциала тепловых ресурсов термальных вод Хангайского неотектонического поднятия произведен расчёт потенциально возможной выработки тепла по формуле [7], адаптированной для установки циркуляционных систем теплооборота:

$$G = 10^{-3} \times Q \times C \times (T_2 - T_1),$$

где G – тепловые ресурсы, ГДж/сут; Q – эксплуатационные запасы и ресурсы, м³/сут; T_2 – температура извлекаемой воды из скважины, °C; T_1 – к теплотехническим относят, как правило, воды с температурой выше 35 °C; C – удельная теплоёмкость воды (4,186 кДж/кг×°C).

Природные ресурсы термальных вод на территории Хангайского свода в Монголии оцениваются величиной 17044 м³/сут. Гидротермы, выходящие из глубин на поверхность, обладают значением 1880,926 ГДж/сут энергетического потенциала. Величины глубинных температур, которые получены по данным геотермометрии, позволяют выделить наиболее перспективные участки, вне зависимости от генезиса тепловой аномалии [9, 10].

Заключение

Наиболее перспективные районы развития термальных вод расположены в областях с многочисленными локальными термопроявлениями, связанными с кайнозойской тектонической активизацией, а также в областях интенсивного воздействия новейших тектонических движений и связанного с ними вулканизма. Обычно такие воды развиты локально, и они относятся к трещинно-жильному типу. К наиболее перспективным следует отнести районы Хангайского сводового поднятия, на территории которого выявлены месторождения гидротерм Шивэрт, Шаргалжуут, Цэнхэр, Отгонтэнгэр, Хужирт и др. [7, 8]. Их эксплуатационные запасы термальных вод утверждены в Государственной комиссии по запасам по самым высоким категориям (А, В, С).



Рис. 2. Схема комплексного использования термальных вод на курорте «Цэнхэр»

Месторождения в осадочных и вулканогенно-осадочных породах имеют более значительные ресурсы азотных гидротерм. Эти ресурсы будут широко применяться для теплофикации и горячего водоснабжения курортов, различных населенных пунктов, вплоть до крупных городов и для развития теплично-парниковых хозяйств. Сотрудниками Института систем энергетики им. Мелентьева разработаны технологические схемы, учитывая особенности применения геотермальной энергии для энергоснабжения потребителей города Цэцэрлэг. Наиболее перспективными оказались месторождения гидротерм Шивэртэ и Цэнхэр (рис. 2), расположенные в 10–12 км от города. При таком подходе проект использования геотермальной энергии для теплоснабжения г. Цэцэрлэг становится экономически оправданным и рентабельным.

В Центральной Монголии низко- и среднепотенциальные гидротермальные воды Хангайского свода пока используют в ограниченных объемах для теплоснабжения различного вида объектов. При перспективном планировании рассматривается возможность более широкого применения этих вод для целей выработки электроэнергии. Уже оцененный тепловой поток гидротерм в Хангайском регионе Монголии может обеспечить значительное расширение практического использования гидроминеральной базы страны.

Список литературы

1. Голубев В.А. Тепловой поток через дно озера Хубсугул и его горное обрамление (Монголия) // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1992. № 1. С. 48–60.
2. Голубев В.А. Heat flow through the bottom of Lake Khuvsgul and its mountainous setting (Mongolia) // Izv. AN SSSR. Fizika Zemli. 1992. № 1. P. 48–60 (in Russian).
3. Голубев В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Гео, 2007. 222 с.
4. Golubev V.A. Conductive and convective heat transfer in the Baikal rift zone. Novosibirsk: Geo, 2007. 222 p. (in Russian).
5. Лысак С.В., Дорофеева Р.П. Термальное состояние литосферы в Монголии // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 9. С. 929–941.
6. Lysak S.V., Dorofeeva R.P. The thermal state of the lithosphere in Mongolia // Geologiya i geofizika. 2003. T. 44. № 9. P. 929–941 (in Russian).
7. Бадминов П.С., Ганчимэг Д., Оргильянов А.И. Оценка глубинных температур термальных источников Хангая и Восточного Саяна с помощью гидрохимических геотермометров // Вестник БГУ. Химия, физика. 2011. Вып. 3. С. 90–94.
8. Badminov P.S., Ganchimeg D., Orgilyanov A.I. Evaluation of the deep temperatures of the thermal springs of Hangay and East Sayan using hydrochemical geothermometers // Vestnik BGU. Khimiya, fizika. 2011. Issue. 3. P. 90–94 (in Russian).
9. Сурмаажав Д. Особенности распределения термальных вод в разломах Монголии // Материалы научной конференции межвузовской Керулеской геологической экспедиции. Улан-Батор, 2017. С. 198–200.
10. Surmaazhav D. Features of the distribution of thermal waters in the faults of Mongolia // Materialy nauchnoy konferentsii mezhvuzovskoy Kerulenskoj geologicheskoy ekspeditsii. Ulaanbaatar, 2017. P. 198–200 (in Russian).
11. Попов В.А., Маринов Н.А. Гидрогеология Монгольской Народной Республики. М.: Гостехиздат. 1963. 470 с.
12. Popov V.A., Marinov N.A. Hydrogeology of the Mongolian People's Republic. M.: Gostekhizdat. 1963. 470 p. (in Russian).
13. Хуторской М.Д., Голубев В.А., Козловцева С.В. и др. Тепловой режим недр МНР / Отв. ред. В.И. Кононов, Н.С. Зайцев. М.: Наука, 1991. 126 с.
14. Khutorskoy M.D., Golubev V.A., Kozlovtsava S.V. and others. The thermal regime of the mineral resources of the MPR / Otv. red. V.I. Kononov, N.S. Zaytsev. M.: Nauka, 1991. 126 p. (in Russian).
15. Сурмаажав Д., Вахромеев А.Г., Толкачев Г.М., Сверкунов С.А., Мартынов Н.Н., Заливин В.Г. Конструкция и технология бурения скважин в сложных горно-геологических условиях с целью добычи термальных вод // Вестник ПНИПУ. Геология, нефтегазовое и горное дело. 2019. № 4. С. 335–343.
16. Surmaazhav D., Vakhromeev A.G., Tolkahev G.M., Sverkunov S.A., Martynov N.N., Zalivin V.G. Design and technology for drilling wells in difficult geological conditions with the aim of extracting thermal waters // Vestnik PNIPU. Geologiya, neftegazovoye i gornoye delo. 2019. № 4. P. 335–343 (in Russian).
17. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Павлова С.Е., Лепин В.С. Изотопные исследования минеральных вод Монголии // Геология и геофизика. 1995. Т. 36 (1). С. 94–102.
18. Pinneker E.V., Pisarsky B.I., Pavlova S.E., Lepin V.S. Isotopic studies of mineral waters of Mongolia // Geologiya i geofizika. 1995. T. 36 (1). P. 94–102 (in Russian).