



УДК 622.276+556.3:628.112.24

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2019

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ЦЕЛЬЮ ДОБЫЧИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

Д. Сурмаажав, А.Г. Вахромеев¹, Г.М. Толкачев²,
С.А. Сверкунов³, Н.Н. Мартынов³, В.Г. Заливин³

Корпорация «Монгол Ус» (17140, Монголия, г. Улан-Батор, ул. Чингуунжав-1)

¹Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128)

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29)

³Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

CONSTRUCTION AND TECHNOLOGY OF DRILLING WELLS IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS FOR THE PURPOSE OF THERMAL WATERS PRODUCING

D. Surmaajav, A.G. Vakhromeev¹, G.M. Tolkachev²,
S.A. Sverkunov³, N.N. Martynov³, V.G. Zalivin³

Mongol Us Corporation (1 Chinguongzhav st., Ulaanbaatar, 17140, Mongolia)

¹Irkutsk Branch of LLC RN-Burenie, Institute of Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science (128 Lermontova st., 664033, Irkutsk, Russian Federation)

²Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

³Irkutsk National Research Technical University (83 Lermontova st., 664074, Irkutsk, Russian Federation)

Получена / Received: 20.06.2019. Принята / Accepted: 01.11.2019. Опубликовано / Published: 27.12.2019

Ключевые слова:

бурение, термальные воды Монголии, конструкция скважины, технология бурения, цементирование, температура, обсадные колонны, пенополиуретан, минерализация, коллектор.

Рассматриваются особенности конструкции и технологии бурения скважин для добычи термальных вод. Практикой поисков, разведки и добычи термальных вод в сложных горно-геологических условиях Центральной Монголии и анализом результатов по ранее пробуренным скважинам установлено, что принятой и реализуемой конструкцией и технологией бурения гидрогеологических скважин не обеспечивается надежная защита вскрытых терм от охлаждения при движении из них вод по стволу скважины от забоя до устья. Причиной этому являются значительные теплопотери вследствие высокой теплопроводности элементов конструкции скважины (стальные трубы). Разработана и предлагается перспективная конструкция скважины, включающая несколько последовательно спущенных обсадных колонн с обязательным цементированием заколонного пространства тампонажным раствором. При этом снижаются суммарные потери теплотока и на 10–15 °С повышается температура терм на устье скважины. Предлагается также использовать обсадные колонны с двойной стенкой (технология «труба в трубе»), в межколонном пространстве которых находится теплоизолирующий материал – пенополиуретан. Использование этой технологии позволит уменьшить теплопотери по стволу скважины на 20–30 %. Для бурения в данном регионе целесообразно применение пневмо- и гидродарников с целью бурения пилотного ствола с дальнейшим расширением его шарошечным долотом. Буровым станком может быть принята буровая установка УРБ-2А-2. Успешное проведение работ по поискам и разведке термальных вод на территории Монголии является крайне перспективной и важной целью. Технология крепления скважины трубами с применением пенополиуретана позволит сократить теплопотери по стволу скважины на 20–30 %, что обеспечит возможность получения на устье температуру воды, максимально приближенную к пластовой. Предложенная конструкция гидрогеологической скважины повышает экономический эффект.

Key words:

drilling, thermal waters of Mongolia, well construction, drilling technology, cementing, temperature, casing, polyurethane foam, mineralization, reservoir.

The features of the design and technology of drilling wells for thermal waters are considered. The practice of prospecting, exploration and production of thermal waters in the difficult mining and geological conditions of Central Mongolia and analysis of the previously drilled wells results have established that the accepted and implemented design and technology for drilling hydrogeological wells does not provide reliable protection for the drilled thermals from cooling when water flows from them along wellbore from the bottom to the wellhead. The reason for this is significant heat loss due to the high thermal diffusivity of the well structural elements (steel pipes). A promising well design has been developed and is proposed, including several successively deflated casing strings with mandatory cementing of the annulus with grouting. At the same time, the total heat loss is reduced, and the temperature at the wellhead rises by 10–15 degrees. It is also proposed to use double-walled casing strings (“pipe in pipe” technology), in the annular space of which there is a heat-insulating material - polyurethane foam. Using this technology will reduce heat loss in the wellbore by 20–30 %. For drilling in this region, it is advisable to use pneumatic and hydraulic hammers to drill the pilot shaft with its further expansion with a cone bit. Drilling rig can be URB-2A-2. Successful search and exploration of thermal waters in Mongolia is an extremely promising and important goal. The technology of cementing the well with pipes using polyurethane foam will reduce heat loss along the wellbore by 20–30 %, which will provide the possibility of obtaining a water temperature at the wellhead that is as close as possible to the formation. The proposed design of the hydrogeological well increases the economic effect.

Дамдин Сурмаажав – специалист (тел.: +007 976 701 800 74, e-mail: surmaajvdamdin@yahoo.com).

Вахромеев Андрей Гелиевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры нефтегазового дела (тел.: +007 983 418 51 48, e-mail: andrey_igp@mail.ru).

Толкачев Георгий Михайлович – профессор кафедры нефтегазовых технологий (тел.: +007 912 492 35 75, e-mail: gmtolkachev@mail.ru).

Сверкунов Сергей Александрович – аспирант кафедры нефтегазового дела (тел.: +007 950 050 53 86, e-mail: dobro_75@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

Мартынов Николай Николаевич – аспирант кафедры нефтегазового дела (тел.: +007 902 548 64 80, e-mail: martynovkoma@gmail.com).

Заливин Владимир Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела (тел.: +007 904 140 27 49, e-mail: zalivinvg@yandex.ru).

Damdin Surmaajav – Specialist (tel.: +007 976 701 800 74, e-mail: surmaajvdamdin@yahoo.com).

Andrey G. Vakhromeev (AuthorID in Scopus: 6505777316) – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor of the Department of Oil and Gas Business (tel.: +007 983 418 51 48, e-mail: andrey_igp@mail.ru).

Georgiy M. Tolkachev (AuthorID in Scopus: 6507262555) – PhD in Engineering, Professor of the Department of Oil and Gas Technologies (tel.: +007 912 492 35 75, e-mail: gmtolkachev@mail.ru).

Sergey A. Sverkunov (AuthorID in Scopus: 5640184090) – PhD student at the Department of Oil and Gas Business (tel.: +007 950 050 53 86, e-mail: dobro_75@mail.ru). The contact person for correspondence.

Nikolay N. Martynov – PhD student at the Department of Oil and Gas Business (tel.: +007 902 548 64 80, e-mail: martynovkoma@gmail.com).

Vladimir G. Zalivin – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business (tel.: +007 904 140 27 49, e-mail: zalivinvg@yandex.ru).

Введение

Обширная территория Монголии весьма богата подземными пресными и минеральными термальными водами различного состава [1–10 и др.]. Многочисленные азотные минеральные термальные источники распространены главным образом в ее западной и северо-западной частях, а холодные – преимущественно в северо-восточной и восточной частях страны. Гидрогеология, гидрогеохимия, генезис термальных вод во многом дискуссионны и требуют дальнейшего изучения [3–10, 11–27]. Рассмотрим некоторые данные по месторождениям и проявлениям термальных вод Центральной Монголии, выявленных и исследованных в пределах Хангайского сводового поднятия [6, 7, 10].

Общие сведения о месторождениях термальных вод. Геологическое строение

Месторождение термальных вод Сайхан Хульж

Находится в 350 км к западу и северо-западу от Улан-Батора, на территории Булганского аймака, в 2 км к западу и к юго-западу от административного центра Могот сомона [2, 3, 8]. Абсолютная высота в районе месторождения около 1450 м. Проявления сульфатно-натриевых терм Сайхан Хульжи впервые были описаны В.А. Смирновым в 1927 г. В разные годы его посещали Ф.К. Шипулин (1941), В.Н. Попов (1946), О. Намнандорж, Ш. Цэрэн (1958) и Г.М. Шпейзер, Б.И. Писарский (1973), Нарангэрэл, Н. Лхагва (1974) и др. При проведении поисково-разведочных буровых работ получены новые данные по данному месторождению, которые сводятся к следующему.

В геологическом строении участка месторождения термальных вод Сайхан Хульжи принимают участие эффузивные породы верхнего триаса и нижнеюрского возраста и нерасчлененные четвертичные отложения. Эффузивные породы представлены от светло-серых до темно-серых андезит-базальтами и андезит-порфирами, туфами, которые на участке разведки вскрыты всеми скважинами на глубинах 36,0–62,0 м. Четвертичные отложения представлены главным образом разнозернистыми песками с включениями и отдельными слоями валунно-гравийно-галечникового материала толщиной до 2,0–4,0 м. Установлено [7, 8], что термальные воды приурочены к зоне тектонического дробления эффузивных пород верхнего триаса и нижнеюрского возраста. Общая

площадь очага разгрузки вместе с растеками минеральных вод достигает 0,3 км².

Термальные воды были вскрыты поисково-разведочными скважинами на глубинах от 6,0 (в рыхлых отложениях) до 202,0 м (в коренных породах) с температурой 20–55 °С и дебитами 0,3–4,6 л/с при понижениях соответственно 2,0–2,6 м. Термальные воды Сайхан Хульжинского месторождения относятся к так называемому хульжинскому типу [5, 14, 18] и характеризуются низкой минерализацией (не более 0,83 г/л), сульфатно-натриевым составом, высокой температурой (45–57 °С) и щелочной реакцией (рН = 8,45–8,65). В настоящее время на этих сульфатно-натриевых термах сезонно действует курорт местного значения. Высокие лечебные качества, значительные прогнозные запасы термальных вод и благоприятные природно-экономические условия местности создают предпосылки для дальнейшего расширения гидроминеральной базы Хульжи [8].

Месторождение термальных вод Отгонтэнгэр

Находится на территории Дзабханского аймака, в 75 км к востоку от аймачного административного центра г. Улиастай, в сильно пересеченном горном районе Хангай. Оно расположено у северного подножья горы Отгонтэнгэр, вершина которой является самой высокой в горной стране Хангай (4031 м над уровнем моря). Первые сведения о проявлении термальных вод Отгонтэнгэр приводятся химиком В.А. Смирновым (1926). После этого его обследовали О. Намнандорж, Ш. Цэрэн (1957), З.П. Козловская (1964), Г.М. Шпейзер, Б.И. Писарский (1973), З. Нарангэрэл, Н. Лхагва и др.

В геологическом строении месторождения минеральных вод Отгонтэнгэр [1–3, 7] принимают участие интрузивные породы палеозоя и четвертичные отложения. Интрузивные породы представлены гранитами, субщелочными гранитами средне- и крупнозернистыми ясно порфировидными лейкократовыми гранитами. Этот массив характеризуется интенсивным эрозионным расчленением и наложенной трещиноватостью [3, 10, 16 и др.]. Четвертичные отложения представлены гравийно-галечниковым материалом и слюдястым песком с валунами ледникового происхождения. Видимая толщина ледниковых отложений составляет 10–15 м [1, 8].

Установлено, что термальные воды приурочены к зоне тектонического дробления [16, 28, 29]

интрузивных пород. Разгрузка термальных вод связана с обводненными опережающими и поперечными второстепенными трещинами разного направления [7, 10, 28, 30–32]. Основной разлом проходит в долине р. Аршаан северо-западного направления и сопровождается зоной дробления. Общая площадь очага разгрузки термальных вод на дневной поверхности достигает 0,13 км² (650×200 м). Самые высокотемпературные (50–55 °С – выходы № 9, 23) приурочены к узлам пересечения обводненных термами тектонических разломов и локализованы в центральной части участка.

В пределах месторождения отмечены 40 горячих выходов с температурой 28–55 °С. Температура воды в 60 % отмеченных источников в среднем составляет 42–47 °С, в остальных не превышает 23–38 °С. Суммарный дебит горячих источников с температурой 42–55 °С равен 6,0 л/с.

В результате режимных наблюдений в течение годового цикла не отмечались изменения химического состава, температуры, дебита в зависимости от выпадения атмосферных осадков. Выходы горячей воды расположены на высоте до 40 м над урезом реки на расстоянии 0,5 км от русла. По химическому составу термальные воды относятся к Хульжинскому типу сульфатно-натриевых терм и характеризуются низкой минерализацией (до 0,29 г/л) и щелочной реакцией (рН = 7,0–9,0) с содержанием кремниевой кислоты 32–74 мг/л.

В настоящее время на термальных водах Отгонтэнгэр сезонно действует курорт республиканского значения, который базируется на естественных выходах термальных вод, имеющих температуру до 57 °С [7, 8, 10]. Минеральные воды Отгонтэнгэрского месторождения используются для лечения болезней суставов, нервной системы, органов кровообращения, желудочно-кишечного тракта, кожных и гинекологических заболеваний.

Месторождение термальных вод Шаргалжуут

Месторождение находится на территории Баянхонгорского аймака, в 60 км к северо-востоку от административного центра аймака г. Баянхонгорив, в 30 км к востоку от самонного центра Эрдэнэцогт. Абсолютная высота места выхода аршана 2500 м.

Шаргалжуутское месторождение азотных терм в структурно-гидрогеологическом плане [30, 32] приурочено к гидрогеологическому массиву склона [6, 8], в котором распространены интрузивные породы триаса и перми.

Установлено, что азотные минеральные воды приурочены к зоне тектонического дробления нижнепермских пород. Разгрузка азотных терм связана с региональным разломом субширотного простирания и поперечными обводненными разломами [6]. Ширина обводненной зоны дробления в пределах участка месторождения составляет 20–30 м. Общая площадь очага разгрузки – около 0,25 км². Разведочными скважинами термальные воды вскрыты на глубинах от 3,0 м (в аллювиальных отложениях) до 120,0 м (в коренных породах) с температурой 6–48 °С и дебитами 1,10–1,92 л/с при понижениях соответственно 16,0 и 17,7 м. По химическому составу азотные термы Шаргалжуутинского месторождения – гидрокарбонатные натриевые. Они характеризуются низкой минерализацией (0,2–0,49 г/л), по О.К. Ланге гипертермальные (выше 42 °С), щелочной реакцией (рН = 8,5–9,3) и аномальным содержанием кремниевой кислоты (94,46–174,0 мг/л) и других элементов.

Суммарный дебит горячих источников с температурой 48–90 °С составляет 51,0 л/с.

Методы исследования. Технология бурения скважин для добычи термальных вод

Технологические аспекты бурения [33–37] скважин для извлечения термальных вод обусловлены рядом природных факторов, которые необходимо учесть при проектировании гидрогеологической скважины [6, 10, 12, 13, 21, 22, 29, 36, 38–42]. В их числе температура термальных вод, пластовое давление в природном резервуаре, глубина залегания и минерализация термальных вод, а также буримость горных пород, в которых планируется проводка гидрогеологической скважины.

Рассмотрим температурные условия бурения гидрогеологических скважин для добычи термальных вод (рис. 1). В условиях охлажденного разреза верхней части осадочного чехла мезокайнозойских впадин и речных долин Монголии [3, 7–10, 22] горячий подземный флюидопоток термальных вод неизбежно встречается с холодным потоком аллювиальных пресных подземных вод речных долин либо с потоками холодных подземных вод предгорных конусов выноса.

По сути это основные, главные типы месторождений подземных вод, изучение которых в целях водоснабжения ведут многие десятилетия [3, 6–10, 12, 13, 33, 38, 39, 41, 43 и др.]. В ряде случаев

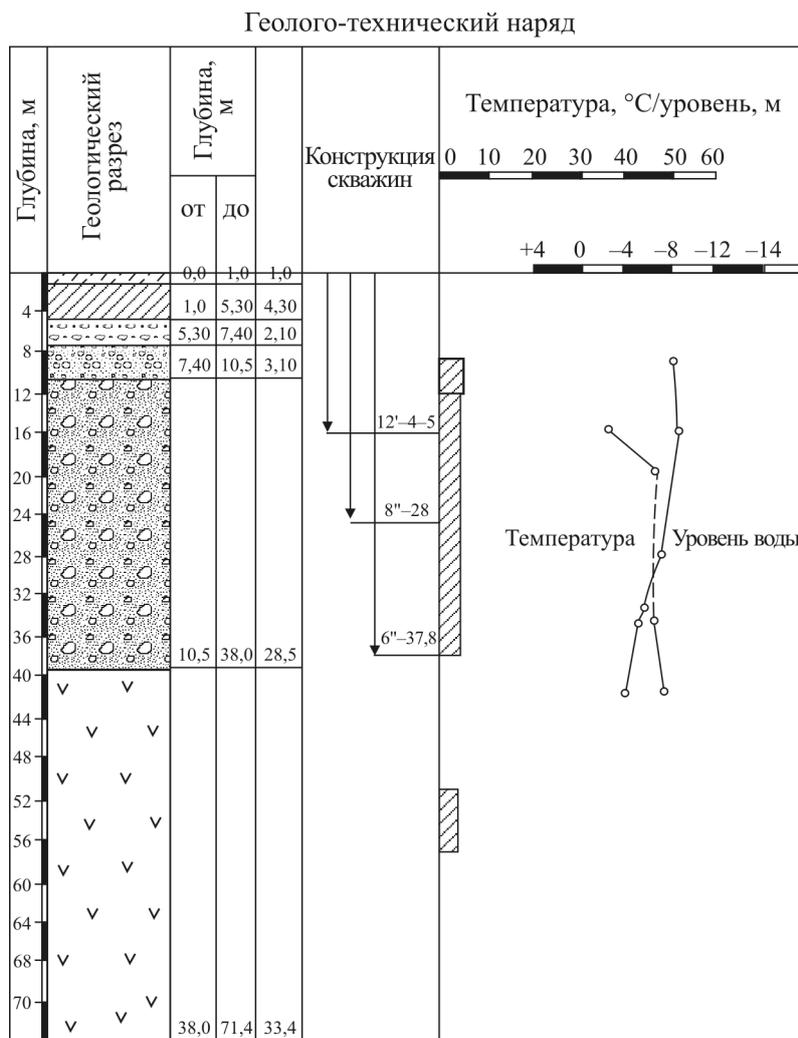


Рис. 1. Принятая конструкция гидрогеологических скважин для извлечения термальных вод Сайхан Хульж, Монголия (1974)

полевыми гидрогеологическими исследованиями доказано наличие локализованных потоков холодных подземных вод трещинно-жильного типа, приуроченных к обводненным разломам [6–10, 28, 30–32]. Здесь не исключена сосредоточенная разгрузка в аллювиальных отложениях горячих термальных и холодных питьевых или азотных минеральных вод по отдельным участкам обводненных транзитных разломных зон. Приведенные примеры совместной разгрузки горячих и холодных подземных вод позволяют сделать вывод о неизбежном разбавлении горячих термальных вод и их охлаждении в зонах смешивания с холодными водами.

Процесс разбавления и охлаждения горячих термальных потоков при смешивании их с холодными пресными и минеральными водами в природных условиях не позволяет полностью использовать энергетический потенциал очага

разгрузки термальных вод [36, 40]. Отталкиваясь от задачи сохранения максимально высоких природных значений температурных параметров термальных вод, необходимо предложить рациональный комплекс технико-технологических решений для их реализации на практике. Если в этом ключе решать задачу оптимизации конструкции [17, 33–35] скважины, можно прийти к выводу, что каждая промежуточная обсадная колонна в стволе гидрогеологической скважины будет выполнять двойную функцию. Помимо закрепления стенок скважины от осыпей и обвалов в рыхлых и слабосцементированных отложениях, обсадная колонна разобщает рабочее пространство скважины и природных резервуаров подземных вод от уже вскрытых бурением и может рассматриваться как термоизоляционный элемент крепи скважины, разобщающий именно тепловые потоки флюидных гидрогеологических систем – холодной и термальной.

Результаты исследования

В природных резервуарах с высокими значениями параметров фильтрационной среды (коэффициент фильтрации, уводнепроводность и др. [12, 33, 38]) особенно важно обеспечить надежное разобщение двух типов подземных вод в двух типах гидрогеологических структур: аллювиальных отложений, вмещающих и перераспределяющих потоки холодных пресных от термальных минеральных вод обводненных разломов. Очевидно, что несколько последовательно спущенных в скважину обсадных колонн с обязательным креплением заколонного пространства цементным раствором уже снижают суммарные потери теплопотока, который будет получен из этой скважины. Дополнительно для снижения потерь температуры термальных минеральных вод при их движении по стволу скважины на поверхность в составе конструкции скважины следует применять обсадные трубы (в том числе и эксплуатационные), выполненные из композитных термоизоляционных материалов. При этом будут достигнуты на 10–15 °С более высокие значения температуры терм, перехваченных скважиной, чем наблюдаются в очаге естественной разгрузки через аллювиальные отложения. Применение термокейсов (термоизолирующее направление) показало высокую эффективность при строительстве скважин в интервале многолетне-мерзлых пород на месторождениях нефти и газа Тюменской области, Республики Саха (Якутия) и на севере Красноярского края. В этих случаях многолетне-мерзлые породы изолируются от прогрева со стороны промывочной жидкости в скважине [23]. Однако авторами настоящей статьи предлагается использовать термокейсы для недопущения охлаждения термальных вод в стволе скважины при ее движении от забоя к устью.

Одним из перспективных направлений снижения температуропроводности крепи скважины считается также использование в ее конструкции полимерных материалов на основе полиуретанов. Авторы предлагают обсадные колонны с двойной стенкой (технология «труба в трубе»), внутри которой находится теплоизолирующий материал – пенополиуретан. Его основным преимуществом для достижения поставленной задачи следует считать низкие значения коэффициента теплопроводности (0,019–0,03 Вт/м·К), в то время как для стали обсадных колонн он составляет 27–40 Вт/м·К, а небольшая весовая характеристика пенополиуретана не потребует использования дополнительного оборудования для спуска обсадных колонн.

Использование этой технологии позволит уменьшить теплотери по стволу скважины на 20–30 %, чем обеспечивается возможность получить на поверхности температуру воды, максимально приближенную к пластовой.

В целом горно-геологические условия месторождения Шаргалжуутын являются благоприятными для бурения скважин с целью добычи термальных вод [6]. Единственной сложностью при проводке этих скважин представляется разбуривание кварцевых диоритов, распространенных на всей площади месторождения термальных вод. В этих условиях можно рекомендовать применение пневмо- и гидроударников с целью бурения пилотного ствола с последующим расширением его шарошечным долотом [43]. В качестве бурового станка может быть использована буровая установка УРБ-2А-2 на вездеходном шасси (УРАЛ, КАМАЗ) с глубиной бурения до 200–250 м. Конструкция скважины может быть следующей (рис. 2).

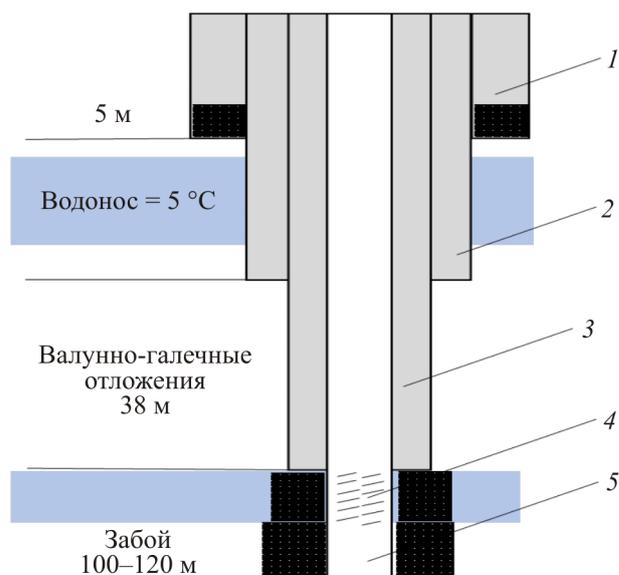


Рис. 2. Новая конструкция гидрогеологических скважин для извлечения термальных вод Монголии: 1 – кондуктор, 324 мм, с зацементированным башмаком; 2 – техколонна I-219 мм, зацементированная; 3 – техколонна II-168 мм, зацементированная; 4 – щелевой фильтр в продуктивном пласте; 5 – эксплуатационная колонна, 127 мм, диаметр бурения 151 мм

На рис. 2 выделены интервал рыхлых пород-коллекторов, кровля кристаллических пород, зона обводненного разлома с термальными водами. Предложенная новая конструкция гидрогеологической скважины решает перечисленные выше задачи эффективного освоения геотермальных

ресурсов месторождения, перекрытого аллювиальными отложениями.

Заключение

Предложенные в настоящей статье технологические решения позволят уменьшить теплотери по стволу скважины на 20–30 %. Планируется продолжить исследование в данном направлении. Технологические решения в цикле бурения и крепления гидрогеологической скважины для добычи термальных вод обеспечат реальный экономический эффект, измеряемый в единицах теплового потока, а также в денежном эквиваленте.

Библиографический список

1. Геология Монгольской Народной Республики. – М.: Недра, 1973. – Т. 1. – 582 с.
2. Геохимия подземных минеральных вод Монгольской Народной Республики / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, П. Доржсурен [и др.]. – М., Наука, 1976. – 79 с.
3. Маринов Н.А., Попов В.Н. Гидрогеология Монгольской Народной Республики. – М., 1963. – 452 с.
4. Сравнительная характеристика изотопного состава термальных вод Байкальской рифтовой зоны и смежных сводовых поднятий / А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг // Материалы всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск: Географ, 2012. – С. 218–221.
5. 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.
6. Сурмаажав Д., Лхагва Н. Месторождения термальных вод Шаргалжуут // Гидрогеология, инженерная геология и экология. – Улаанбаатар, 2016. – 20–25 с.
7. Сурмаажав Д. Условия формирования термальных вод Монголии // Материалы всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Новосибирск, 2017. – 50–54 с.
8. Сурмаажав Д. Гидрогеологические условия центральной Монголии // Материалы межвузовской Керуленской геологической экспедиции. – Иркутск, 2015. – 18–21 с.
9. Сурмаажав Д. Условия и распределения подземных вод в мерзлых зонах Монголии // Материалы всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Якутск, 2015. – 11–14 с.
10. Сурмаажав Д. Распределения термальных вод в разломах Монголии // Материалы межвузовской Керуленской геологической экспедиции. – Улаанбаата, 2017. – 12–14 с.
11. Алтынникова М.А., Диденков Ю.Н. Условия формирования современных гидротерм района Северо-Муйского тоннеля БАМ // Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири: сб. науч. тр. – Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. техн. ун-та, 2005. – С. 7–12.
12. Бондаренко С.С. Изучение и оценка ресурсов минеральных, термальных и промышленных вод. – М.: Недра, 1975. – 243 с.
13. Вартанян Г.С. Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. – М.: Недра, 1985. – 286 с.
14. Генезис углекислых и термальных вод Монгольской Народной Республики по изотопным данным // Природные условия и ресурсы некоторых районов Монгольской Народной Республики. – Улан-Батор, 1982. – С. 41.
15. Иванов В.В., Невраев Г.А. Классификация подземных минеральных вод // Тр. Центр. ин-та курортологии и физиотерапии. – 1964. – Вып. 1.
16. Кропоткин П.Н., Валяев Б.М. Глубинные разломы и дегазация Земли. Тектоническое развитие земной коры и разломы. – М.: Наука, 1979. – С. 257–267.
17. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья // МАИК Наука/Интерпериодика. – Иркутск: Москва, 2001. – 260 с.
18. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, С.Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1980. – 225 с.
19. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм байкальской рифтовой зоны / А.М. Плюснин, Л.С. Замана, С.Л. Шварцев, О.Г. Токаренко, М.К. Черняевский // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54 (5). – С. 647–664.
20. Изотопы гелия во флюидах Байкальской рифтовой зоны / Б.Г. Поляк, Э.М. Прасолов, И.Н. Толстихин, С.В. Козловцева, В.И. Кононов, М.Д. Хуторский // Изв. АН СССР. – 1992. – № 10. – С. 18–33.
21. Хуторской М.Д. Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. – М., 1996. – 285 с.
22. Фролов Н.М. Гидрогеотермия. – М., 1976. – 280 с.

23. Шананенко В.В. Бурение в вечной мерзлоте больше не проблема // Территория нефтегаз. – 2014. – № 8. – С. 16–17.

24. Шварцев С.Л. Взаимодействие подземных вод с горными породами // Основы гидрогеологии: гидрогеохимия / под ред. С.Л. Шварцева. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 92–117.

25. Шварцев С.Л. К проблеме самоорганизации системы вода – порода // Геология и геофизика. – 1995. – 22–29 с.

26. Шварцев С.Л. Геологическая система «вода – порода» // Вестник РАН. – 1997. – Т. 67, № 6. – С. 518–524.

27. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1988. – 438 с.

28. Степанов В.М. Обводненные разломы: учеб. пособие. – Иркутск, 1988. – 314 с.

29. Чернышев С.Н. Трещины горных пород. – М.: Недра, 1989. – 240 с.

30. Степанов В.М. Введение в структурную гидрогеологию. – М.: Недра, 1989. – 229 с.

31. Степанов В.М. Гидрогеологические структуры Забайкалья. – М.: Недра, 1981. – 177 с.

32. Степанов В.М. О принципах систематизации гидрогеологических структур // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1985. – № 3. – С. 88–93.

33. Аузина Л.И. Поиски и разведка подземных вод: учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. техн. ун-та, 2014. – 120 с.

34. Башкатов Д.Н., Роговой В.Л. Бурение скважин на воду. – М., 1976. – 206 с.

35. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1998. – 440 с.

36. Методические рекомендации по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов термальных вод. – М., 1982. – 121 с.

37. Сулакшин С.С. Направленное бурение. – М.: Недра, 1987. – 272 с.

38. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 407 с.

39. Лысак С.В. Геотермические условия и термальные воды южной части Восточной Сибири. – М.: Наука, 1968. – 120 с.

40. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод / под ред. С.С. Бондаренко, Г.С. Вартапяна. – М.: Недра, 1986. – 479 с.

41. Осика Д.Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. – М.: Наука, 1981. – 203 с.

42. Тимурзиев А.И. Технология прогнозирования трещиноватости на основе трехмерной

геомеханической и кинематической модели трещинного коллектора // Геофизика. – 2008. – № 3. – С. 41–60.

43. Лысак С.В., Зорин Ю.А. Геотермическое поле Байкальской рифтовой зоны. – М.: Наука, 1976. – 288 с.

44. Геодинамическая активность литосферы Азии: основы анализа и принципы картирования / Н.А. Логачев, С.И. Шерман, К.Г. Леви, В.Г. Трифонов // Геодинамика и развитие литосферы. – М., 1991. – С. 31–39.

45. Внутренняя структура континентальных разломных зон / К.Ж. Семинский, А.С. Гладков, О.В. Лунина [и др.] // Прикладной аспект. – Новосибирск: Филиал «Гео», 2005. – 293 с.

References

1. Geologia MNR [Geology of Mongolian People's Republic]. Moscow, Nedra, 1973, vol.1, 582 p.

2. Pinneker E.V., Pisarskii B.I., Dorzhsuren P. et al. Geokhimiia podzemnykh mineralnykh vod mnr [Geochemistry of underground mineral waters of the Mongolian People's Republic]. Moscow, Nauka, 1976, 79 p.

3. Marinov N.A., Popov V.N. Hidrogeologiiia Mongolskoi Narodnoi Respubliki [Hydrogeology of the Mongolian People's Republic]. Moscow, 1963, 452 p.

4. Orgilianov A.I., Kriukova I.G., Badminov P.S., Ganchimeg D. Sravnitelnaia kharakteristika izotopnogo sostava termalnykh vod Baikalskoi riftovoi zony i smezhnykh svodovykh podniatii [Comparative characteristics of the isotopic composition of the thermal waters of the Baikal rift zone and adjacent vaults]. *Materialy vserossiiskogo soveshchaniia po podzemnym vodam Vostoka Rossii*. Irkutsk, Geograf, 2012, p. 218-221.

5. Pinneker E.V., Pisarskii B.I., Pavlova S.E., Lepin V.S. Izotopnye issledovaniia mineralnykh vod mongolii [Isotopic studies of mineral waters of Mongolia]. *Geologiia i geofizika*, 1995, vol.36 (1), pp.94-102.

6. Surmaazhav D., Lkhagva N. Mestorozhdeniia termalnykh vod shargalzhuut [Shargalzhuut thermal water deposits]. *Gidrogeologiia, Inzhenernaia geologiia i ekologiia*. Ulaanbaatar, 2016, pp. 20-25.

7. Surmaazhav D. Usloviia formirovaniia termalnykh vod Mongolii [The conditions for the formation of thermal waters of Mongolia]. *Materialy vserossiiskogo soveshchaniia po podzemnym vodam Vostoka Rossii*. Novosibirsk, 2017, pp. 50-54.

8. Surmaazhav D. *Gidrogeologicheskie usloviia tsentralnoi Mongolii* [Hydrogeological conditions of central Mongolia]. *Materialy mezhvuzovskoi Kerulenskoii geologicheskoi ekspeditsii*. Irkutsk, 2015.
9. Surmaazhav D. *Usloviia i raspredeleniia podzemnykh vod v merzlykh zonakh Mongolii* [Groundwater conditions and distribution in the frozen zones of Mongolia]. *Materialy vserossiiskogo soveshchaniia po podzemnym vodam Vostoka Rossii*. Yakutsk, 2015.
10. Surmaazhav D. *Raspredeleniia termalnykh vod v razlomakh Mongolii* [Distribution of thermal waters in the faults of Mongolia]. *Materialy mezhvuzovskoi Kerulenskoii geologicheskoi ekspeditsii*. Ulaanbaata, 2017.
11. Altynnikova M.A., Didenkov Iu.N. *Usloviia formirovaniia sovremennykh gidroterm raiona Severo-Muiskogo tonnelia BAM* [The conditions for the formation of modern hydrothermal areas of the North Mui tunnel BAM]. *Sbornik nauchnykh trudov*. Irkutsk, izdatelstvo Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2005, pp.7-12.
12. Bondarenko S.S. *Izuchenie i otsenka resursov mineralnykh, termalnykh i promyshlennykh vod* [Study and assessment of mineral, thermal and industrial water resources]. Moscow, Nedra, 1975, 243 p.
13. Vartanian G.S. *Mestorozhdeniia uglekislykh vod gorno-skladchatykh regionov* [Deposits of carbon dioxide in mountain-folded regions]. Moscow, Nedra, 1985, 286 p.
14. *Genesis uglekislykh i termalnykh vod MNR po izotopnym dannym* [Genesis of carbonic and thermal waters of the Mongolian People's Republic according to isotope data]. *Prirodnye usloviia i resursy nekotorykh raionov MNR*. Ulan-Bator, 1982, p.41.
15. Ivanov V.V., Nevraev G.A. *Klassifikatsiia podzemnykh mineralnykh vod* [Underground Mineral Water Classification]. *Trudy Tsentralnogo instituta kurortologii i fizioterapii*, 1964, iss.1.
16. Kropotkin P.N., Valiaev B.M. *Glubinnye razlomy i degazatsiia zemli. Tektonicheskoe razvitie zemnoi kory i razlomy* [Deep faults and degassing of the Earth. Tectonic development of the earth's crust and faults]. Moscow, Nauka, 1979, pp.257-267.
17. Kurbanov M.K. *Geotermalnye i gidro-mineralnye resursy vostochnogo kavkaza i predkavkazia* [Geothermal and hydro-mineral resources of the East Caucasus and Ciscaucasia]. *Nauka/Interperiodika*, 2001, 260 p.
18. Pinneker E.V., Pisarskii B.I., Shvartsev S.L. et al. *Osnovy gidrogeologii. obshchaia gidrogeologiiia* [Fundamentals of hydrogeology. General hydrogeology]. Novosibirsk, Nauka, 1980, 225 p.
19. Pliusnin A.M., Zamana L.S., Shvartsev S.L., Tokarenko O.G., Cherniaevskii M.K. *Gidrogeokhimicheskie osobennosti sostava azotnykh term baikalskoi riftovoi zony* [Hydrogeochemical peculiarities of the composition of nitric thermal waters in the Baikal Rift Zone]. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol.54(5), pp.647-664.
20. Poliakov B.G., Prasolov E.M., Tolstikhin I.N., Kozlovtsava S.V., Kononov V.I., Khutorskii M.D. *Izotopy geliia vo fluidakh Baikalskoi riftovoi zony* [Helium isotopes in fluids of the Baikal rift zone]. *Izvestiia AN SSSR*, 1992, no.10, pp.18-33.
21. Khutorskoi M.D. *Geotermiia tsentralno-aziatskogo skladchatogo poiasa* [Geothermy of the Central Asian fold belt]. 1985.
22. Frolov N.M. *Gidrogeotermiia* [Hydrogeothermy]. Moscow, 1976, 280 p.
23. Shananenko V.V. *Burenie v vechnoi merzlate bolshe ne problema* [Permafrost drilling is no longer a problem]. *Territoriia neftegaz*, 2014, no.8, pp.16-17.
24. Shvartsev S.L. *Vzaimodeistvie podzemnykh vod s gornymi porodami* [Groundwater interaction with rocks]. *Osnovy gidrogeologii: Gidrogeokhimiia*. Ed. S.I. Shvartsev. Novosibirsk, Nauka, 1982, pp.92-117.
25. Shvartsev S.L. *K probleme samoorganizatsii sistemy voda-poroda* [To the problem of self-organization of the water-rock system]. *Geologiya i geofizika*, 1995,
26. Shvartsev S.L. *Geologicheskaiia sistema "voda – poroda"* [Geological system "water – rock"]. *Vestnik RAN*, 1997, vol.67, no.6, pp.518-524.
27. Faif U., Prais N., Tompson A. *Fluidy v zemnoi kore* [The fluids in the Earth's crust]. Moscow, Mir, 1988, 438 p.
28. Stepanov V.M. *Obvodnennnye razlomy* [Watered faults]. Irkutsk, 1988.
29. Chernyshev S.N. *Treshchiny gornykh porod* [Rock cracks]. Moscow, Nedra, 1989.
30. Stepanov V.M. *Vvedenie v strukturnuiu gidrogeologiiu* [Introduction to structural hydrogeology]. Moscow, Nedra, 1989, 229 p.
31. Stepanov V.M. *Gidrogeologicheskie struktury Zabaikalia* [Hydrogeological structures of Transbaikalia]. Moscow, Nedra, 1981.
32. Stepanov V.M. *O printsipakh sistemizatsii gidrogeologicheskikh struktur* [On the principles of systematization of hydrogeological structures].

Izvestiia vuzov. Geologiya i razvedka, 1985, no.3, pp.88-93.

33. Auzina L.I. Poiski i razvedka podzemnykh vod [Groundwater prospecting and exploration]. Irkutsk, Izdatelstvo irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2014, 120 p.

34. Bashkatov D.N., Rogovoi V.L. Burenie skvazhin na vodu [Water well drilling]. Moscow, 1976, 206 p.

35. Kalinin A.G., Levitskii A.Z., Nikitin B.A. Tekhnologiya burenii razvedochnykh skvazhin na neft i gaz [Oil and gas exploration drilling technology]. Moscow, Nedra, 1998

36. Metodicheskie rekomendatsii po poiskam, razvedke i otsenke ekspluatatsionnykh zapasov termalnykh vod [Guidelines for the search, exploration and evaluation of operational reserves of thermal waters]. Moscow, 1982, 121 p.

37. Sulakshin S.S. Napravlennoe burenie [Directional drilling]. Moscow, Nedra, 1987.

38. Borevskii B.V., Drobnokhod N.I., Iazvin L.S. Otsenka zapasov podzemnykh vod [Groundwater reserves assessment]. Kiev, Vyshcha shk. Golovnoe izdatelstvo, 1989, 407 p.

39. Lysak S.V. Geotermicheskie usloviia i termalnye vody iuzhnoi chasti Vostochnoi Sibiri [Geothermal conditions and thermal waters of the southern part of Eastern Siberia]. Moscow, Nauka, 1968, 120 p.

40. Metody izucheniia i otsenka resursov glubokikh podzemnykh vod [Methods of study and assessment of deep groundwater resources]. Ed. S.S. Bondarenko, G.S. Vartanian. Moscow, Nedra, 1986, 479 p.

41. Osika D.G. Fliuidnyi rezhim seismicheski aktivnykh oblastei [The fluid regime of seismically active regions]. Moscow, Nauka, 1981, 203 p.

42. Timurziev A.I. Tekhnologiya prognozirovaniia treshchinovatosti na osnove trekhmernoi geomekhanicheskoi i kinematicheskoi modeli treshchinogo kollektora [Fracturing prediction technology based on a three-dimensional geomechanical and kinematic model of a fracture reservoir]. *Geofizika*, 2008, no.3, pp.41-60.

43. Lysak S.V., Zorin Iu.A. Geotermicheskoe pole baikalskoi riftovoi zony [Geothermal field of the Baikal rift zone]. Moscow, Nauka, 1976.

44. Logachev N.A., Sherman S.I., Levi K.G., Trifonov V.G. Geodinamicheskaiia aktivnost litosfery Azii: osnovy analiza i printsipy kartirovaniia [Geodynamic activity of the lithosphere of Asia: the basics of analysis and principles of mapping]. *Geodinamika i razvitie litosfery*. Moscow, 1991, pp.31-39.

45. Seminskii K.Zh., Gladkov A.S., Lunina O.V. et al. Vnutrennaia struktura kontinentalnykh razlomnykh zon. Prikladnoi aspekt [Internal structure of continental fault zones. Applied aspect]. Novosibirsk, Filial "Geo", 2005, 293 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Конструкция и технология бурения скважин в сложных горно-геологических условиях с целью добычи термальных вод / Д. Сурмаажав, А.Г. Вахромеев, Г.М. Толкачев, С.А. Сверкунов, И.Н. Мартынов, В.Г. Заливин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №4. – С.335–343. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.4.3

Please cite this article in English as:

Surmaajav D., Vakhromeev A.G., Tolkachev G.M., Sverkunov S.A., Martynov N.N., Zalivin V.G. Construction and technology of drilling wells in difficult mining and geological conditions for the purpose of thermal waters producing. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol.19, no.4, pp.335-343. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.4.3