



УДК 620.91

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО МАССИВА ДРЕВНИХ ГРАНИТОИДОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

А. А. Шевченко¹, О. В. Скробот²¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск, Россия; ²ООО SBG Ltd., Кемерово, Россия

Приводится пример перевода системы отопления и горячего водоснабжения здания средней школы в Новосибирске на низкотемпературный источник геотермальной энергии из палеозойского гранитоидного массива. Необходимость в смене источника теплоснабжения возникла в 2018 г. из-за износа старого оборудования угольной котельной, обеспечивавшей школу теплом со времени постройки в 1964 г. На момент осуществления геотермального проекта уже существовало несколько случаев успешного применения грунтовых теплодобывающих зондов, устраиваемых в специально пробуренных геотермических скважинах, для отопления общественных объектов в Томске и Барнауле. Однако источником тепловой энергии там служили рыхлые осадочные породы, что значительно упростило и ускорило выполнение поставленных задач. Описываемый опыт теплового и горячего водоснабжения здания за счет низкопотенциальной энергии неглубоко залегающего массива древних скальных грунтов интрузивного генезиса уникален для России и может послужить платформой для реализации геотермальных проектов в регионах со сложными грунтовыми условиями и умеренно холодным климатом.

Ключевые слова: геотермальная энергия, геотермальная скважина, грунтовый теплодобывающий насос, массив палеозойских гранитоидов, устойчивое теплоснабжение.

EXPERIENCE OF USING GEOTHERMAL ENERGY OF THE NEAR-SURFACE MASSIF OF ANCIENT GRANITOIDS FOR HEAT SUPPLY PURPOSES (SOUTH OF WEST SIBERIA)

A. A. Shevchenko¹, O. V. Skrobot²¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia; ²ООО SBG, Kemerovo, Russia

An example of transition of the heating- and hot-water supply system to a low-temperature geothermal energy source from the Paleozoic granitoid massif is given for a secondary school building in Novosibirsk. The necessity for change the source of heat supply arose in 2018 due to wear and tear of the coal boiler house old equipment, which has provided the school with heat since it was built in 1964. At the time of the geothermal project implementation, there were already several cases of successful use of underground heat-producing probes arranged in specially drilled geothermal wells for heating public facilities in neighboring Siberian cities (Tomsk, Barnaul). However, loose sedimentary rocks there served for the source of heat energy, that greatly simplified and accelerated the tasks implementation. The described experience of heating – and hot-water supply of building due to the low energy from a shallow lying massif of ancient rocky grounds with intrusive genesis is unique for Russia and can serve as a platform for the implementation of geothermal projects in regions with complicated ground conditions and moderately cold climate.

Keywords: geothermal energy, geothermal well, ground source heat pump, massif of Paleozoic granitoids, sustainable heat supply.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-2-100-106

Использование возобновляемого источника энергии – тепла земли и подземных вод или геотермальной энергии – общепризнанная «зеленая» технология устойчивого теплоснабжения. Применение современных теплодобывающих грунтовых насосов (далее – ТГН) позволяет извлекать из низкотемпературных приповерхностных массивов горных пород энергию, достаточную для отопления зданий значительной площади, круглогодичного обеспечения горячей водой и кондиционированием в летний период. Согласно статистическим данным, в 32 странах Европы, характеризующихся различными геологическими, климатическими и экономическими условиями, на конец 2018 г. функционировало более 1,9 млн ТГН, и тренд использования приповерхностной геотермальной энергии устойчиво растет [12].

Недра юга Западной Сибири обладают значительными запасами геотермальной энергии, пригодной как для прямого использования (бальнеология, сельское хозяйство), так и для генерирования низкопотенциальной геотермальной энергии с помощью ТГН [11, 14].

Однако в структуре ТЭК региона по-прежнему доминирует использование углеводородных ресурсов и угля, а из возобновляемых источников – гидроэнергетики. Это объясняется географической близостью Новосибирского промышленно-сельскохозяйственного региона к гигантскому по запасам бурого угля Кузнецкому бассейну, в котором добывается более половины от общего объема российского угля (255,3 млн т в 2018 г.). Вследствие этого индекс загрязнения атмосферного воздуха Новосибирска в 2000–2016 гг., по данным Мини-

стерства природных ресурсов и экологии Новосибирской области, варьировал в пределах «повышенного» и «высокого» (по содержанию твердых частиц, диоксида азота, окиси углерода, фенола и некоторых других вредных химических соединений).

С учетом такой неблагоприятной экологической ситуации проект перевода ряда объектов города на отопление по «зеленой» технологической схеме представляет интерес как возможная альтернатива угольному топливу.

Новосибирск – современный индустриально-промышленный, научный и культурный центр федерального значения, столица Сибирского федерального округа. Это единственный город в России с населением более 1,5 млн человек, большая часть территории которого расположена над древним гранитоидным массивом, перекрытым тонким слоем элювиальных пород коры выветривания, четвертичных осадочных пород и современных техногенных отложений. В данной статье описан успешный опыт перевода здания средней школы с традиционной схемы теплообеспечения на устойчивую экологически нейтральную геотермальную энергию, добываемую из приповерхностных скальных пород гранитоидного массива.

Природно-геологические условия Новосибирска

Климат Новосибирска характеризуется долгой холодной зимой, коротким теплым летом, короткими переходными сезонами (весна, осень), поздними весенними и ранними осенними заморозками с нестабильной погодой, изменчивостью температуры, влажности воздуха и других метеорологических элементов, как в суточном, так и в месячном и годовом ходе. Согласно [9], среднемесячная температура января (°C) –17,6, февраля –15,8, марта –8,0, апреля 2,7, мая 11,0, июня 17,3, июля 19,4, августа 16,3, сентября 10,2, октября –2,6, ноября –7,3, декабря –14,4, среднегодовая 1,4.

В году около 190 дней со среднесуточной температурой выше 0 °C, средняя продолжительность безморозного периода 119 дней (в некоторые годы от 92 до 147). Снежный покров сохраняется в среднем 167 дней в году, появляется обычно в середине октября, а устойчивый характер приобретает, как правило, в начале ноября; сходит в среднем в третьей декаде апреля, ранняя дата схода – начало апреля, поздняя – середина мая.

Основными факторами формирования микроклимата Новосибирска являются загрязнение атмосферы, искусственный нагрев ее городскими тепловыделениями, застройка территории и орография. Значительное отепляющее влияние на микроклимат города оказывает Новосибирское водохранилище. Эти факторы приводят к повышению температуры в центральных частях города, ослаблению потока солнечной радиации, увеличению облачности и количества выпадающих осадков.

Тектоническое строение территории Новосибирска достаточно сложное и отражает ее расположение на стыке Западно-Сибирской плиты (ЗСП) и Алтае-Саянской складчатой области (АССО). Приобский гранитоидный комплекс находится в центральной части северо-западного фаса Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ), которая, в свою очередь, является северо-западным окончанием АССО и в тектоническом отношении представляет собой сложно построенную чешуйчато-блоковую структуру (рис. 1) [1–3]. В геологическом строении КТСЗ участвуют интенсивно катаклазированные магматические и вулканические породы, терригенные и карбонатные среднедевонско-раннекаменноугольные отложения (D_3-C_1). Со стороны ЗСП зона перекрыта мезозойско-кайнозойским чехлом, а на востоке граничит с Кузнецким Алатау, Кузнецким и Горловским каледонско-герцинскими межгорными угленосными прогибами.

Геологическое строение Новосибирского гранитоидного массива и площадки реализации проекта следующее. Он входит в состав Приобского гранитоидного комплекса (см. рис. 1). Несмотря на низкую естественную обнаженность региона, в 2003 г. был разработан первый эталон габбро-гранитоидного комплекса Новосибирского Приобья по одной из ранних версий схемы магматизма КТСЗ [10].

Основная фаза комплекса имеет сравнительно простой породный состав – гранодиориты, граносиениты, граниты. Микрограниты, монцолейкограниты, кварцевые монцодиорит-порфириды, спессартиты, аплиты и пегматиты составляют дайково-жильную вторичную фазу. Магматические породы комплекса прорывают разной степени метаморфизованные углисто-алевролитовые сланцы инской серии (D_3-C_1) [2]. Детальные петрогеохимические и геохронологические исследования магматических пород массива, выполненные различными организациями, указывают время формирования основных фаз Приобского гранитоидного комплекса в интервалах $(260,7 \pm 3,2) - (255,8 \pm 2,7)$ и $(249,7 \pm 1,4) - (242 \pm 2)$ млн лет (P_3-T_1) [6].

Новосибирский гранитоидный массив имеет изометрическую форму, вытянутую в северо-восточном направлении, и площадь около 220 км² [5].

В процессе бурения геотермических скважин на территории реализации проекта детальное описание и опробование разбуриваемых пород не проводилось. Изучение в шлифах четырех контрольных образцов, выполненное в испытательной лаборатории СНИИГГиМС, показало, что два представлены биотит-роговообманковым гранитом и неравномерно-зернистым плагиогранитом, два других – сланцами кварц-биотитового и полевошпат-биотит-кварцевого состава. Более полное представление о строении и составе массива дает описание расположенного примерно в 600 м к юго-востоку от территории средней школы действующего карьера Борок, снабжающего строительную отрасль города каменным

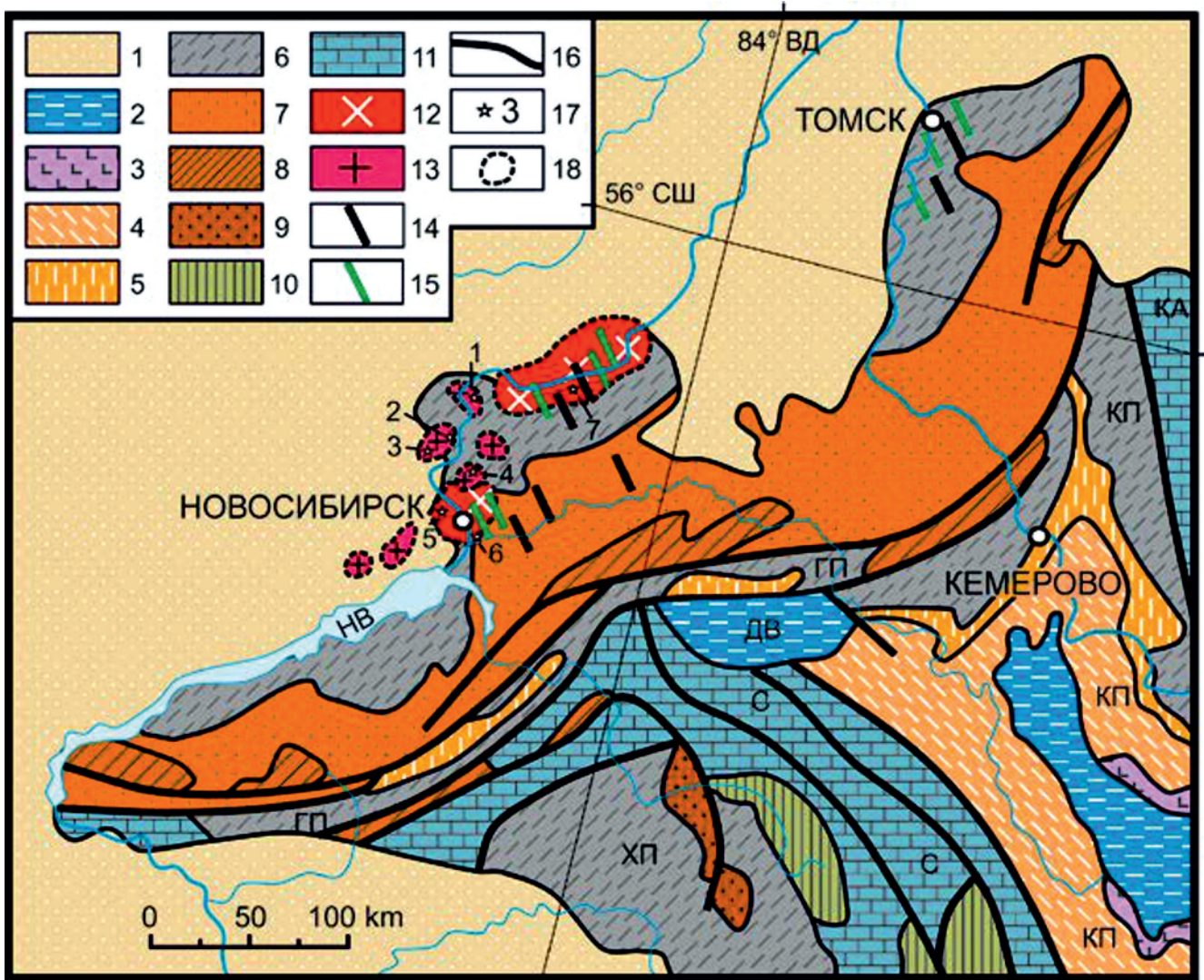


Рис. 1. Схема нахождения Приобского гранитоидного комплекса и тектонических структур его ближайшего окружения (по [3]).

1 – мезозойско-кайнозойский осадочный чехол ЗСП; 2 – песчано-глинистые отложения с бурыми углями (J); 3 – базальты и долериты салтымаковского комплекса (Т); 4 – карбонатно-терригенные отложения с каменным углем (P₂); 5 – угленосные терригенные отложения (P); 6 – тонкотерригенно-карбонатные отложения (D₃–C₁); 7 – терригенные отложения с вулканитами разного состава (впадины) (D₃); 8 – карбонатно-терригенные отложения с лавами и туфами смешанного состава (поднятия) (D₂); 9 – терригенно-карбонатные отложения (D₁₋₂); 10 – карбонатно-сланцево-псаммитовые отложения (О–S); 11 – сланцево-песчито-карбонатно-псаммитовые отложения, содержащие эффузивы разного состава (Є); комплексы: 12 – Приобский гранитоидный (Р–Т), 13 – барлакский, 14 – абинский дайковый (оливиновые габбро, долериты) (Р); 15 – дайки Приобского гранитоидного комплекса; 16 – тектонические нарушения; 17 – каменные карьеры: 1 – Барлакский, 2 – Скала, 3 – Колыванский, 4 – Мочище, 5 – Вертковский, 6 – Борок, 7 – Новобибеевский; 18 – условные границы гранитоидных массивов с вмещающими породами КТСЗ и/или с налегающими рыхлыми отложениями ЗСП; прогибы: ГП – Горловский, ХП – Хмелевский, КП – Кузнецкий; горные системы: С – Салаир, КА – Кузнецкий Алатау; ДВ – Доронинская впадина; НВ – Новосибирское водохранилище

сырьем. Уступы бортов карьера общей высотой до 70 м и хранящиеся в отвалах негабаритные глыбы детально изучены и описаны, в частности, в [3]. Согласно этим данным основное тело гранитоидных пород разбито системами линейных и крутопадающих даек сиенит-порфира и долерита, присутствуют в разной степени переработанные ксенолиты вмещающих пород (рис. 2) с большим разнообразием структур и изменчивостью вещественного состава. Зоны контакта гранитоидного массива с коренными породами инской серии интенсивно ороговикова-

ны, имеют признаки метасоматических процессов (рис. 3).

Рельеф поверхности гранитоидного массива изрезанный эрозионно-тектонический, вызванный тектоническими процессами и интенсивным выветриванием в мезозойскую эру. На коренных породах локально залегают элювиальные образования коры выветривания мел-палеогенового возраста, в основном заполняя понижения в кровле скального массива. Они представлены суглинками с дресвой и щебнем, дресвяно-щебенистыми супе-

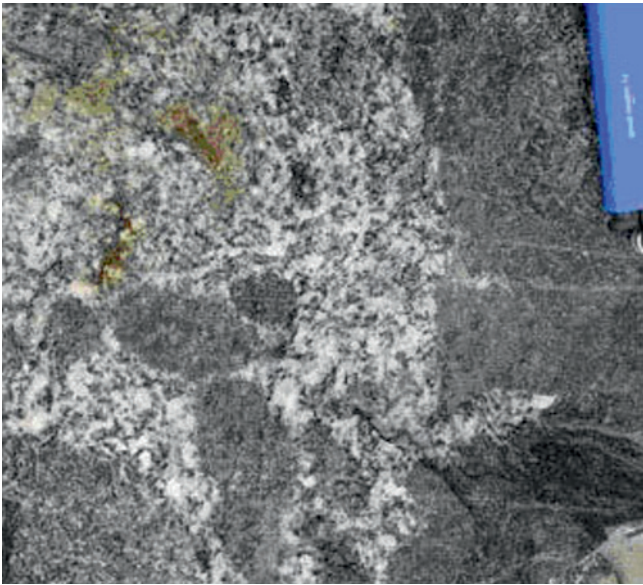


Рис. 2. Ксенолиты вмещающих пород в гранодиоритах Новосибирского массива (карьер Борок) [3]

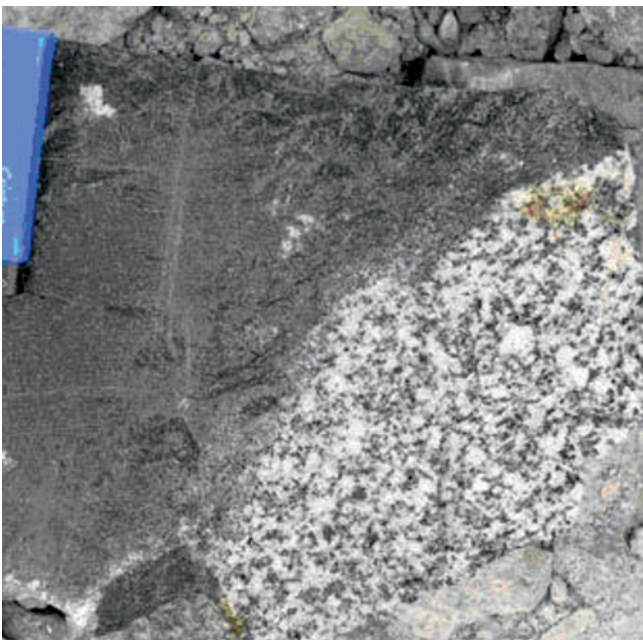


Рис. 3. Приконтактная зона гранитоидов Новосибирского массива с вмещающими породами (карьер Борок) [3]

сями и выветрелыми до состояния рыхляка гранитоидами.

С поверхности массив перекрыт четвертичными аллювиальными рыхлыми отложениями пойменной фации р. Обь и техногенными современными образованиями (насыпные грунты) общей мощностью до 1–6 м.

Описание проекта и его реализация

Проект возник в 2018 г. в связи с износом отопительного оборудования угольной котельной, которая обеспечивала школу теплом и горячей водой, со времени ее постройки в 1964 г. Школа расположена на участке города со значительным удалением от сетей, дающих централизованную тепловую энергию большинству городских объектов, поэтому

поиск нового источника теплоснабжения стал жизненно важным. Департамент образования мэрии в сотрудничестве с Департаментом науки и инноваций впервые в Новосибирской агломерации принял решение осуществить пилотный проект по отоплению и горячему водоснабжению здания школы с использованием геотермального тепла, выделяемого из гранитного массива, над которым она непосредственно находится. В результате проведенного тендера исполнителем работ была выбрана компания ООО SBG Ltd.

Следует отметить, что в Новосибирской области почти за 20 лет до срока начала реализации этого проекта существовала областная целевая программа «Внедрение тепловых насосов на объектах топливно-энергетического комплекса на территории Новосибирской области на 1999–2002 гг.». В ходе ее выполнения в 26 населенных пунктах области были выбраны перспективные и очень перспективные объекты для установки ТГН. Однако территория распространения гранитоидного массива не входила в число перспективных объектов, поэтому авторы проекта пошли на некоторые риски с точки зрения успеха его реализации.

Прежде всего в Сибирском регионе отсутствовал опыт снабжения здания значительной площади теплом, полученным из скального приповерхностного массива. В ранее реализованных проектах в близлежащих городах (Томске и Барнауле) для размещения теплообменных зондов бурились геотермические скважины, однако средой отбора тепла там служили рыхлые осадочные породы, что с технической точки зрения существенно упрощало и ускоряло их реализацию. Проекты были весьма успешны. Например, с 2017 г. в Томске использование системы ТГН позволило на каждый 1 кВт питающей здание детского сада электроэнергии получить до 4–6 кВт тепловой энергии (т. е. в сравнении с классической схемой центрального теплового и горячего водоснабжения от 75 до 84 % тепла получали бесплатно). В западной части Новосибирской области по состоянию на 01.01.2003 в нескольких населенных пунктах также успешно работали ТГН, снабжавшие тепловой энергией социально значимые объекты, но там использовались ресурсы глубоко залегающих подземных вод мелового водоносного горизонта ЗСП [11].

Кроме того, отсутствовала достоверная информация о температурном режиме гранитоидного массива и о водопроницаемости пород на проектируемой глубине размещения теплообменных зондов. В водозаборной скважине, находящейся в 400 м к западу от школы, трещинные подземные воды имели дебит 30 м³/ч. Однако водовмещающими породами там являются глинистые сланцы инской серии, более водопроницаемые, чем гранитоиды Новосибирского массива.

Кроме того, значительную сложность представила неоднородность разбуриваемого массива по

составу пород. По категориям бурения она изменялась от VII–VIII (среднее значение) в однородных по составу гранитоидах до X (высокое) при прохождении жил, даек, ксенолитов и в зонах контакта с вмещающими породами [4, 8]. Сложность проходки горных пород привела к авариям и срыву графика подготовки скважин к установке в них теплообменных зондов. Бурение одной из первых скважин так и не было завершено из-за зажима бурового оборудования скальными трещиноватыми породами и его потери. Средняя глубина скважин составила около 70 м. Расстояние между ними назначалось не менее 6 м. Плановые и реализованные значения основных технических параметров геотермального проекта представлены в таблице.

Сравнительная характеристика запланированных (1) и реализованных (2) технических параметров геотермального проекта

Параметр	1	2
Кол-во скважин	43	46
Суммарная длина проходки, пог. м	3010	3190
Диаметр скважин, мм	150	121
Кол-во ТГН	6	3
Суммарная мощность ТГН, кВт	180	180

Превышение количества и общей глубины проходки геотермальных скважин объясняется назначением некоторого запаса надежности в связи с упомянутым недостатком конкретной информации по строению гранитоидного массива.

В качестве теплоносителя использовался пропиленгликоль, конструкцией теплообменника в скважинах служил U-образный двухтрубный зонд диаметром 40 мм, выполненный из полиэтилена высокой плотности и размещенный в геотермических скважинах в виде спирали. Ветви зонда, выведенные наружу из устья каждой скважины (рис. 4), помещались в монтажные траншеи общей протяженностью 8,5 км. Затем объединенные в единый коллектор, трубы зондов были заведены в геотермический модуль, построенный рядом со зданием школы.

Геотермические параметры гранитоидов следующие: теплопроводность 3,47 Вт/м·К, энерговыделение 99 кВт/ч на 1 м², средняя погонная теплоотдача 36 Вт/м, входящая средняя температура 1 °С, средняя разница температур в ТГН 3 °С.

Термо-энергетические показатели проекта: площадь помещения 1696,5 м², температура, °С: минимальная наружная –37, внутренняя +23, на выходе ТГН +58; энергия, кВт/год: потребления ТГН 143967, поставляемая 446555 (экономия составила 308835 кВт/год); коэффициент эффективности работы 3,10.

Наблюдение за изменением температуры поступающего теплоносителя на устьях скважин за трехлетний период функционирования проекта показало, что максимальные значения были в начале осени (+6 °С), а минимальные – в феврале (–1 °С).



Рис. 4. Обустройство геотермических скважин теплообменными зондами (трубы зонда выведены из устья ближней скважины). Фото предоставлено компанией ООО Эс Би Джи (SBG Ltd)

Однако даже такой низкотемпературный источник позволил успешно поддерживать температуру не менее 21 °С в здании школы, а также обеспечить ее горячим водоснабжением.

Выводы

Результаты функционирования проекта по отоплению здания школы за счет геотермальной энергии приповерхностного массива гранитоидов можно оценить положительно. Коэффициент эффективности работы, показывающий, сколько единиц тепловой энергии производится ТГН с помощью энергии земли на одну потраченную на его функционирование единицу электроэнергии, равен 3,10, что показывает экономическую целесообразность реализации проекта.

Тем не менее необходимо также отметить недостатки. Прежде всего на стадии составления технико-экономического обоснования не были привлечены к работе профильные специалисты – геотехники и гидрогеологи, потому не в полной мере была использована доступная информация о составе и свойствах гранитоидного массива. Это привело к финансовым и материальным потерям при проходке геотермических скважин и, как следствие, срыву срока начала функционирования проекта. Использование ТГН зарубежного производства отразилось на относительно высокой стоимости проекта, несмотря на довольно быстрый срок окупаемости, оцениваемый в 4 года.

Приведенный успешный опыт использования тепла древнего гранитоидного массива может служить платформой для реализации аналогичных проектов в близких природно-геологических условиях.

Анализ эффективности функционирования геотермальных проектов в Западной Сибири и других регионах РФ с холодным климатом показал, что на всех объектах, где были установлены ТГН даже с весьма низким потенциалом теплоносителя, задачи теплоснабжения зданий успешно реализовы-



вались [11, 13 и др.]. Экологическая нейтральность функционирования геотермального оборудования [7], автономность и устойчивость работы – дополнительные аргументы в пользу широкого использования ТГН систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологическое** строение и полезные ископаемые Западной Сибири (Новосибирская, Омская, Томская области). Т. 2. Полезные ископаемые / Ю. Н. Варакин, В. Г. Свиридов, Н. А. Росляков и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. – 254 с.

2. **Геодинамика**, магматизм и металлогения Колывань-Томской складчатой зоны / В. И. Сотников, Г. С. Федосеев, Л. В. Кунгурцев и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. – 227 с.

3. **Гранитные** карьеры Новосибирского Приобья: путеводитель экскурсии / сост.: Г. С. Федосеев, С. В. Жигалов, Н. Н. Крук // II Междунар. геол. конф. «Граниты и эволюция Земли: граниты и континентальная кора». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 32 с.

4. **Классификация** горных пород по буримости для различных способов бурения. – URL: <https://rosmining.ru/wp-content/uploads/2014/11/Классификация-горных-пород-по-буримости-для-различных-способов-бурения.pdf>.

5 **Моисеенко Ф. С., Пучков Е. П., Бороздин Ю. Г.** О морфологии гранитных массивов Новосибирского Приобья по геофизическим данным // Геология и геофизика. – 1966. – № 5. – С. 130–137.

6. **Новые** данные по гранитным комплексам Новосибирского Приобья (Западная Сибирь) / Г. А. Бабин, Г. С. Федосеев, А. С. Борисенко и др. // Граниты и эволюция Земли: граниты и континентальная кора: Вторая междунар. геол. конф. (17–20 августа 2014 г., Новосибирск, Россия). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 28–30.

7. **Петин Ю. М.** Тепловые насосы // Состояние окружающей природной среды Новосибирской области в 1996 году. – Новосибирск, 1997. – С. 154–159.

8. **Попович А. А., Шевченко А. А.** Условия залегания и физико-механические свойства палеозойских скальных грунтов различного происхождения (г. Новосибирск) // Тр. молодых ученых строительного факультета. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2018. – С. 43–47.

9. СП 131.13330.2020 (СНИП 23-01-99 «Строительная климатология»). – М., 2021. – 161 с.

10. **Хомичев В. Л., Никонов Ю. Н., Антонович Р. М.** Эталон Борок-Бибеевского габбро-гранитоидного комплекса (Колывань-Томская зона). – Новосибирск: СНИИГиМС, 2003. – 244 с.

11. **Шиганова О. В., Шевченко А. А.** Подземные воды юга Западной Сибири как источник теплоэнергетических ресурсов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 4. – С. 104–109.

12. **Burkhard S.** Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe // Proc. European Geothermal Congress (EGEC): Den Haag, Netherlands, 2019. – P. 1–14.

13. **Geothermal** heat pump systems in cold regions: efficiency improvement by use of ambient air / G. Vasilyev, V. Gornov, M. Kolesova, A. Dmitriev. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/367/1/012010>.

14. **Svalova V., Potapov K.** Geothermal energy use in Russia. Country update for 2010–2015 // Proceedings of World Geothermal Congress, 2015, Australia. – P. 7.

REFERENCES

1. Varaskin Yu.N., Sviridov V.G., Roslyzkov N.A., et al. *Geologicheskoye stroeniye i poleznyye iskopaemyye Zapadnoy Sibiri. T. 2. Poleznyye iskopaemyye* [Geological structure and mineral resources of West Siberia. Vol. 2. Mineral Resources]. Novosibirsk: SB RAS, SRC UIGGM Publ., 1998. 254 p. (In Russ.).

2. Sotnikov V.I., Fedoseev G.S., Kungurtsev L.V., et al. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Kolyvan-Tomskoy skladchatoy zony* [Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Kolyvan-Tomsk Folded Zone]. Novosibirsk, SB RAS, SRC UIGGM Publ., Novosibirsk, 1999. 227 p. (In Russ.).

3. Fedoseev G.S., Zhigalov S.V., Kruk N.N. [Granite quarries of Novosibirsk Priobye: Guidebook for excursion]. *Vtoraya mezhdunarodnaya geologicheskaya konferentsiya "Granity i evolyutsiya Zemli"* [Granites and Earth's Evolution: Granites and Continental Crust. Second International Geological Conference (17–20 of August, Novosibirsk, Russia)]. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, 2014. 32 p. (In Russ.).

4. *Klassifikatsiya gornyykh porod po burimosti dlya razlichnykh sposobov bureniya* [Classification of rocks by drillability for various drilling methods]. URL: <https://rosmining.ru/wp-content/uploads/2014/11>. (In Russ.).

5. Moiseenko F.S., Puchkov E.P., Borozdin Yu.G. [On the morphology of granite massifs of Novosibirsk Priobye according to geophysical data]. *Geologiya i geofizika*, 1966, no. 5, pp. 130–137. (In Russ.).

6. Babin G.A., Fedoseev G.S., Borisenko A.S., et al. [New data on the granite complexes of Novosibirsk Priobye (West Siberia)]. *Granity i evolyutsiya Zemli: granity i kontinentalnaya kora. Vtoraya mezhdunarodnaya geologicheskaya konferentsiya (17–22 avgusta 2014 g., Novosibirsk, Rossiya)* [Granites and Earth's Evolution: Granites and Continental Crust. Second International Geological Conference (17–20 of August 2014, Novosibirsk, Russia)]. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS, 2014, pp. 28–30 (in Russ.).

7. Petin Yu.M. [Heat pumps]. *Sostoyaniye okruzhayushchey prirodnoy sredy v 1996 godu* [The state of the natural environment in Novosibirsk region in 1996]. Novosibirsk, 1997, pp. 154–159. (In Russ.).

8. Popovich A.A., Shevchenko A.A. [Modes of occurrence and physical and mechanical properties



of Paleozoic rocky grounds of various origin (Novosibirsk)]. *Trudy molodykh uchenykh stroitel'nogo fakulteta Novosibirsk* [Proceedings of young scientists of Civil Engineering Faculty, 2018–2019]. Novosibirsk, NSUACE (SIBSTRIN) Publ., 2019, pp. 43–47. (In Russ.).

9. Regulations 131.13330.2020 (SNIIP 23-01-99 Construction climatology). Moscow, 2021. 161 p. (In Russ.).

10. Khomichev V.L., Nikonov Yu.N., Antonovich R.M. *Etalon Borok-Bibeevskogo gabbro-granitoidnogo kompleksa (Kolyvan-Tomskaya zona)* [Standard of the Borok-Bibeevsky gabbro-granitoid complex (Kolyvan-Tomsk zone)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2003. 244 p. (In Russ.).

11. Shiganova O.V., Shevchenko A.A. [Groundwater in the south of West Siberia as a source of heat

resources power]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2017, no. 4, pp. 104–109. (In Russ.).

12. Burkhard S. Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. *Proc. European Geothermal Congress (EGEC)*. Den Haag, Netherlands, 2019, pp. 1–14.

13. Vasilyev G., Gornov V., Kolesova M., Dmitriev A. Geothermal heat pump systems in cold regions: efficiency improvement by use of ambient air. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/367/1/012010>.

14. Svalova V., Potapov K. Geothermal energy use in Russia. Country update for 2010–2015. *Proceedings of World Geothermal Congress, Australia*, 2015, p. 7.

© А. А. Шевченко, О. А. Скробот, 2022