

## **ТЕПЛО ЗЕМНЫХ НЕДР**

(Статья для журнала Родная природа)

Проблема «тепла и холода» привлекала внимание философов еще в давние времена. Платон (427–347 гг.) связывал тепло и холод с атомами; Аристотель (384–322 гг.) считал, что природа состоит из четырех элементов: воздуха, огня, воды и земли; Плиний (23–79 гг.) писал об извержении вулканов, теплых источниках и фумаролах. В XVI веке, когда еще не был изобретен термометр и не разработаны основные шкалы температуры Фаренгейта (1709 г.), Реамюра (1730 г.) и наиболее распространенной в наши дни шкалы Цельсия (1742 г.), Г. Агриколой (G. Agricola) уже упоминалось, что температура в шахтах до 1000 м увеличивается с глубиной.

Геотермия – наука, изучающая распределение тепла в земных недрах, относится к сравнительно молодым наукам. Первые измерения температуры в скважине Pregny вблизи Женевы были выполнены в 1832 г., а первое определение плотности теплового потока, поступающего из недр к земной поверхности, на основе измерения распределения температуры в скважине и коэффициента теплопроводности в лаборатории – только в предвоенные годы прошлого столетия. Первая работа по корреляции теплового потока с радиоактивностью горных пород принадлежит Джойлю (1909 г.). Первое же измерение температуры на забое скважины, пробуренной на территории Беларуси (г. Минск), было выполнено ртутным термометром в 1928 г., а первая термограмма – график изменения температуры с глубиной – в одной из скважин Припятского прогиба опубликована только в 1954 г.

Идея использования подземного тепла недр Беларуси неоднократно высказывалась в отдельных публикациях в разное время, начиная с конца пятидесятых годов (момента зарождения геотермических исследований в республике). Однако кроме высказывания такой идеи в целом, базировавшейся исходя из практики накопленной к тому времени другими странами ее использующими, никакой даже предварительной оценки геотермального

потенциала республики до последнего времени не выполнялось. Еще в работе 1959 г. академиком Г.В. Богомоловым была высказана идея об использовании термальных вод скважины, пробуренной к тому времени в Наровлянском районе. Никаких технических расчетов, а также оценки, сколько можно получить при этом тепла тогда не было сделано.

Геотермальная энергия - это внутренняя тепловая энергия Земли, содержащаяся в горных породах и подземных флюидах, заполняющих поры и трещины в массиве горных пород. Тепло Земли является частично первичным теплом, а частично образовавшимся в результате распада радиоактивных элементов, прежде всего долгоживущих изотопов урана, тория и калия. Считают, что распад других радиоактивных изотопов не создает существенного вклада в тепловом балансе планеты. Температура земных недр повсеместно увеличивается с глубиной, достигая во внутреннем ядре по различным оценкам до 6200 °С (рис.1).

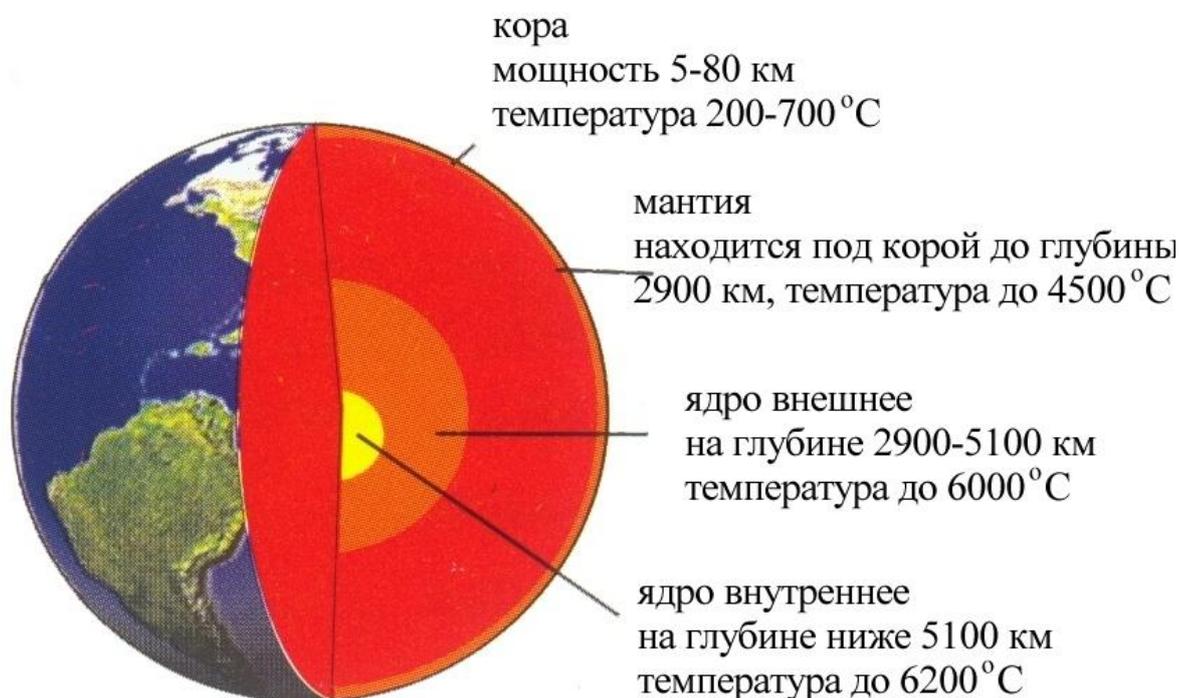


Рисунок 1. Схема распределения температуры в разрезе Земли.

Под земной корой мощностью от 5 км в океанах до 60 – 80 км в пределах наиболее древних блоков литосферы залегают до глубины около 2900 км породы мантии, где температура может достигать 4500 °С, а во внешнем ядре

она увеличивается приблизительно до 6000 °С. Конечно, это расчетные оценки, поскольку реальные измерения температуры были выполнены в самой глубокой скважине Кольской СГ-3 до глубины немногим более 12 км. Там температура приближалась к 180 °С.

Территория Беларуси расположена в пределах древней докембрийской Восточно-Европейской платформы. Древние платформы являются более холодными по сравнению с молодыми, например – Центрально-Европейской платформой и на них отсутствуют геотермальные месторождения, такие как вулканы, сейсмичность, парогидротермы, фумаролы.

Схематически переход от зон молодой тектонической активизации земной коры к холодным докембрийским платформам приведен на рисунке 2. Здесь, по мере удаления от зон современной сейсмической активности и вулканических поясов происходит постепенное охлаждение молодой разогретой земной коры, исчезают ее проявления на земной поверхности, такие как гейзеры, грязевые вулканы, горячие источники. Земная кора утолщается и снижается тепловой поток, поступающий из недр к поверхности Земли.

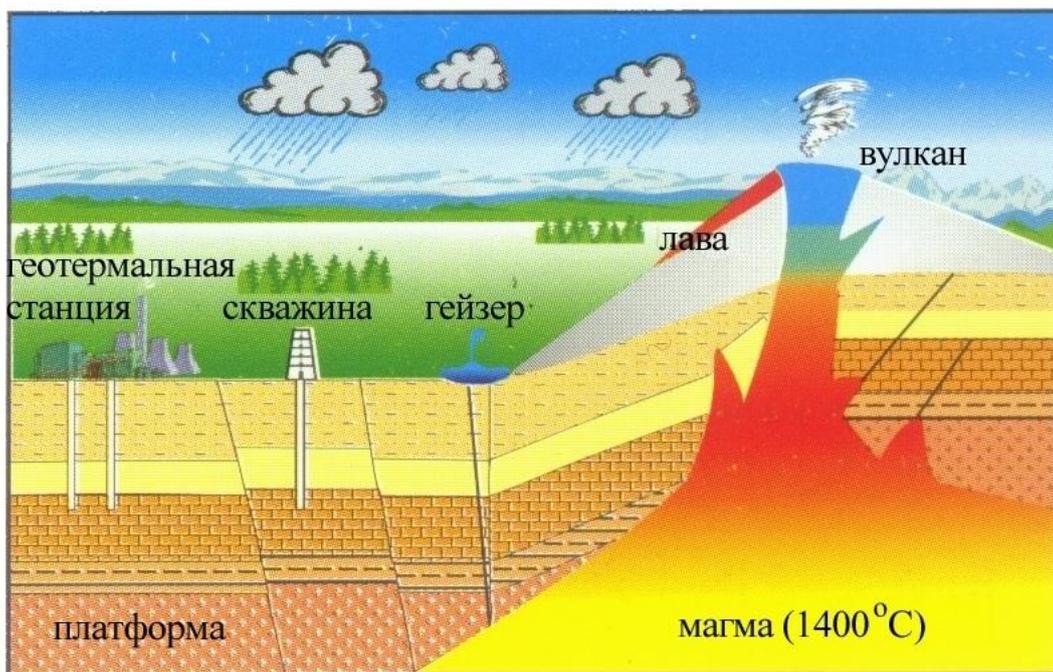


Рисунок 2. Схема изменения геотермической активности при переходе от блоков литосферы с молодой корой к древним платформам.

Еще с давних пор человек использовал естественные выходы теплых и горячих вод для различных нужд, приготовления пищи, купания, стирки белья. Давно замечено, что растворенные вещества и газы во многих горячих источниках имеют целебные свойства, они используются для лечебных свойств. Широко известны целебные свойства минеральных вод Боржоми, Нарзана, Кисловодска, Мацесты, Карловых Вар и целого ряда других курортов.

Началом промышленного использования геотермальной энергии можно считать 1903 год, когда принц Piero Ginori Conti - зять графа Florestano de Larderel начал опыт по изучению технической возможности и экономической целесообразности выработки электроэнергии за счет использования подземного пара на геотермальном месторождении Лордерелло в северной Италии с одновременным извлечением соединений бора. Потребность в соединениях бора исходила из того, что его дед Франческо являлся основателем предприятия по добыче бора в этой деревне. Однако вернемся к вопросу использования геотермальной энергии. Уже тогда был получен вывод о том, что наиболее целесообразным вариантом использования геотермальной энергии является так называемый закрытый цикл.



Рисунок 3. Первая в мире установка для промышленного использования подземного пара для выработки электроэнергии, геотермальное месторождение Лордерелло в северной Италии (Cataldi, 2003)

В 1904 г. 15 июля принц Р. Ginogi Conti смонтировал поршневую машину в Лордерелло. Она приводилась в движение паром, вырабатываемым в небольшом теплообменнике, который, в свою очередь, использовал влажный пар из скважины, расположенной вблизи этой деревни. Эта паровая машина вращала электрогенератор, мощностью 10 кВт, установка (рис. 3.) обеспечивала работу пяти электрических ламп, потреблявших всего по несколько Ватт каждая. В наши дни здесь работает мощная геотермальная электростанция.

Атмосферные воды повсеместно фильтруются через проницаемые отложения, достигая горячих горных пород, они нагреваются. В отдельных случаях даже на глубинах до 3 км эти воды превращаются в пароводяную смесь. На юге Беларуси в некоторых скважинах Припятского прогиба температура на глубине 4 км превышает 100 °С, например скважина Барсуковская-63. Как теплые, так и горячие воды, либо рассолы могут быть подняты на земную поверхность через буровые скважины и их тепло использовано для отопления зданий, обогрева теплиц, сушки зерна и т.п..

Количество тепла, запасенное в недрах Земли, - огромно. В верхней оболочке до глубины 10 км оно превышает в 50 000 раз количество тепла, запасенное во всех месторождениях нефти и природного газа в мире. В отличие от неравномерного распределения месторождений нефти, газа и каменного угля, геотермальная энергия имеется в любом месте планеты. Температура земных недр везде монотонно возрастает с глубиной, Однако геотермический градиент (темп этого роста температуры) различен в пределах разных блоков земной коры.

Во многих странах мира имеются значительные ресурсы подземного пара и пароводяной смеси. Здесь на базе геотермальной энергии работают в течение ряда лет электростанции. (Аргентина - Ньюквин, Восточная Африка - Naivasha, Исландия - Nesjavelir, Namafjal, Krafla и США - Geysers с температурой пара до 400 °С на глубине всего несколько сотен метров и установленной мощностью до 400 Мвт для месторождений Reykjanes, Isafjordur и др.; Италия - Larderello и Monte Amiata; Мексика - Мексикали; Новая Зеландия - Wairakei, Broadlands,

Kawerau; США - Salton Sea, Долина Гейзеров; Филиппины; Турция - Кизилдере; Япония - Хатчобару, Гваделупа - станция Буйонт, и др.). На Гваделупе, например, производится 5.3 МВт электрической мощности - это 70% потребности этой маленькой страны Карибского бассейна. Паужетская электростанция мощностью 11 МВт, вырабатывающая более 20 миллионов киловатт-часов электроэнергии, функционирует более двух десятков лет в России на Камчатке. Там же на Мутновском месторождении парогидротерм с температурой флюида 250-310 °С введена в действие геотермальная электростанция мощностью 40 МВт.



Рисунок 4. Геотермальная станция в гор. Клайпеда, Литва, запущена в эксплуатацию в 2005 году с тепловой мощностью 35 МВт.

В недрах Беларуси и соседних стран практически отсутствует подземный пар, а в большинстве случаев имеющиеся источники геотермальной энергии с температурой менее 100 °С. Хорошим примером для их практического использования (рисунок 4) стало создание и ввод в эксплуатацию

геотермальной станции в литовском городе Клайпеда. Она использует теплую воду, из двух скважин с температурой на их выходе около 39 °С, абсорбционные тепловые насосы понижают ее до 11 °С отбирая тепло, после чего минерализованная вода возвращается через две другие скважины в подземный горизонт. Станция способна выработать тепло в объеме, достаточном для горячего водоснабжения всей Клайпеды с населением около 200 000 человек. Отпускная цена тепла вдвое ниже, чем тепла, вырабатываемого газовыми котельными города.

За истекшие 100 лет технология использования подземного тепла получила значительное развитие. Современные технические средства позволяют извлекать тепло даже из достаточно холодных подземных вод и из осадочных отложений, расположенных на малых глубинах.

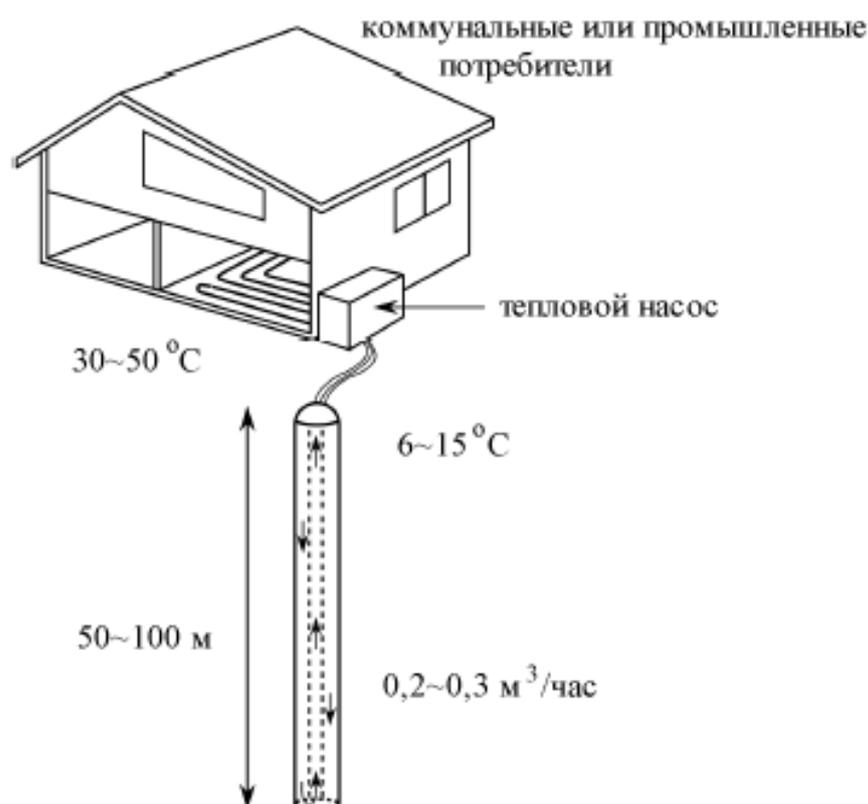


Рисунок 5. Схема отбора тепла из мелкой скважины и отопления помещения с использованием теплового насоса. Система обогрева смонтирована в полу здания.

Одна из схем отопления жилого помещения показана на рис. 5. Здесь на вход теплового насоса – устройства позволяющего повысить температуру

подаваемого на его вход теплоносителя, поступает холодная вода с температурой 6 – 10 °С, а на его выходе температура уже составляет 30 – 50 °С, что вполне достаточно для отопления здания. Такие системы применяются во многих странах мира. На карте распределения температуры на глубине 200 м в пределах Беларуси, рис. 6, видно, что в южной и западной частях страны она достигает 10–14 °С, и снижается до 7–9 °С в центральной и северо-восточной частях. Эти значения температуры повсеместно пригодны для использования тепла с помощью тепловых насосов практически на всей территории страны.

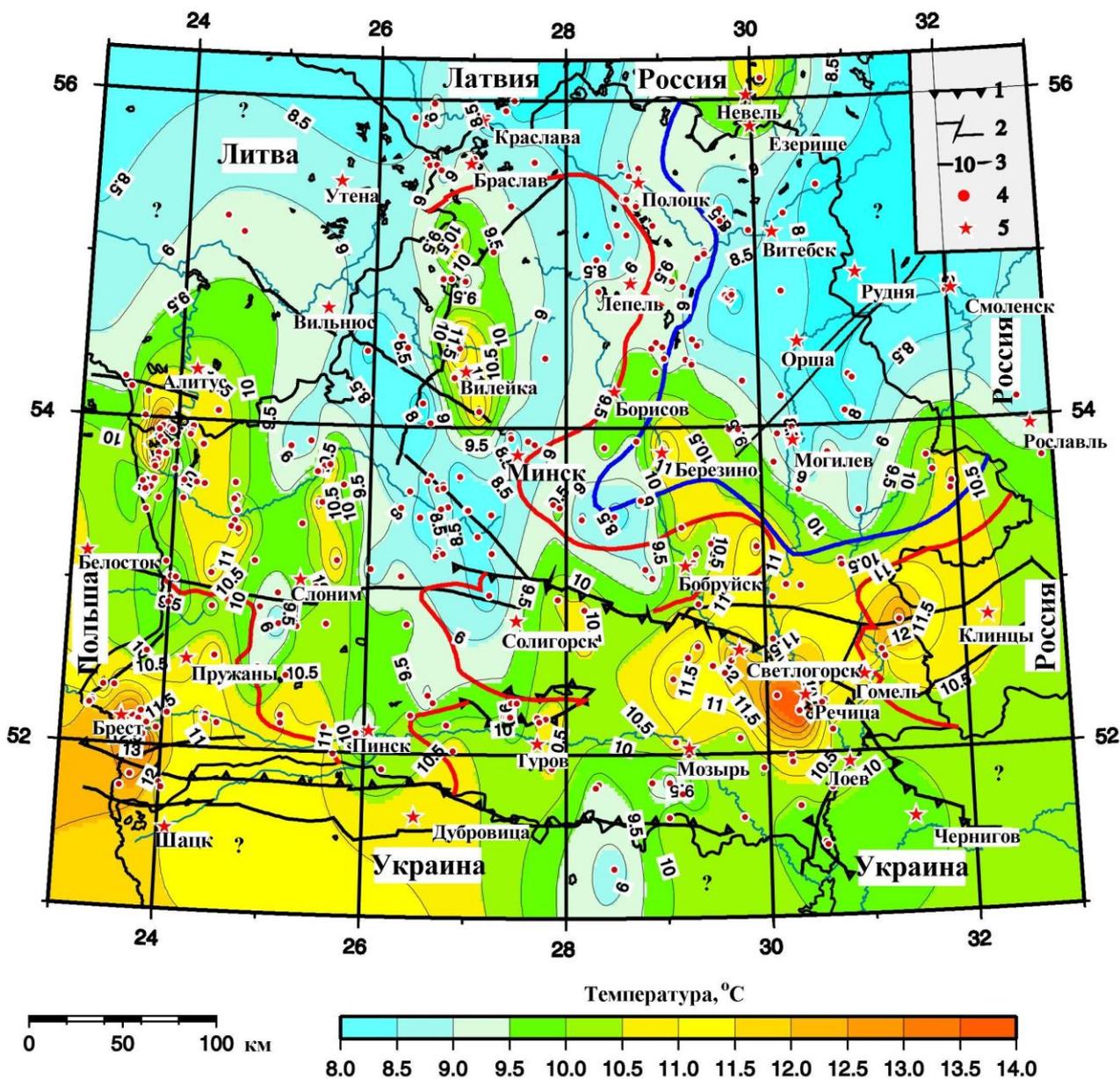


Рисунок 6. Карта распределения температуры в Беларуси на глубине 200 м  
 Обозначения: 1, 2 – суперрегиональные и региональные разломы поверхности фундамента, 3 – изотермы, °С, 4 – изученные скважины, 5 – населенные пункты. Аномалии повышенных значений температуры: I – Гродненская, II – Молодечненско-Нарочанская, III – Западно-

Оршанская, IV – Чечевичско-Речицкая, V – Припятская, VI – западного склона Воронежской антеклизы, VII – Подляско-Брестская, VIII – Мостовская, IX Ляховичско-Ельненская, X – Туровская, XI – Выступовичско-Ельская, XII – Кобринско-Пружанская. Аномалии пониженных значений температуры: А – Восточно-Оршанская, В – восточной части Белорусской антеклизы, С – Червенского структурного залива, D центральной части Белорусской антеклизы, Е – Центрально-Белорусского массива. Красными жирными линиями изображены границы положительных структур: Белорусской антеклизы, Полесской седловины и Воронежской антеклизы по изогипсе 500 м, а синей линией – границы Оршанской впадины по изогипсе 700 м, соответственно.

Главной целью, на которую направлены исследования по использованию подземного тепла – это экономия традиционных видов топлива, сжигаемого при выработке тепловой энергии в Беларуси, а также на связанное с этим улучшение экологической обстановки в республике, прежде всего за счет снижения вредных выбросов продуктов, образующихся в результате сжигания топлива, в атмосферу. Еще одной весьма важной стороной вопроса является то, что земное тепло относится к возобновляемым источникам энергии.

В Беларуси уже действуют 6 небольших теплонасосных установки, созданные по проектам И.С. Жидовича и использующие практически холодные подземные воды для работы тепловых насосов, расположенные, в том числе, и в Минском районе. Они используются для отопления зданий. В настоящее время ведется бурение геотермальной скважины на восточной окраине города Бреста для последующего создания здесь первой в стране геотермальной станции для парниково-тепличного комбината “Берестье”. Резкое повышение цен на импортируемые страной традиционные теплоносители – природный газ и нефть выдвигает настоятельную необходимость проведения комплекса научно-исследовательских работ по выявлению возобновляемых ресурсов геотермальной энергии и их быстрейшему практическому использованию. Такая задача также ставится рядом стран Евросоюза, где намечено довести до 10 – 12% долю геотермальной энергии в энергетическом балансе этих стран через 5 – 7 лет. В этой связи можно отметить, что Беларусь имеет потенциальную возможность войти в число европейских лидеров по темпам освоения этого, по сути, бесплатного и экологически чистого вида энергии.

Основные преимущества геотермальной энергии перед другими видами

энергии:

- значительные ресурсы, их использование не связано с выводом их сельскохозяйственного оборота значительных сельхозугодий,
- это возобновляемый вид энергии,
- это чистая энергия, ее использование не приводит к загрязнению окружающей среды,
- в районах использования геотермальных станций происходит оздоровление среды обитания человека за счет очищения атмосферы от продуктов сжигания традиционного топлива, а следовательно, и снижение «кислотных дождей»,
- возможность использования старых скважин, затраты нужны только на их реконструкцию, после завершения эксплуатации месторождений углеводородов могут быть использованы эксплуатационные скважины нефтяных и газовых залежей,
- можно использовать теплые воды, добываемые из старых шахт, а также откачиваемые из близлежащих скважин водопонижения,
- возможность каскадного использования геотермальных вод,
- возможность попутного извлечения растворённых в воде элементов, как бром, йод и др.