
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ТЕПЛА ЗЕМЛИ — МОЩНЫЙ ВКЛАД В ПОЛИТИКУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. Д. Хуторской

¹ Геологический институт РАН

Энергосбережение — важнейший экономический фактор современного мира. Быстрое развитие экономики земного шара, внедрение новых, энергоемких технологий для обеспечения жизнедеятельности людей влечет за собой увеличение энергопотребления. Традиционная энергетика базируется на запасах ископаемого топлива, которые исчерпают себя уже в середине этого столетия. Россия, несомненно, является одной из богатейших стран в мире по энергетическим ресурсам, где фактор несовпадения хозяйственных потребностей и природных возможностей пока не актуален. Однако извлечение невозобновляемых энергоресурсов из недр происходит настолько интенсивно, что, по мнению европейских независимых энергетических агентств, наша страна уже в 50-е годы этого столетия может столкнуться с дефицитом экспортного потенциала углеводородов. (Бранчугов и др., 2004)¹.

Объективные факторы и тенденции развития энергетики позволяют предположить, что уже в первой половине этого века произойдет заметная переориентация на нетрадиционные источники энергии. Нефть, уголь, природ-

ный газ, горючие сланцы, а тем более древесина и продукты ее переработки практически будут исключены из энергетических ресурсов.

Мировая экономика в настоящее время взяла курс на переход к рациональному сочетанию традиционных и новых источников энергии. Энергопотребление в мире к 2010 г. составляло более 18 млрд т.у.т., к 2025 году оно может возрасти до 30—38 млрд т.у.т., а к 2050 г. — до 60 млрд т.у.т. Характерной тенденцией развития мировой экономики в этот период будет систематическое снижение доли органического топлива и компенсирующий рост доли возобновляемых энергетических ресурсов (Huttrer, 2000; Lund, Freeston, 2000)².

Неисчерпаемая тепловая энергия Земли — геотермальная энергия — занимает среди последних одно из лидирующих мест. Непрерывная генерация внутриземного тепла за счет радиоактивного распада долгоживущих изотопов, содержащихся в геосферах Земли, а также переход энергии гравитационной дифференциации в глубинных оболочках планеты в тепло компенсирует его внешние потери

¹ Бранчугов В. К., Гаврилов Е. И., Литвиненко В. С. и др. Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России. Состояние и прогноз // М.: Недра, 2004. — 548 с.

² Huttrer G. W. The status of world geothermal power generation 1995—2000 // Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Hyushu — Tohoku, Japan. May 28 — June 10, Vol. 1. P. 23—37.

и определяет возобновляемость геотермальных ресурсов.

Спор об эффективности геотермальной энергетики ведется из-за различных методов оценки отдельных проектов, комплексных программ развития альтернативной энергетики, используемых в развитых странах мира и в России. В нашей стране применяются лишь оценки краткосрочных экономических результатов отдельно взятых проектов. Такой анализ не включает грядущие риски, которые связаны с ценами на топливо и будущими вложениями в охрану окружающей среды (Поваров и др., 1994)¹.

Состояние энергетической отрасли в большой степени определяет уровень развития общества, конкурентоспособность экономики и качество окружающей среды. Но для России необходимость обеспечения устойчивого и эффективного развития энергетики обусловлена еще ее главной ролью в экспорте и наполнении прибыльной части бюджета.

Данная отрасль характеризуется инерционностью, длительным инвестиционным циклом, крупными финансовыми затратами на разработку новых технологий. Поэтому неверный выбор научно-технологического развития опасен крупными экономическими потерями и увеличением отставания от развитых стран. Но отечественная энергетика в последние 5–7 лет взяла курс на внедрение высокотехнологических производств, развитие интеллектуальных энергетических сетей и энергоинформационных систем.

Внедрение энергосберегающих технологий может снизить нагрузку на экономику из-за уменьшения энер-

гоемкости и себестоимости продукции, привести к улучшению экологической обстановки. Для повышения уровня энергосбережения нужны новые накопители электрической и тепловой энергии (Копылов, 2008)².

Улучшению электрификации транспорта может послужить появление электрохимических источников тока. Они отличаются большой емкостью, безопасностью и низкой себестоимостью. С помощью тепловых насосов можно модернизировать отопительные системы в жилом секторе, если решить проблемы их сервисного обслуживания и снижения стоимости инсталляции.. Для развития топливных элементов на основе водорода, имеющих большой потенциал, нужно сократить издержки, создать инфраструктуру и рынок соответствующих устройств. Уже сейчас существуют гибридные энергетические установки мощностью более 20 МВт с КПД выше 70 %, которые демонстрировались на автосалонах последних лет фирмами «Тойота» и «BMW». Разработка реакторов на быстрых нейтронах, технологий замыкания ядерного топливного цикла могут многократно увеличить эффективность использования ресурса ядерного топлива и снизить объемы радиоактивных отходов.

Остается надеяться, что в ближайшее время речь пойдет о внедрении обширного спектра альтернативных источников энергии, о локализации производства энергии и близости этих источников к потребителю.

Геотермальные источники энергии

Ресурсы внутриземного тепла разделяются на гидротермальные и петротер-

¹ Поваров О. А., Томаров Г. В., Кошкин Н. А. Состояние и перспектива развития геотермальной энергетики в России// Теплоэнергетика. 1994. №2 . С. 15–22.

² Копылов А. Е. Экономика развития возобновляемой энергетики в России. Ж. «Энергия. Экономика. Техника. Экология», №7, 2008. С. 11–17.

мальные. Первые из них представлены теплоносителями-флюидами — подземными водами, паром и пароводяной смесью. Вторые являются геотермальной энергией, содержащейся в горячих горных породах, нагреваемых за счет глубинного кондуктивного теплового потока.

Общие кондуктивные теплотери Земли сегодня оцениваются величинами от 25 до 32 ГВт_т. Эти выводы опираются на материалы обширных региональных исследований. Такие исследования в XX веке особенно интенсивно развивались в нашей стране. Их результатами стало множество разнообразных геотермических карт, изданных в разное время (Геотермический..., 2000; Карта теплового..., 1980; Подгорных, Хуторской, 1997 и др.)¹. Собранный при этом обширный базис данных о глубинных температурах позволяет составлять для отдельных регионов двумерные и трёхмерные геотермические модели (Khutorskoy et al., 2004)².

Гидротермальные ресурсы составляют лишь 1 % от общих ресурсов геотермальной энергии, но в силу относительной технологической простоты их извлечения утилизация этого вида

внутриземных ресурсов началась более ста лет назад и с успехом продолжается до настоящего времени. Однако районы их возможного энергетического использования приурочены к зонам современного вулканизма, где подземные воды приобретают дополнительную энтальпию при соприкосновении с магматическими телами и циркулируют на относительно небольшой глубине, доступной для буровой техники сегодняшнего дня.

Срок службы скважин во многих странах не достигает и десяти лет. Использование термальных высокоминерализованных вод в качестве теплоносителя приводит к химической коагуляции скважин, солеотложению и коррозии оборудования. Кроме того, все источники гидротермальной энергии в подавляющем большинстве отдалены от потребителя. Это во многом ограничивает возможность их утилизации, хотя следует указать на значительный прирост в последние 25—30 лет доли гидротермальной энергии в таких странах, как Мексика, Филиппины, Япония, Новая Зеландия, Китай, Сальвадор и др. В России общая инсталлированная мощность геотермальных электростанций составляет 73 МВт_э, хотя до 2000 г. электроэнергия производилась только на Паужетской геотермальной теплоэлектростанции (ГеоТЭС) мощностью 11 МВт на юге Камчатки. До указанного значения мощность возросла после пуска на Камчатке Мутновской (2000 г.) ГеоТЭС мощностью 50 МВт и Верхне-Мутновской (2001 г.) ГеоТЭС мощностью 12 МВт.

Опыт подтверждает, что при наличии неглубоких коллекторов природного пара строительство ГеоТЭС представляет собой наиболее выгодный вариант использования геотермальной энергии.

¹ Геотермический атлас России (под ред. А. А. Смыслова, электронная версия; составлена в ФГУП НПЦ «Недра» и СПбГИ, авторы Богуславский Э. И., Вайнблат А. Б., Гашева И. М., Певзнер Л. А., Хахаев Б. Н.) Санкт-Петербург, Ярославль, 2000.

Карта теплового потока и глубинных температур территории СССР и сопредельных районов м-ба 1: 10 000 000 (отв. ред. Я. Б. Смирнов). ГУГК СМ СССР, М.: 1980.

Подгорных Л. В., Хуторской М. Д. Планетарный тепловой поток. Карта м-ба 1: 30 000 000 (7 л. + объясн. записка). М.: Оргсервис. 1997.

² Khutorskoy M. D., Podgornych L. V., Leonov Yu. G., Polyak B. G., Pavlenkin A. D. Thermotomography as a new tool for studying the geothermal field // Georesources, 1 (8), 2004. P.14—21

По предварительным оценкам на территории России прогнозные запасы термальных вод с температурой 40–250 °С, минерализацией 35–200 г/л и глубиной залегания до 3 км возможно извлекать с дебитом 21–22 млн м³/сут., что эквивалентно сжиганию 30–40 млн т у.т./год (Богуславский, 2018)¹.

Огромное значение для энергетики будущего имеет извлечение тепловой энергии, заключенной в «сухих» горных породах — петротермальных ресурсах. Эта энергия составляет около 99 % от общих ресурсов подземного тепла. На глубине до 5–6 км в активных геодинамических провинциях можно встретить массивы с температурой 250–300 °С. Но глубинные температуры 100–150 °С в этом интервале глубин встречаются на территории нашей страны почти повсеместно. При таких температурах утилизация петротермальных ресурсов для целей энергетики и особенно теплоснабжения становится актуальной и рентабельной (Гнатусь, Хуторской, 2010)².

Разработка петротермальных ресурсов предполагает использование разнообразных технических систем. Под системой извлечения петротермальных ресурсов понимается комплекс естественных технических средств, обеспечивающих извлечение тепла из недр и вывод его на земную поверхность или превращение в другие виды энергии.

Для выполнения своего назначения система должна состоять из следующих основных элементов (рис. 1, 2):

1) подземный тепловой котел (природный или искусственно созданный

теплообменник) — часть массива горных пород, в котором в результате эксплуатации системы нарушается естественное тепловое поле и происходит полная или частичная передача тепла подвижному теплоносителю;

2) подвижный теплоноситель для отбора и переноса тепла;

3) вскрывающие каналы (чаще всего в виде буровых скважин) для транспортировки тепла на земную поверхность.

Одним из возможных вариантов такого рода систем является циркуляционная система извлечения тепла Земли, в которой для переноса тепла используется циркуляция техногенного теплоносителя через скважины и проницаемую зону земного теплового котла.

Принципиальная схема циркуляционной системы (рис. 3) включает нагнетательную и эксплуатационную скважины, подземный котел с зоной фильтрации и поверхностный комплекс, состоящий из установки для очистки теплоносителя, промежуточного теплообменника и насосной установки.

Для сообщения между скважинами можно использовать проницаемый пласт или создать искусственный коллектор с серией вертикальных трещин гидроразрыва (см. рис. 2).

Производительность и срок службы циркуляционных систем зависят от объема естественной или искусственно созданной зоны проницаемости массива с развитой поверхностью теплообмена «горячих» пород и фильтрационного потока теплоносителя. Разумеется, там, где возможно, следует использовать природные пористые или трещинные коллекторы. Однако для извлечения тепла сухих пород в любом районе, следует ориентироваться главным образом на подземные котлы, образованные разрушением непроницаемого или слабопроницаемого породного массива.

¹ Богуславский Э. И. Освоение тепловой энергии недр. М.: Изд-во «Спутник». 2018. 447 с.

² Гнатусь Н. А., Хуторской М. Д. Тепло «сухих» горных пород — неисчерпаемый возобновляемый источник энергии // Литология и полезн. ископаемые. 2010. №6. С.662–670.

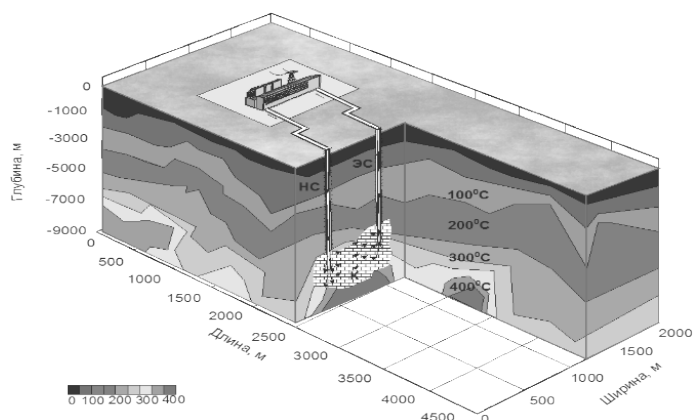


Рис. 1. Трехмерная модель распределения температур и расположение циркуляционной системы извлечения петротермальной энергии твердых горных пород с естественным проницаемым коллектором: НС — нагнетательная скважина, ЭС — эксплуатационная скважина, К — коллектор

Fig. 1. Three-dimensional model of temperature distribution and location of the circulation system for extracting petrothermal energy from solid rocks with a natural permeable reservoir: NS-injection well, HC — production well, K — collector

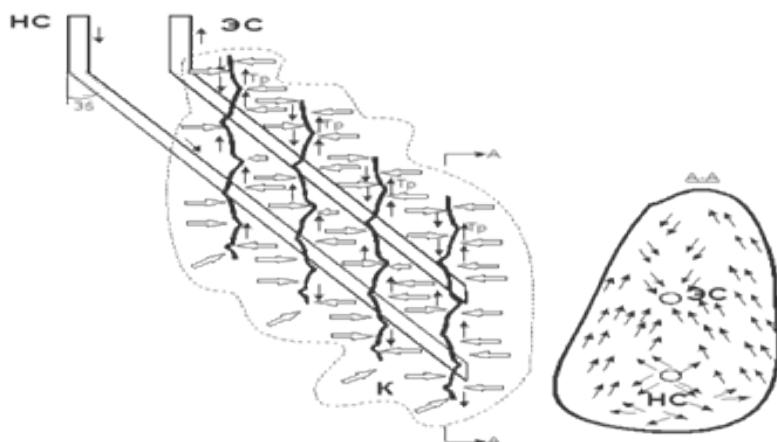


Рис. 2. Трехмерная модель распределения температур и расположение циркуляционной системы извлечения петротермальной энергии твердых горных пород с искусственным коллектором — серией вертикальных трещин гидроразрыва: НС — нагнетательная скважина, ЭС — эксплуатационная скважина, К — коллектор

Fig. 2. Three-dimensional model of temperature distribution and location of the circulation system for extracting petrothermal energy of solid rocks with an artificial reservoir — a series of vertical fractures of hydraulic fracturing: NS — injection well, ES — production well, K — collector

Что касается преимуществ и недостатков этого вида энергии, то к преимуществу петротермального источника энергии можно отнести следующие:

- повсеместное распространение,
- неисчерпаемость,

- приближенность и приспособляемость к потребителю,
- сравнительно низкие капиталовложения и трудоемкости при освоении,
- безотходность, безопасность в эксплуатации, экологическая чистота.



Рис. 3. Петротермальная циркуляционная система (ПЦС)

Fig. 3. Petrothermal circulation system (PCR)

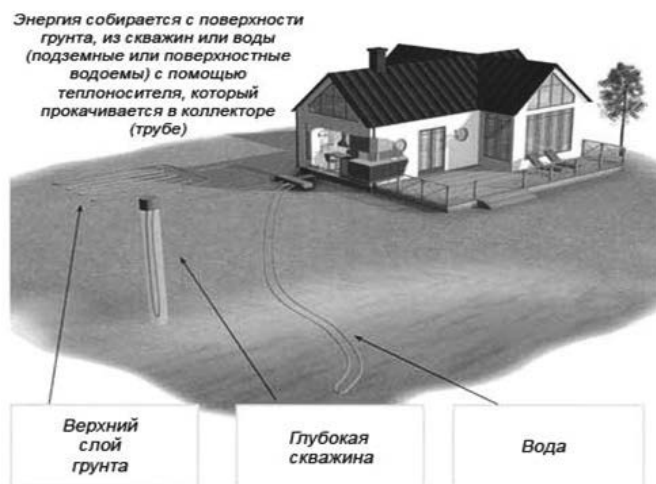


Рис. 4. Схема сбора «первичного тепла»

Fig. 4. Scheme of collecting «primary heat»

К недостаткам можно отнести сравнительно низкий потенциал на глубине до 3 км, нетранспортабельность, невозможность складирования, отсутствие опыта промышленного освоения в России.

Применение тепловых насосов

Говоря о геотермальной энергии, нельзя не затронуть тему тепловых насосов. Тепловые насосы (ТН) являются на сегодня своего рода уникальным видом техники.

В геотермальной энергетике эта техника позволяет широко использовать накопленную в окружающей среде солнечную энергию в виде низкотемпературного тепла воды, почвы

и воздуха (рис. 4). Теплонасосная техника является одной из самых эффективных для обогрева или охлаждения зданий и предоставляет большие возможности для снижения потребления энергии и выбросов CO_2 . В Северной Европе (Швеция, Дания, Германия, Нидерланды, Польша, Литва) доля ТН в теплоснабжении отдельных индивидуальных коттеджей достигает 85–90 % [Lund, Freeston, 2000].

При каждом ТН необходимо наличие источника тепла, температура которого настолько низкая ($0 \div 25^\circ\text{C}$), что его невозможно использовать иначе, кроме как для охлаждения источника, и уже с её помощью поднимать температуру.

Энергобаланс ТН является, собственно, причиной для их возрастающего распространения. Из 100 % произведенной энергии до 80 % берётся из окружающей среды или низкотемпературного источника.

По своему принципу действия ТН — это устройство для переноса тепловой энергии от теплоисточника с низкой температурой (чаще всего — это окружающей среды) к теплоресиверу (внутридомовое пространство) с высокой температурой.

Для работы ТН необходима затрата внешней энергии (механической, электрической, химической). Процессы, происходящие в системах ТН, подобны осуществляемым рабочим телом в холодильной машине, с той разницей, что назначение холодильника — это производство холода, а теплового насоса — производство тепла. Рабочим телом в тепловом насосе обычно является жидкость с низкой температурой кипения (например, изобутан или аммиак). Теплоприёмник в этой системе получает, кроме тепла, эквивалентного совершаемой внешней работе, ещё и тепло, перенесённое от теплоисточника, например, тепло речной или подземной воды или грунтового слоя. Следовательно, коэффициент преобразования энергии в ТН всегда больше единицы, поэтому такой процесс более выгоден, чем непосредственное превращение электрической, механической или химической энергии в тепло.

Принцип работы системы с ТН заключен в следующем: энергия от источника с помощью рабочей жидкости (антифриза) транспортируется к тепловому насосу, где она переносится к рабочей среде (хладоагенту), способной поглощать и отдавать тепло. С помощью компрессора ТН может увеличивать массу переносимого антифриза, регулируя, таким

образом, температуру рабочей среды, которая затем передаёт тепло зданию в системы отопления и горячего водоснабжения.

При этом ТН требует затрат лишь на электричество, необходимое для работы компрессора, что составляет всего 20—25% всей необходимой энергии, а 75—80 % этой энергии берётся как бы «бесплатно» из природного источника. При этом участок, из-под которого отбирается тепло, будет незначительно охлаждаться, поэтому не рекомендуется размещать контур с первичным теплоносителем под огородом или теплицей.

В России установлено несколько сотен ТН общей мощностью около 30 МВт, которые продолжают работать. Они размещены главным образом в индивидуальных коттеджах и в некоторых общественных зданиях. ТН производятся в Новосибирске, в Саратове и в Москве чаще всего на заводах холодильного оборудования.

Сегодня самый эффективный путь экономии энергии в частном доме — это уменьшение стоимости затрат на отопление и подогрев горячей воды для бытовых нужд. ТН «выкачивает» солнечную энергию из грунта, скальной породы или озера, накопленную за тёплое время года. Хотя установка ТН в России сегодня стоит недешево, применение этого устройства как средства теплоснабжения и горячего водоснабжения окупается за 2—3 года эксплуатации.

Внедрение энергосберегающих технологий будет активно развиваться на наших глазах. Их применение в России может снизить нагрузку на экономику за счет уменьшения энергоёмкости и себестоимости продукции, укрепить финансовую устойчивость жилищно-коммунального хозяйства.

Однако в сфере энергосбережения для России имеются следующие угрозы:

- низкие объемы энергосбережения в сфере конечного потребления;
- технологическая отсталость и высокая степень износа оборудования;
- низкий уровень извлечения и глубина переработки углеводородного сырья;
- недостаточная надежность энергоснабжения;
- нерациональная структура электросетевого хозяйства и генерирующих мощностей;
- отсутствие технологий эффективной передачи электроэнергии на сверхдальние расстояния;
- неразвитость энергетической инфраструктуры значительной части территории страны;
- недостаточные объемы и низкая эффективность геологоразведочных работ;
- высокий уровень монополизации отечественных энергетических рынков, разрушающий конкуренцию и создающий запретительно высокие барьеры для входа в любое звено цепочек создания стоимости;
- расположение новых месторождений в экстремальных климатических и геологических условиях.

Выполненные экономические расчеты и оценка воздействия энергомощностей на окружающую среду показали, что использование альтернативных (возобновляемых) источников энергии в российских условиях является вполне обоснованным новым направлением в теплоэнергетике. В этом ряду источников геотермальная (петротермальная) энергия характеризуется наибольшей доступностью, наибольшим потенциалом и наибольшей экологической привлекательностью по сравнению с другими видами энергии.

Укажем еще на ряд преимуществ при освоении петротермальных ресурсов.

- Важно отметить, что развитие петротеплоэнергетики позволит значительно уменьшить экологический риск при воздействии на окружающую среду, так как отсутствует сжигание топлива и, следовательно, нет вредных выбросов в атмосферу, загрязнения почвы и водоемов. Роль экологического фактора постоянно нарастает и уже сегодня оценивается многомиллиардными потерями из-за ухудшения здоровья людей и вредного воздействия на биогеоценозы.

- Развитие петротеплоэнергетики позволяет высвободить топливные ресурсы, расходуемые на производство электроэнергии и тепла. Замещаемые глубинным теплом Земли топливные ресурсы (в первую очередь природный газ и энергетический уголь) могут более рационально использоваться в экономике страны, позволяют снизить остроту освоения топливных месторождений, расположенных в экстремальных условиях, дают возможность увеличить потенциал экспорта энергоресурсов.

- Снижается поток топливных грузов, высвобождаются пропускные способности газопроводов и железных дорог для других целей. В настоящее время топливные грузы занимают первое место по объемам отправления и грузопотокам. Это может быть заметным вкладом петротеплоэнергетики в решение проблем транспорта.

- Развитие петротеплоэнергетики даст новый импульс к созданию и развитию техники «know-how» и сопутствующего ей оборудования. Это новые буровые комплексы, турбины, диапазон мощности которых может включать от единиц до сотни и более мегаватт, электрогенераторы и другое электро-

техническое и теплотехническое оборудование, установки для химической очистки воды, насосное оборудование, в том числе сверхвысокого давления, измерительная техника для работы в диапазоне температур до 300°C.

- Стабильно низкая стоимость электроэнергии и тепла петрознергетических объектов позволяет решать ряд социально значимых задач: повышение надежности и качества энергоснабжения населения и коммунально-бытовой сферы страны; снижение энергетических затрат, необходимое для полноценного обеспечения населения страны растениеводческой продукцией закрытого грунта, особенно в климатически суровых и труднодоступных регионах страны; получение холода, необходимого для хранения в полном объеме сельскохозяйственной и другой продукции, что позволит снизить ее потери; круглогодичный обогрев взлетно-посадочных полос аэродромов, который повысит надежность и ритмичность воздушного сообщения.

Пока еще трудно назвать все возможные направления в экономике России, которые будут развиваться и преобразовываться под влиянием освоения горячих недр на глубине до 10–12 км

в пределах суши. По имеющимся оценкам полномасштабное извлечение этого тепла может обеспечить энергетические нужды страны на сотни лет.

В первую очередь создание и развитие петротеплоэнергетики должно быть направлено на обеспечение энергетического комфорта населения России, особенно проживающего в поселках городского типа, малых и средних городах с населением до 150 тыс. человек. Именно в этой части населенных пунктов страны малонадежно электроснабжение, во многих случаях отопление обеспечивается низкоэффективными тепловыми источниками, а горячее водоснабжение отсутствует. При этом доля энергетических затрат в бюджетах населения постоянно нарастает.

Возможность практически неограниченного размещения петрознергетических станций позволяет их сооружать вблизи объектов потребления энергии и тем самым сократить инвестиционные и операционные затраты на дальний транспорт топлива и электроэнергии. Практическое освоение петротермальных ресурсов Земли будет оказывать комплексное позитивное воздействие на развитие отечественной экономики. **ГИАБ**

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Хуторской Михаил Давыдович — доктор геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, гл. научный сотрудник, Геологический институт РАН, Научный Совет РАН по проблемам геотермии, mdkh1@yandex.ru.

