

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

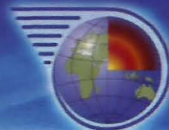
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА



Министерство образования и науки  
Российской Федерации



Минпромэнергетики ЧР



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ  
им. В.И. ВЕРНАДСКОГО

Материалы  
Международной научно-практической конференции

# «GEOENERGY»

19 – 21 июня 2015 г.

г. Грозный

УДК 553.04

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

©Черкасов<sup>1</sup> С.В., Чурикова<sup>1</sup> Т.Г., Бекмурзаева<sup>2</sup> Л.Р., Гордейчик<sup>1</sup> Б.Н.,  
Фархутдинов<sup>3</sup> А.М.

<sup>1</sup>Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва; <sup>2</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный; <sup>3</sup>Башкирский государственный университет, Уфа

*В статье дана оценка геотермального потенциала России и перспектив его освоения. Проведен анализ мирового опыта в области использования геотермальной энергии. На основе обширного литературного материала рассмотрены существующие классификации геотермальных ресурсов и преимущества их использования.*

Россия является одной из богатейших стран в мире по запасам энергетического сырья. Но ни для кого не является секретом, что интенсивное использование природных невозобновляемых источников энергии, таких как уголь, нефть и газ, приводит к неуклонному сокращению их запасов как в мире, так и в России. Большинство крупных и суперкрупных месторождений выработаны на 50% и более, по мнению мировых экспертов, наша страна начнет ощущать недостаток в энергетических ресурсах уже в 30-50 годах текущего столетия [4].

В связи с этим в настоящее время одним из наиболее острых и актуальных вопросов энергетики является вопрос поиска альтернативных источников энергии. Достаточно сказать, что примерно две трети мировой выработки электроэнергии приходится на тепловые электростанции, использующие невозобновляемые энергоресурсы – ископаемые углеводороды (уголь, газ, нефтепродукты). В большей степени от углеводородного сырья зависят отопление и транспорт. Сегодня 80% всего мирового энергопотребления приходится на уголь, нефть и газ, и ещё 5% – на атомную энергетику. Таким образом, человечество зависит от невозобновляемых источников энергии примерно на 85% [8]. Естественно, что это не может продолжаться бесконечно, особенно в условиях растущего энергопотребления. Вопросы использования альтернативных источников энергии, в том числе возобновляемых, признаются все более актуальными и в России [13, 14].

Среди альтернативных источников энергии одним из неисчерпаемых и возобновляемых является геотермальное тепло, происходящее из недр Земли. В этой работе перспективы развития геотермальной энергетики в России рассматриваются через призму мирового опыта.

**Использование геотермальных ресурсов в мире.** В западных странах массовое использование геотермальных ресурсов (в т.ч. массовое внедрение тепловых насосов) связано с энергетическими кризисами 70-80-х годов XX века. Уже первые станции и установки по использованию геотермального тепла показали достаточную рентабельность и экономическую целесообразность дальнейшего расширения работ по использованию этого возобновляемого природного ресурса [28]. К 2010 г. прямое использование геотермальных ресурсов велось в 78 странах при суммарной инсталлированной мощности геотермальных установок до 10,7 ГВт [45], причем в ближайшее время ожидается увеличение мощности до 18,5 ГВт.

В 2012 году Международное Агентство по Возобновляемой Энергии – МАВЭ (International Renewable Energy Agency – IRENA) и Международное Энергетическое Агентство – МЭА (International Energy Agency – IEA) договорились о совместной разработке базы данных по возобновляемым источникам энергии, политике стран и мерам, направленным на развитие геотермальной энергетики [41]. Совместная база данных направлена на расширение сферы применения существующих технологий и стимулирование политики развития и использования возобновляемых источников энергии в мире. В настоящее время только база данных МЭА содержит более 1100 наборов данных о возобновляемых источниках энергии и проектах, которые реализуются в 72 странах мира. Ожидается, что объединенная база данных, вероятно, увеличит этот список до более, чем для 100 стран. По оценкам западных ученых, к концу XXI века доля геотермальных ресурсов в энергобалансе мировой экономики составит от 30 до 80 процентов [47; 50].

**Классификация геотермальных ресурсов.** Прежде всего, стоит обратить внимание на классификацию геотермальных ресурсов, которая до последнего времени довольно неоднозначна. Тем не менее, классификация запасов и ресурсов является ключевым элементом в характеристике, оценке и развитии любых энергетических ресурсов, в том числе и геотермальной энергии. Поскольку геотермальная энер-

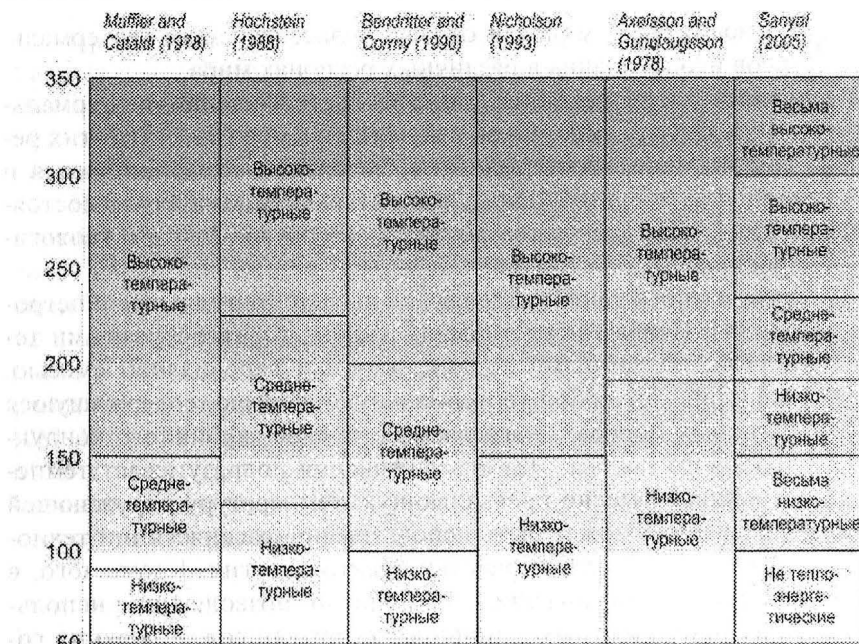
гетика – относительно молодая отрасль, классификация геотермальных ресурсов неоднозначна в различных регионах мира.

Основным элементом большинства классификаций геотермальных систем является температура как основная мера качества этих ресурсов. Тем не менее, геотермальные системы классифицируются и на основе других аспектов, таких, как энтальпия, физическое состояние источника, природа геотермального резервуара или его геологическое строение.

Ресурсы земного тепла разделяются на гидротермальные и петротермальные [4]. Первые представлены жидкими и газообразными теплоносителями: подземными водами, паром и пароводяной смесью. Вторые представляют собой геотермальную энергию, содержащуюся в горячих горных породах, нагреваемых за счет глубинного кондуктивного теплового потока. Эта классификация подразумевает температуру источника, заметно превышающую температуру окружающей среды, и такое тепло может быть использовано классическими технологиями для обогрева или выработки электроэнергии. Кроме того, в последние десятилетия появились технологии, позволяющие использовать тепло поверхностных и приповерхностных вод, и верхних горизонтов грунтов, температура которых может лишь незначительно превышать температуру окружающей среды.

Геотермальные воды (природные подземные воды, имеющие температуру 20°C и выше) вследствие восприятия теплоты разогретых водовмещающих горных пород [32] классифицируются по многим параметрам – по минерализации, по общей жесткости, по кислотности, по газовому составу, по газонасыщенности. Классификация геотермальных ресурсов непрерывно развивается и совершенствуется. Кроме того, в последнее время в связи с расширением рынка использования геотермальных ресурсов в классификацию геотермальных ресурсов вносятся другие дополнения, удобные не только для научных исследований, но и для их практического использования [65]. Тем не менее, сегодня классификация по температуре является наиболее распространенной как в России, так и во всем мире.

Классификация геотермальных систем, основанная на температуре, энтальпии и физических параметрах теплоносителя, была впервые разработана в Исландии около 50 лет назад [36] и усовершенствована рядом работ [37; 33; 52; 44; 34; 53; 60]. Первоначально эта классификация разделяла геотермальные ресурсы на высоко- и низкотемпературные (рис. 1).



**Рис. 1. Разные классификации геотермальных ресурсов**

Это деление было основано на предполагаемых температурах на глубине 1 км. Высокотемпературными считались поля, в которых на глубине 1 км температура достигалась 200°C, в то время как в низкотемпературных полях она не превышала 150°C. Высокотемпературные поля, как правило, связывались с активным вулканизмом, в то время как тепло в низкотемпературных полях поставлялось общим тепловым потоком земной коры. В дальнейшем в эту классификацию была добавлена промежуточная категория среднетемпературных систем. Территории среднетемпературных систем занимают значительную часть земной суши, по разным оценкам – от 50 до 85% [64; 1; 45; 41]. В настоящее время подразделяют несколько подтипов систем в каждой из основных групп [59].

**Геотермальный потенциал России.** Разработка геотермальных ресурсов была начата в Советском Союзе в 1957 году, когда были пробурены первые скважины на геотермальном месторождении Паужетка на Камчатке. В настоящее время российский геотермальный потенциал в основном изучен и оценивается очень высоко. Энергети-

ческий потенциал геотермальных ресурсов, залегающих на глубинах до 3 км, составляет, по оценкам советских и российских специалистов, 180 млн тонн условного топлива (т.у.т.) в год. Экономический потенциал ресурсов теплоэнергетических вод и пароводяных смесей оценивается в 115 млн т.у.т в год при использовании геоциркулярной технологии [12]. По оценке Олега Поварова, из геотермальной энергии за год теоретически может быть получено 16900 ГВт\*час или почти 2% производства электроэнергии в России [15, 16, 17, 57].

Годовой топливный эквивалент геотермальных источников, годных для использования (с содержанием солей в теплоносителе менее 10 г на литр), на Кавказе и в Предкавказье оценивается в 2 млн т.у.т., на Камчатке и Курилах – в 1,8 млн т.у.т., в восточной Сибири и Дальнем Востоке – в 3,4 млн т, в Западной Сибири – в 10 млн т [9]. Общий потенциал геотермальной энергии, доступный для производства электроэнергии в этих регионах, оценивается в 2000 МВт.

Высокотемпературные коллекторы России сконцентрированы в основном в вулканически активных районах – на Камчатском полуострове и Курильских островах. Здесь было разведано около 150 групп термальных источников и 11 высокотемпературных гидротермальных систем [48]. Именно здесь сосредоточены основные усилия на развитие геотермальной энергетики страны: 1) с прошлого века работает Паужетская геотермальная теплоэлектростанция (ГеоТЭС) мощностью 11 МВт; 2) в 2000 году была запущена Мутновская ГеоТЭС мощностью 50 МВт; 3) в 2001 году введена в строй Верхне-Мутновская бинарная станция мощностью 12 МВт; 4) вторая Верхне-Мутновская станция мощностью 100 МВт находится в стадии начального строительства [2, 45, 4, 63]. Проекты расположены на Камчатском полуострове и эксплуатируются СК ОАО «Геотерм».

Другие районы России, занимающие значительную часть ее территории, также характеризуется наличием естественных низко- и среднетемпературных (50-150°C) коллекторов, залегающих на глубинах от 200 до 3000 метров. Наиболее перспективными для освоения средне- и низкотемпературных геотермальных ресурсов являются Центральный, Северо-Западный, Уральский, Южный и Северо-Кавказский федеральные округа [6.10], в том числе такие энергодефицитные регионы как Республика Адыгея, Калининградская область, Дагестан, Западно-Сибирская равнина, район озера Байкал, Красноярский край, Чукотка, Сахалин и др. Кроме того, некоторые запасы геотермального тепла доступны в пределах Восточно-

европейской и Сибирской платформ, на Урале, Алтае и в Саянах, а также в Охотско-Чукотском вулканическом поясе [5]. Все эти ресурсы в настоящее время практически не освоены, имеются лишь единичные примеры их использования. Существуют и планы развития геотермальной энергетики с целью организации теплоснабжения в Краснодарском крае и Калининградской области. Наиболее современная оценка распределения геотермальных ресурсов для территории России проведена ассоциацией «Геотермальное энергетическое общество» в 2006 г. [64].

Несмотря на все преимущества использования геотермальной энергии, из-за относительной дешевизны традиционных видов топлива в России наша страна до сих пор отстает в развитии геотермальной энергетики и нерационально использует и без того уменьшающийся запас невозобновляемых источников энергии. В 2010 году общая инсталлированная мощность геотермальных электростанций в России составляла всего лишь 73 МВт [4].

Сопоставление разных типов геотермальных ресурсов с точки зрения перспектив развития геотермальной энергетики в Российской Федерации приведено в табл. 1.

**Преимущества использования геотермальных ресурсов.** Удивительным преимуществом геотермальных ресурсов в отличие от традиционных источников энергии является их распространение. В настоящее время около 70% населения России живет на привозном топливе [5]. Такая топливная зависимость является важным стимулом для освоения местных возобновляемых энергетических ресурсов. В отличие от неравномерного распределения месторождений нефти, газа и каменного угля средне- и низкоэнтальпийные геотермальные ресурсы имеются в любой точке Земли [28]. Поэтому всегда имеется возможность использования геотермальных ресурсов в непосредственной близости от потребителя, то есть экономить на транспортировке тепла и энергии на большие расстояния.

Другим подкупающим преимуществом использования геотермальных ресурсов является экологичность этого производства. Возобновляемая энергетика в целом и геотермальная в частности имеет серьезные природоохранные и социальные преимущества перед традиционными источниками энергии. Использование геотермальных ресурсов могло бы способствовать улучшению условий жизни, прекращению оттока населения из сельской местности, а также с северных и восточных территорий.

**Таблица 1**  
**Сопоставление разных типов геотермальных ресурсов с точки зрения перспектив развития геотермальной энергетики в Российской Федерации**

<p>Низкотемпературные</p>	<p>Прямое использование жидкостных ресурсов</p>	<p>Тип ресурса</p>
<p>Различные бассейны и артезианские скважины</p>	<p>Наземные источники пара</p>	<p>Источники жидкостных ресурсов</p>
<p>Теплоэнергетические</p>	<p>Наземные источники пара</p>	<p>Теплоэнергия в циркуляционной системе</p>
<p>3-10</p>	<p>Наземные источники пара</p>	<p>Производительность пара, т/сут, 100 т</p>
<p>4-10</p>	<p>в 10</p>	<p>Оценочные значения глубины бурения скважин, м</p>
<p>Теплообменное оборудование с системой Вентури</p>	<p>Тепловой насос</p>	<p>Температура резервуара, °С</p>
<p>Франция, Италия, Япония</p>	<p>Прямое использование жидкостных ресурсов</p>	<p>Системы циркуляции</p>
<p>Теплообменное оборудование в системе Вентури (ЖТХ, теплообменное оборудование)</p>	<p>Теплообменное оборудование</p>	<p>Системы циркуляции</p>
<p>Франция, Финляндия, Швеция</p>	<p>Западная Европа, США</p>	<p>Страны активного использования</p>
<p>Без циркуляционной системы и теплообменное оборудование</p>	<p>Климатические условия</p>	<p>Использование в РФ</p>
<p>Камчатка, Сахалин, Якутия, Северный Кавказ, ЦФО и др.</p>	<p>Полноценные</p>	<p>Перспективные регионы РФ</p>
<p>Реализация циркуляционных систем теплообмена, геотермальные спонсорские разработки геотермальной энергетики, соответствующих законодательных баз</p>	<p>Прогнозные оценочные значения на уровне РФ</p>	<p>Исследования, комплексные программы, разработка законодательных, технических и др. проблем геотермальной энергетики в РФ</p>



Замена традиционных источников энергии на экологически чистые возобновляемые технологии могла бы также привести к снижению нагрузки на окружающую среду и улучшить состояние здоровья и благополучие населения [5].

Геотермальные воды являются потенциально важным источником ценных минералов и металлов [62, 38, 39, 58]. Эти жидкости нагреваются в естественном тепловом потоке недр земли и их длительный контакт с окружающими породами из верхних слоев силикатной коры приводит к растворению минералов и металлов. Высокая температура этих вод способствует активному накоплению в них всего спектра химических элементов. Эксплуатация геотермальных ресурсов неизбежно приводит к разгрузке воды, содержащей заметные концентрации микроэлементов [55]. С одной стороны, примесные добавки геотермальных вод пагубно влияют на коррозионную устойчивость подводных труб и оборудования (рис. 2), приводя к их разрушению и к увеличению стоимости эксплуатации геотермального тепла [18, 19, 38, 49], что зачастую делает любое дальнейшее использование горячей воды практически неосуществимым. С другой стороны, эти водные растворы могут быть обработаны с целью восстановления минералов и металлов. Важнейшими продуктами, добываемыми из геотермальных растворов, являются кремний, цинк, литий и другие металлы [46]. Восстановление полезных ископаемых и металлов из геотермальных растворов может рассматриваться как дополнительное производство при уже имеющихся электростанциях или как отдельное производство ценных дорогостоящих металлов.



Тульское месторождение, Республика Адыгея. Отложения в соединительной трубе после 2 лет эксплуатации



Скважина 14 Ханкальское месторождение, Чеченская Республика. Состояние устьевого оборудования

**Рис. 2. Влияние теплоэнергетических вод на оборудование**

Особое место тут занимает кремнезем, который является повсеместно встречающимся компонентом в геотермальных растворах и, как правило, его содержания довольно высоки. Поэтому при извлечении химических компонентов из растворов кремнезем должен быть удален в первую очередь, либо его концентрации должны быть заметно сокращены [23, 25]. Большинство гидротермальных систем находятся в равновесии с кварцем ( $\text{SiO}_2$ ) [24], в результате чего кремнезем отражает температуру водонесущего резервуара – чем горячее резервуар, тем выше концентрация кремния в гидротермальном растворе. Во время производства энергии, геотермальный раствор с одной стороны охлаждается, с другой стороны часть воды испаряется. Оба эти процесса приводят к перенасыщению жидкости по кремнезему. В конечном счете, кремнезем, как правило, осаждается в коллоидной форме на различных частях ТЭЦ или нагнетательных скважин, приводя к их коррозии [43]. Также кремнезем будет осаждаться на любом оборудовании при добыче других полезных компонент, если его концентрация не будет минимизирована до начала такого производства. Таким образом, ликвидация кремнезема из раствора является ключевым элементом дальнейшего использования термальных вод [54, 57]. Кроме того, задача извлечения коллоидного кремнезема находится в русле принятой государственной программы развития нанотехнологий. Таким образом, решая проблему вывода кремнезема из раствора, решаются одновременно две задачи – возможность дальнейшего использования термального тепла и получение промышленных количеств нанодисперсного кремнезема как ценного сырья для промышленности. Поэтому в настоящее время выделение кремнезема из геотермальных растворов является предметом всеобщего интереса, включая работы в Новой Зеландии [61, 62], Японии [66], России [20, 21, 22, 24, 20, 26], и США [46, 35, 40]. Коммерческий рынок по кремнию в 2005 году составлял около 6 млн фунтов в день, в то время как общей поток кремнезема через геотермальные станции мира составлял около 3 миллионов фунтов в день.

Привлекательность извлечения металлов из гидротермальных растворов заключается в нескольких преимуществах. Несмотря на то, что концентрации полезных компонент в геотермальном растворе не так высоки, как в жидкостях, используемых в гидрометаллургической промышленности, расходы, связанные с добычей полезных ископаемых из геотермального раствора потенциально низки и экономически эффективны по следующим причинам:

— расходы предприятия идут на добычу энергии и полезных ископаемых. Геотермальные станции с целью добычи электроэнергии уже прокачивают и обрабатывают глубинные растворы. Добыча полезных ископаемых в этом случае является дополнительным производством для существующих ТЭЦ;

— отсутствуют затраты, связанные с добычей и переработкой твердой руды;

— отсутствует негативное воздействие на окружающую среду;

— отсутствуют затраты, связанные с растворением рудных минералов в водной среде, поскольку этот вопрос уже решен природой;

— геотермальные системы производят большие объемы воды, обычно десятки миллионов литров в день, так что масса минеральных ресурсов велика, несмотря на относительно низкие концентрации полезных компонент;

— для геотермальных растворов можно использовать ранее разработанные в гидрометаллургической промышленности методы извлечения полезных компонент.

Таким образом, в любом случае перед тем, как использовать геотермальное тепло, желательно изучить возможность извлечения полезных веществ из подземных вод. Извлечение веществ всегда приведет к очистке воды, что благоприятно скажется на эксплуатации труб и другого оборудования, а также даст попутную прибыль.

Тепловая энергия, получаемая на геотермальных станциях, в зависимости от свойств теплового источника и экономической обстановки в регионе может использоваться следующим образом:

— коммунальное хозяйство (отопление зданий и сооружений, горячее водоснабжение);

— теплоснабжения теплиц и работа геотермальных холодильных установок;

— промышленность (рыбохозяйство, деревообрабатывающая отрасль, производство бумаги, металлургия, производство строительных материалов, нефтяная и текстильная промышленность и т.д.);

— производство электроэнергии.

Кроме того, геотермальные воды могут использоваться как лечебные, бальнеологические и как источник извлечения целого ряда макро- и микроэлементов [7, 11, 51]. Возможности использования геотермального тепла обобщены О.В. Поваровым [15] (рис. 3).

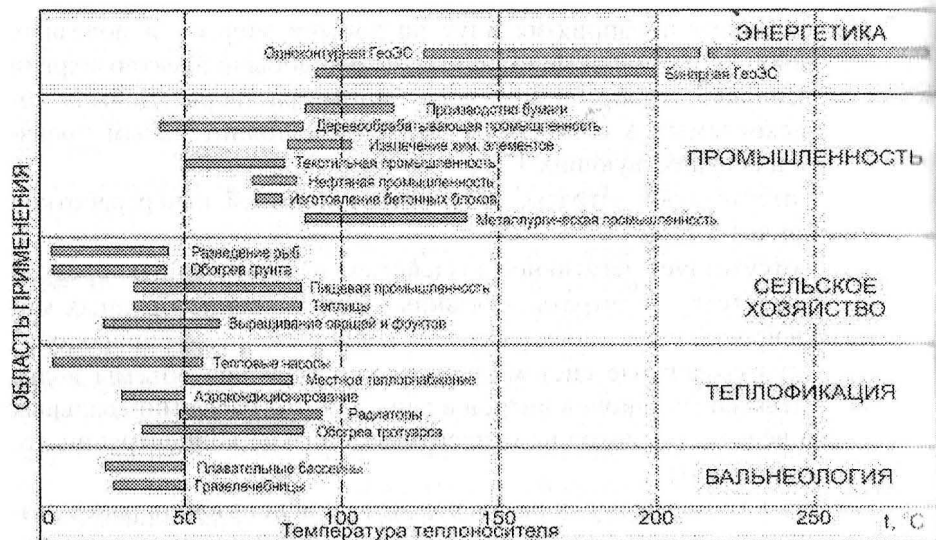


Рис. 3. Использование геотермального тепла (по О.В. Поварову)

### Проблемы использования геотермальных ресурсов в России и пути их решения.

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [31] целями использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива являются:

- снижение темпов роста антропогенной нагрузки на окружающую среду и противодействие климатическим изменениям при необходимости удовлетворения растущего потребления энергии;

- рациональное использование и снижение темпов роста потребления имеющихся ресурсов ископаемого топлива в условиях неизбежного истощения его запасов;

- сохранение здоровья населения и качества жизни путем замедления темпов роста загрязнения окружающей среды при использовании ископаемого топлива, а также снижение общегосударственных расходов на здравоохранение;

- замедление темпов роста затрат на распределение и транспортировку электрической энергии и топлива и возникающих при этом потерь;

- вовлечение в топливно-энергетический баланс дополнительных топливно-энергетических ресурсов;

— повышение уровня энергетической безопасности и надежности энергоснабжения за счет увеличения уровня его децентрализации.

Согласно Распоряжению Правительства РФ [14], государственная политика России направлена на поощрение развития возобновляемых источников энергии и увеличения количества энергии в энергетическом балансе страны в следующих пропорциях: 1,5% в 2010 году, 2,5% в 2015 году, 4,5% в 2020 году.

В настоящее время в России используются в основном высокотемпературные геотермальные воды вулканических регионов. Петро-термальные ресурсы, составляющие около 99% энергии от общих ресурсов подземного тепла [4] пока остаются неиспользованными.

Тепловые насосы используют почву или грунтовые воды в качестве источника тепла зимой и для стока тепла летом. Работая на низкоэнтальпийных ресурсах с температурами 4–38°C, тепловые насосы зимой передают тепло почвы дому, а летом – тепло дома почве [42]. В то время как низкоэнтальпийные ресурсы используются только с применением тепловых насосов, для среднеэнтальпийных ресурсов в целом ряде стран реализована методика на основе циркуляционной схемы. При этом глубинные теплоэнергетические воды после отбора тепла закачиваются в тот же пласт (резервуар), из которого они добываются. Практика (геотермальная станция в г. Коломьер, Франция) показывает, что в течение 40 лет эксплуатации такой схемы температура воды на устье добывающей скважины остается неизменной [49].

В некоторых регионах России (в т.ч. Адыгея, Чеченская Республика) среднеэнтальпийные геотермальные воды также используются с 1970-ых годов для отопления помещений и сельскохозяйственных нужд. Но отработанные воды, как правило, сливаются на рельеф, что, во-первых, снижает со временем дебиты эксплуатируемых скважин, а во-вторых, пагубно сказывается на экологии окружающей среды [7]. Применение современных технологий циркуляционных схем поможет устранить указанные недостатки.

Высокий интерес к развитию геотермальной энергетики проявляют органы государственного управления, предприятия коммунального хозяйства и тепличные комплексы Республики Адыгея, Краснодарского края, Московской и Томской областей, Чеченской Республики. Около 50 субъектов федерации одобрили проект «Развитие петротермальной энергетики в России», а также подписали обращение к президенту РФ о необходимости государственной поддержки и создания структуры для реализации проекта [3].

Если для использования низкоэнтальпийных геотермальных ресурсов необходимо только продвижение существующих технологий (теплоснабные установки – ТНУ) на российский рынок, то развитие геотермальной энергетики на средне- и высокоэнтальпийных ресурсах требует повышенного внимания государства. На настоящий момент окупаемость геотермальной станции составляет 7-10 лет, в зависимости от используемых технологий и геологических особенностей региона. При этом существуют риски, особенно при проведении буровых работ, на которые не готовы идти инвесторы. Бурение геотермальных скважин страхуется Всемирным банком, однако практики использования такого страхования в РФ нет.

И, наконец, все существующие прогнозы предсказывают рост доли геотермальной энергетики в общем производстве энергии и рост ее экономической эффективности как в ближайшие годы, так и на период до 2050 г. Такая тенденция обосновывается ростом цен на традиционные энергоносители и перспективой истощения запасов углеводородов, по разным оценкам – к 2050-2100 гг. В настоящий момент Российская Федерация не готова к такому развитию событий по следующим причинам:

- развитие геотермальной энергетики не стимулируется государством;
- нормативная база использования геотермальных ресурсов не соответствует современным технологиям их использования;
- практический опыт реализации геотермальных проектов с использованием современных технологий в РФ ограничен или отсутствует;
- подготовка кадров по направлению не производится;
- научно-техническое обеспечение геотермальной энергетики отстает от мирового уровня.

Таким образом, развитие геотермальной энергетики в РФ на настоящем этапе требует:

1. Разработки государственной программы стимуляции использования геотермальных ресурсов в рамках «Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

2. Формирования федеральной целевой программы «Возобновляемая энергетика».

3. Разработки нормативно-методической базы оценки и использования геотермальных ресурсов с учетом современных технологий их утилизации.

4. На региональном уровне (с привлечением Федеральных целевых программ [27, 29, 30]) - создания сети геотермальных полигонов для решения методических и технологических проблем циркуляционного теплоотбора.

5. Подготовки кадров для геотермальной энергетики.

#### Литература:

1. Алхасов, А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.

2. Бритвин О.В., Поваров О.А., Клочков Е.Ф. и др. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке // Теплоэнергетика. 2001. № 2. С. 4-10.

3. Гнатусь Н.А. Петротермальная энергетика России. Основные тенденции в использовании невозобновляемых природных энергетических ресурсов // Технологии мира. 2012. № 07 (45). С. 19-23.

4. Гнатусь Н.А., Хуторской М.Д. Тепло «сухих» горных пород – неисчерпаемый возобновляемый источник энергии // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 6. С. 1-9.

5. Дураева Е. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. Международное энергетическое агентство, 2004. 120 с.

6. Заурбеков Ш.Ш., Минцаев М.Ш., Шаипов А.А., Мачигова Ф.И., Черкасов. С.В. Термальные воды Чеченской Республики и перспективы их использования // Сборник: Актуальные проблемы защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях – Белые ночи-2014 / Материалы Международной научно-практической конференции. С. 253-259.

7. Комплексный проект по созданию опытно-промышленной геотермальной станции на основе реализации циркуляционной схемы использования глубинного тепла Земли: отчет о НИОКР: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова; рук. Ш.Ш. Заурбеков, М.Ш. Минцаев; исполн. Шаипов А.А. [и др.], Грозный, 2013. 134 с.

8. Кочиева З.А. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в Республике Северная Осетия-Алания // Возобновляемые источники энергии. Материалы пятой всероссийской научной молодежной школы. Москва, 25-26 октября 2006 года. С. 47-50.

9. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. СПб. СЗТУ, 2003. 79 с.

10. Малышев Ю.Н., Таймасханов Х.Э., Заурбеков Ш.Ш., Минцаев М.Ш. Перспективы развития геотермальной энергетики в Чеченской Республике // Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий». Владикавказ, СКГМИ (ГТУ). 2014. №1.

11. Мачигова Ф.И., Шаипов А.А., Бекмурзаева Л.Р., Черкасов С.В. Геохимические исследования термальных вод Ханкальского месторождения Чеченской Республики // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 2. С. 61-63.

12. Министерство топлива и энергетики. Роль возобновляемых источников энергии в энергетической стратегии России // Яновский А., Безруких П. (ред.) Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России, материалы конгресса, Москва, 31 мая - 4 июня 1999 г.

13. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889.

14. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р

15. Поваров О.А. Тепло Земли. Эффективное энергообеспечение удаленных районов и ЖКХ России // Возобновляемая энергия. Ежеквартальный информационный бюллетень, декабрь 2003. С. 2-3.

16. Поваров О.А., Лукашенко Ю.Л., Томаров Г.В., Циммерман С.Д. Геотермальные промышленность и технологии в России // Тяжелое машиностроение. 2001. № 1. С. 14-19.

17. Поваров О.А., Томаров Г.В., Кошкин Н.Л. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики России // Теплоэнергетика. 1994. № 2. С. 1523.

18. Поваров О.А., Томаров Г.В., Семенов В.Н. Исследования и опыт внедрения технологии защиты от коррозии металла паровых турбоустановок // Теплоэнергетика. 2002. № 12. С. 22-28.

19. Поваров О.А., Томаров Г.В., Шипков А.А., Поваров К.О. Поведение примесей при сепарации влаги и фазовых превращениях в технологическом контуре электростанций // Известия Академии наук. 2004. № 1.

20. Потапов В.В., Журавлев Л.Т. Концентрация различных форм воды в кремнеземе, осажденном из гидротермального раствора // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 29-38.

21. Потапов В.В., Аллахвердов Г.Р., Сердан А.А., Мин Г.М., Кашутина И.А. Получение водных золь кремнезёма мембранным концентрированием гидротермальных растворов // Химическая технология. 2008. Т. 9. № 6. С. 246-252.

22. Потапов В.В., Д.В. Камашев, В.А. Горбач, М.А. Близнюков. Образование упорядоченных надмолекулярных структур кремнезема в гидротермальном растворе // Вулканология и сейсмология. 2006b. № 6. С. 12-21.

23. Потапов В.В., Зеленков В.Н., Горбач В.А., Кашпура В.Н., Мин Г.М. Извлечение коллоидного кремнезема из гидротермальных растворов мембранными методами. М.: РАЕН, 2006a. 228 с.

24. Потапов В.В., Камашев Д.В. Синтез благородного опала в гидротермальном растворе // Физика и химия стекла. 2006. Т. 32. № 1. С. 1-22.

25. Потапов В.В., Сердан А.А., Кашпура В.Н., Горбач В.А. Кинетика поликонденсации ортокремниевой кислоты в гидротермальном растворе // Журнал физической химии. 2007. Т. 81. № 10. С. 1897-1901.

26. Сердан, А.А. Получение аморфного тонкодисперсного кремнезема из природных гидротермальных растворов. Автореф. дисс. канд. хим. наук. М.: ФГУП «ИРЕА», 2008. 19 с.

27. Стратегия социально-экономического развития Северо-Кавказского федерального округа до 2025 года. Распоряжение Правительства РФ от 6 сентября 2010 г. N 1485-р.

28. Унукович А.В., Зуй В.И., П.Б. Цалко. Экономическая эффективность использования геотермальных ресурсов на территории Беларуси // Природопользование. 2012. Вып. 21. С. 215-224.

29. Федеральная целевая программа «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2013 года». Постановление Правительства РФ от 15 апреля 1996 г. N 480.

30. Федеральная целевая программа развития Калининградской области на период до 2015 года. Постановление Правительства РФ от 7 декабря 2001 г. N 866.

31. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

32. Яковлев С.В. (гл. ред.) Инженерное оборудование зданий и сооружений. Энциклопедия. – М.: Стройиздат, 1994. 512 с.
33. Axelsson G., Gunnlaugsson E. Long-term Monitoring of High- and Low-enthalpy Fields under Exploitation // World Geothermal Congress 2000 Short Course, Kokonoe, Kyushu District, Japan, May, 226 p.
34. Bendritter Y., Cormy G. Possible approach to geothermal research and relative costs // Dickson M.H., Fanelli, M. (eds.) Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, 1990, p. 59-69.
35. Bergna H.E., Roberts W.O. (eds.) Colloidal Silica: Fundamentals and Applications. CRC Press, Taylor and Francis Group; 2006.
36. Bödvarsson G. Evaluation of geothermal prospects and the objectives of geothermal exploration // Geoexploration, v. 8, is. 1, 1970, pp. 7-17.
37. Bödvarsson G. Physical characteristics of natural heat sources in Iceland // Proc. UN Conf. on New Sources of Energy, Volume 2: Geothermal Energy, Rome, August 1961. United Nations, New York, pp. 82-89.
38. Bourcier W.L., Lin M., Nix G. Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids // Lawrence Livermore National Laboratory. Report UCRL-CONF-215135, 2005.
39. Cakan R.D., Titirici M.-M., Antonietti M., Cui G., Maier J., Hu Y.-S. Hydrothermal carbon spheres containing silicon nanoparticles: synthesis and lithium storage performance // Chemical Communications, 2008, is. 32, pp. 3759-3761.
40. Ezzedine S.M., Hunt J.D., Bourcier W., Roberts S.K. Impact of Silica Gel Deployment on Subsurface Flow and Heat Extraction from Enhanced Geothermal Systems // Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012, SGP-TR-194
41. Geothermal Energy. Annual Report 2010. International Energy Agency. 2012.
42. Geothermal Resources Council, What Is Geothermal?, <http://www.geothermal.org/what.html>, 2003-2013.
43. Ginley D.S., Cahen D. Fundamentals of Materials for Energy and Environmental Sustainability // Cambridge University Press, 2011, 800 p.
44. Hochstein M.P. Assessment and modeling of geothermal reservoirs (small utilization schemes) // Geothermics, 1988, v. 17, n. 1, p. 15-49.

45. Holm A., Blodgett L., Jennejohn D., Gawell K. Geothermal Energy: International Market Update. Geothermal Energy Association. May 2010, 77 p.

46. Hunt J.D., Ezzedine S.M., Bourcier W., Roberts S. Silica gel behavior under different EGS chemical and thermal conditions: an experimental study // Report LLNL-CONF-523735, 2012.

47. Hutter G.W. The status of world geothermal power generation 1995-2000 // Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000, v. 1, pp. 23-37.

48. Kononov V., Polyak B., Kozlov B. Geothermal Development in Russia: Country Update Report 1995-1999 // Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 28 May - 10 June 2000, p. 261-266.

49. Lopez S., Hamm V., Le Brun M., Schaper L., Boissier F., Cotiche C., Giuglaris E. 40 years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris Basin, France // Geothermics, 2010, v. 39, p. 339-356.

50. Lund J.W., Freeston D.H. World-wide direct uses of geothermal energy 2000 // Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 2000, v. 1, pp. 1-21.

51. M.Sh. Mintshev, Kh.A. Taymaskanov, T.G. Churikova, S.V.Cherkasov, M.A.Shaipov, F.I.Machigova. Khankala thermal water deposit of the Chechen Republic and resources for the implementation of geothermal circulatory systems//World of Mining – Surface & Underground, Germany, 67 (2015) No. 2

52. Muffler P., Cataldi R., 1978, Methods for regional assessment of geothermal resources // Geothermics. 1978, v. 7, pp. 53-89.

53. Nicholson K. Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques. Springer Verlag, Berlin, 1993, 278 p.

54. Potapov V.V., Cerdan Jr., A.A., Gorbach, V.A., Litmanovich, E.A., Terpugov, G.V., Mynin, V.N. Colloidal silica recovery from a hydrothermalhydrothermal heat-transfer medium by membrane filters // Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2007b, v. 41, p. 599-605.

55. Potapov V.V., Podverbnyi V.M., Gorbach V.A., Taskin V.V. Composition of corrosion products and solid deposits in the flow path of the Verkhnemutnovsk geothermal power station // Thermal Engineering, 2007a, v. 54, p. 607-613.

56. Potapov V.V., Serdan A.A., Kashpura V.N., Gorbach V.A., Tyurina N.A., Zubakha S.V. Polycondensation of orthosilicic acid in hydro-

thermal solutions at different temperatures, pH values, and ionic strengths // *Glass Physics and Chemistry*, 2007c, v. 33, p. 44-49.

57. Povarov, O., CSC Geoterm Vice President, cited in Battocletti, L. *Geothermal Resources in Russia*, Bob Lawrence and Associates, Inc., November 2000.

58. Rae A.J., Cooke D.R., Brown K.L. The Trace Metal Chemistry of Deep Geothermal Water, Palinpinon Geothermal Field, Negros Island, Philippines: Implications for Precious Metal Deposition in Epithermal Gold Deposits // *Economic Geology and The Bulletin of The Society of Economic Geologists*, 2011, v.106, p. 1425-1446.

59. Saemundsson K., Axelsson G., Steingrímsson B. Geothermal systems in global perspective // *Proceedings of a Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources*, UNU-GTP and LaGeo, in Ahuachapan and Santa Tecla, El Salvador, 17-30 October, 2009, 16 p.

60. Sanyal S.K. Classification of geothermal systems – a possible scheme // *Proceedings, Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, January 31-February 2, 2005, SGP-TR-176, p. 85-88.

61. Simmons S.F., Brown K. L. The flux of gold and related metals through a volcanic arc, Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *Geology*, 2007, v. 35, p. 1099-1102.

62. Simmons S.F., Brown K.L. Gold in Magmatic Hydrothermal Solutions and the Rapid Formation of a Giant Ore Deposit // *Science*, 2006, v. 314, № 5797, p. 288-291.

63. Svalova V.B. Geothermal Resources of Russia and Their Complex Utilisation. Australian Geothermal Energy Conference, 2011, p. 251-258.

64. Tester J.W. (ed.) *The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology. 2006, 372 p.

65. Williams C.F., Reed M.J. Anderson A.F. Updating the Classification of Geothermal Resources. *Proceedings, Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, January 31 - February 2, 2011, SGP-TR-191.

66. Yanagisawaa N., Matsunagaa I., Sugitaa H., Satob M., Okabeb T. Temperature-dependent scale precipitation in the Hijiori Hot Dry Rock system, Japan // *Geothermics*, 2008, v. 37, p. 1–18.