

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАМЧАТКИ

В работе указаны факторы, сдерживающие развитие энергетического направления в использовании геотермальных ресурсов Камчатки. Отмечено, что в настоящее время имеются хорошие перспективы для развития технологий извлечения ценных компонентов из геотермальных флюидов. Предложен способ обогащения и извлечения ценных компонентов на основе использования теплового потенциала геотермальных флюидов.

*Ключевые слова:* геотермальные ресурсы, энергетика, извлечение компонентов, фазовый переход.

### Введение

История развития цивилизаций характеризуется возникновением глобальной проблемы – обеспечения все возрастающих потребностей при ограниченности располагаемых ресурсов. Указанная проблема связывает прогресс развития общества с поиском нетрадиционных ресурсов жизнеобеспечения, в том числе и энергообеспечения. В этой связи несомненный интерес представляют геотермальные флюиды, активно используемые в последнее время как теплоэнергетический источник.

Учитывая наличие ресурсной базы и специфику географического положения, Камчатка была и остается передовым регионом России по инновационным технологиям освоения геотермальных ресурсов. Достаточно вспомнить, что первая в России геотермальная электростанция (ГеоЭС) (Паужетская, 1966) и первая в мире двухконтурная станция (Паратунская, 1967) были построены именно на Камчатке. В настоящее время ведется активная эксплуатация Мутновского месторождения с использованием новых технологий, таких как наклонное бурение, двухфазная транспортировка теплоносителя, воздушное охлаждение конденсаторов, реинжекция отработанного теплоносителя. Геотермальные ресурсы на Камчатке также используются для теплоснабжения и рекреации. Последние из указанных направлений активно развиваются и в других регионах России, возможности их развития на Камчатке если не исчерпаны, то ограничены. Объемы добычи на ближайших месторождениях достигают максимального уровня, а новые объекты удалены от потенциального потребителя. Поэтому главным направлением освоения геотермальных ресурсов Камчатки считается энергетика.

Геотермальная энергетика Камчатки давно стала значимым направлением, вырабатывающим примерно треть электроэнергии в регионе. Себестоимость электроэнергии на ГеоЭС в 2010 г. составила 1,78 руб. за киловатт-час, что в 3,7 раза ниже по отношению к обычным ТЭС, до сих пор являющимся основой энергетики региона. При этом эксплуатация ГеоЭС наносит значительно меньший экологический ущерб. Суммарная установленная мощность ГеоЭС Камчатки составляет 74 МВт. Ресурсный потенциал региона, оцениваемый на основе сравнения с хорошо изученными объектами (Мутновское и Паужетское месторождения), составляет по известным объектам, находящимся на доступном удалении от потенциальных потребителей, минимум 700 МВт, что более чем в два раза превосходит существующую потребность.

### 1. Проблемы развития геотермальной энергетике на Камчатке

Относительно низкая себестоимость и значительный резерв ресурсов указывают на то, что перспективы энергетики Камчатки связаны с геотермальными ресурсами. Однако в 2010 году начат перевод камчатских ТЭЦ, ранее использовавших в качестве топлива привозной мазут и располагающих значительным резервом мощности, на местный природный газ, разведанных запасов которого хватит на обеспечение существующего уровня энергопотребления на 30 лет. Фактически это решает проблему энергообеспечения основных потребителей на ближайшее время. На первый взгляд решение о газификации ТЭЦ является стратегической ошибкой. В настоящее время преобладает мнение о невозможности окупить затраты на уже построенный газопровод и пробуренные скважины. Тем не менее, необходимо иметь в виду наличие объективных проблем в развитии геотермальной энергетики Камчатки.

Во-первых, геотермальная энергетика не так дешева, как представляется на первый взгляд. Разрабатываемые месторождения с уже разведанными запасами и фондом до сих пор эксплуатирующихся скважин достались с советских времен и соответствующие затраты, в действительности превышающие стоимость строительства станций, не отражаются в себестоимости. То есть существующие данные по себестоимости не отражают фактических затрат на освоение месторождений. Обновление фонда эксплуатационных скважин, тем более детальная разведка новых месторождений, приведут к существенному увеличению себестоимости электроэнергии.

Во-вторых, эффективность использования геотермальных ресурсов в энергетике зависит от характера потребляемых мощностей. Энергосистема Камчатки является изолированной и характеризуется ярко выраженными сезонными и суточными изменениями потребляемых мощностей: зимняя нагрузка примерно в 1,5 раза превышает летнюю; дневная нагрузка примерно в 1,5 раза превышает ночную. Разработка геотермальных месторождений допускает принципиальную возможность небольших вариаций объема добычи, что является крайне нежелательным. Всякие изменения режима эксплуатации скважин приводят к температурным напряжениям обсадных колонн, что сокращает срок их службы. Поэтому геотермальный промысел работает в режиме постоянного объема добычи (фактически возможна лишь дискретная сезонная регулировка путем вывода и подключения отдельных сква-

жин), обеспечивающего максимальный уровень мощности. Излишки добытого теплоносителя сбрасываются без использования. Иными словами, при работе в режиме переменной мощности эффективность использования геотермальных ресурсов снижается. Соответственно, необходимость компенсации пиковых нагрузок обычными станциями увеличивает и без того высокую себестоимость их энергии.

В-третьих, геотермальный теплоноситель обладает низким потенциалом для преобразования в электрическую энергию. Известно, коэффициент полезного действия тепловых машин зависит от разности температур на входе и выходе. Для повышения коэффициента полезного действия на обычных тепловых станциях осуществляется перегрев пара. На Камчатских ГеоЭС используется насыщенный пар с температурой не выше 170° С. Заметим, что добываемый теплоноситель представляет собой пароводяную смесь. После сепарации пар идет на станцию, а вода, также обладающая значительным энергетическим потенциалом, идет на реинжекцию, или сбрасывается на рельеф. Данное обстоятельство, а также низкая температура пара и сброс его излишек определяют низкий коэффициент использования энергии теплоносителя. Например, на Паужетской ГеоЭС доля вырабатываемой электроэнергии составляет лишь 4 % энергии добытого теплоносителя.

В-четвертых, в процессе эксплуатации возможна кольматация продуктивных зон. Современные экологические тенденции требуют реинжекции отработанного теплоносителя. Данное мероприятие, безусловно, имеет положительный эффект на поверхности, но может негативно отразиться на недрах. Отложения минеральных компонентов из закачиваемой жидкости способны привести к закупориванию фильтрационных каналов. Для большинства месторождений данная проблема, вероятно, не так остра. Но для периферийных участков месторождений трещинно-жильного типа, к которому относятся все геотермальные месторождения Камчатки, может быть актуальной. Есть основания полагать, что именно с кольматацией связано снижение эксплуатационных параметров, вплоть до вывода из эксплуатации некоторых скважин Верхне-Мутновского участка.

Таким образом, существуют объективные проблемы развития геотермальной энергетики Камчатки, экономическая оценка которых требует дополнительного исследования. Но уже сейчас ясно – перевод Камчатских ТЭЦ на газ ставит барьер для развития геотермального направления, что, учитывая роль камчатской геотермальной энергетики, может негативно отразиться на развитии данного направления в России в целом. Мировое значение энергетической проблемы и возможные пути ее решения предполагают только рост масштабов использования глубинного тепла Земли (Vertani, 2010). Безусловно, технологии геотермальной энергетики будут совершенствоваться, себестоимость энергии на ГеоЭС относительно станций на традиционных видах топлива будет снижаться, и Россия может оказаться на обочине этого процесса. При этом, учитывая ограниченность запасов газа, дальние перспективы Камчатки, вероятно, также будут связаны с геотермальной энергетикой.

## 2. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Камчатки

С учетом указанных проблем развитие геотермальной энергетики на Камчатке возможно путем реализации ло-

кальных проектов, ориентированных на потребителей, изолированных от существующей энергосистемы, а также проектов с некоммерческой финансовой поддержкой. В связи с наличием барьеров для развития энергетического направления, усиливается интерес к геотермальным флюидам как источнику минерального сырья. Известно, что геотермальные флюиды содержат минеральные компоненты (Трухин, 2003), превосходящие по стоимости производимую энергию. Большие объемы добываемого теплоносителя определяют значимые объемы выведенных на поверхность компонентов. Например, эксплуатационные запасы Мутновского месторождения позволяют вывести на поверхность  $24 \times 10^9$  кг теплоносителя в год. Химический анализ теплоносителя на данном месторождении выявил наличие 60 элементов. По приближенным оценкам на данном месторождении за год на поверхность выводится Li – 22 т, Rb – 3 т, Cs – 2 т, Ni – 9 т, Cu – 4 т, Zn – 37 т, W – 1,4 т, В – 296 т, S – 1663 т, Al – 33 т, Ag – 130 кг, Au – 3 кг.

Работы по извлечению компонентного состава геотермальных флюидов ведутся давно (Трухин, 2003), но без особых успехов, главным образом, по причине малых концентраций. Вместе с тем происхождение многих рудных месторождений Камчатки связано с геотермальной деятельностью (Шарапов, 2010), т.е. существуют механизмы накопления ценных компонентов до промышленно значимых концентраций. Анализ геохимических барьеров, способствующих формированию рудных тел, указывает на важную роль фазовых переходов.

Низкий коэффициент использования энергетического потенциала геотермального теплоносителя в энергетике наводит на мысль о целесообразности непосредственного использования тепла для обогащения флюидов в процессе выпаривания. Заметим, что подобные процессы реализуются как в естественных условиях, так и в стволе простаивающей скважины (Шулюпин, 2004). Технологическая реализация данных процессов заключается в следующем: вода, после сепарации геотермального теплоносителя, представляющего собой пароводяную смесь, поступает в бак-испаритель, давление, а следовательно и температура в котором ниже соответствующих значений в сепараторе; часть воды при снижении давления переходит в пар и отводится из испарителя; затем, за счет подогрева первичным сепаратом или паром, осуществляется дальнейшее выпаривание воды из бака-испарителя; уровень воды в баке-испарителе поддерживается подпиткой сепаратом. Таким образом можно увеличивать концентрации компонентов в баке испарителе вплоть до насыщенных значений. Развивая данную технологию и используя несколько баков-испарителей с последовательным увеличением концентрации, можно добиться осаждения компонентов в определенных местах с наиболее благоприятными термодинамическими и гидродинамическими условиями.

Варианты реализации данной технологии могут быть различны. В качестве подогревающего теплоносителя можно использовать как сепарат, так и пар, или его излишки в случае работы станции с переменной мощностью. Расчет теплового баланса показывает, что при энтальпии теплоносителя около 1500 кДж/кг возможна полная перегонка содержащейся в нем воды. Также возможно различное сочетание факторов, оказывающих влияние на растворение и выпадение компонентов: интенсивность выпаривания, определяемая отношением расхода удаляемого пара к ко-

УДК: 549.53; 537.635

Р.И. Салимов<sup>1</sup>, Н.М. Низамутдинов<sup>1</sup>, Р.А. Хасанов<sup>2</sup>, В.П. Морозов<sup>1</sup>, Н.М. Хасанова<sup>1</sup><sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Nazim.Nizamutdinov@ksu.ru  
<sup>2</sup>ЦНИИГеолнеруд, Казань, Ravil.Hasanov@ksu.ru

## ЭПР КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТУРНЕЙСКОГО ЯРУСА

Охарактеризована порода по ЭПР  $Mn^{2+}$ ,  $VO^{2+}$ , ион-радикалов  $SO_3^-$ ,  $SO_2^-$ , органического вещества карбонатных отложений Демкинского месторождения. Выделены фитогенные и зоогенные породы среди биогенных карбонатов по ЭПР марганца и радикалов.

*Ключевые слова:* биокластовые известняки, органическое вещество, нефть, ион-радикалы, ЭПР.

Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), открытый Е.К.Завойским в Казанском университете в 1944 году и примененный В.М.Винокуровым в минералогических исследованиях, широко используется не только для проведе-

ния литолого-геохимических реконструкций обстановок древнего осадконакопления в породах, но и восстановления термической истории осадочного бассейна (Huizinga at al., 1987; Silbernagel at al., 1991; Nansheng at al., 2007).

Окончание статьи А.Н. Шулюпина, И.И. Чернева «Проблемы и перспективы освоения геотермальных ресурсов Камчатки»

личеству жидкости в баке-испарителе, давление в баке-испарителе, наличие контакта с воздухом, гидродинамические особенности баков-испарителей, механизм фазового перехода (поверхностное кипение, объемное кипение, фазовый переход при непосредственном впрыскивании пара).

Важной особенностью данной технологии является возможность освоения удаленных объектов. При этом отходом производства будет практически чистая, после перегонки, вода, что в корне решает проблему кольматации флюидопроводящих каналов месторождения при реинжекции. Предприятие, реализующее данную технологию при действующих ГеоЭС, можно использовать в качестве потребителя-регулятора, принимающего нагрузку или непосредственно теплоноситель при падении нагрузки основного потребления. Например, на Паужетской ГеоЭС целесообразно использовать энергию пара, сбрасываемого в атмосферу при регулировке нагрузки, что в комбинации с известными сорбционными технологиями (Belova, 2010) уже сейчас позволяют ставить вопрос об организации добычи лития и бора.

### Заключение

Указанные в настоящей работе проблемы развития геотермальной энергетики на Камчатке не позволяют однозначно судить о преимуществе данного направления в конкуренции с использованием традиционных энергоносителей. Кроме того, перевод камчатских ТЭЦ на местный газ ставит дополнительные барьеры для развития геотермальной энергетики. Однако, остающаяся высокой себестоимость электроэнергии на ТЭЦ и еще большая себестоимость на дизельных электростанциях в удаленных районах оставляет шансы для успешной конкуренции указанного направления. Развитию геотермальной энергетики Камчатки может способствовать некоммерческая финансовая поддержка, например в рамках государственных программ по поддержке инновационной деятельности.

Учитывая не лучшие условия для развития энергетического направления в использовании геотермальных ресурсов в настоящее время, особый интерес приобретает ценность компонентного состава геотермальных теплоносителей. При этом в технологиях извлечения ценных компонентов целесообразно прямое использование теплового потенциала самих теплоносителей, который при имеющемся месте неравномерном графике потребления нагруз-

ки и низких термодинамических параметрах теплоносителя, характерных для геотермальных месторождений, используется неэффективно.

### Литература

- Трухин Ю.П. Геохимия современных геотермальных процессов и перспективные геотехнологии. Москва: Наука. 2003. 376.
- Шарапов В.Н. Влияние структурно-динамических условий разгрузки гидротермальных вулканических систем на рудообразование в их недрах. *И ДАН*. 2010. №3. 396-402.
- Шулюпин А.Н. Пароводяные течения на геотермальных промыслах. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ. 2004. 149.
- Belova T.P. The Analysis of Sorption Extraction of Boron and Lithium from the Geothermal Heat-Carriers. *Proceedings of the World Geothermal Congress*. Bali, Indonesia. 2010.
- Bertani R. Geothermal power generation in the World 2005-2010. *Proceedings of the World Geothermal Congress*. Bali, Indonesia. 2010.

### A.N. Shulyupin, I.I. Chemev. The problems and prospects of Kamchatka geothermal resource development.

We discuss present factors, which restrict the use of Kamchatka geothermal resources. We find good prospects for technological development aimed at extraction of valuable components from geothermal fluids. In particular, we propose a method for the enrichment and extraction of valuable components based on the use of thermal potential of geothermal fluids.

*Key words:* geothermal resources, power engineering, components extraction, phase transition.

### Александр Николаевич Шулюпин

Д.тех.н., зам. директора Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН по научной работе. Научные интересы: разработка геотермальных месторождений, гидравлика газожидкостных сред, горная теплофизика.

683002, Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56. Тел.: (909) 833-26-84.

### Иван Иванович Чернев

Зам. главного инженера ОАО «ГЕОТЕРМ» по ресурсной части. Научные интересы: гидрогеология, разработка геотермальных месторождений.

683980, Петропавловск-Камчатский, ул. Ак. Королева, 60. Тел.: (4152) 41-97-57.