Геоэкология / Geoecology
Оригинальная статья / Original article
УДК 550.361, 621.482
DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-149-158

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

[1]Алибек Б. Алхасов, [2]Джамиля А. Алхасова*,
[1]Расул М. Алиев, [1]Арсен Ш. Рамазанов
[1]лаборатория энергетики, Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, Россия
[2]лаборатория комплексного освоения возобновляемых источников энергии, Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, Россия, alkhasova.dzhamilya@mail.ru

Резюме. Цель. Разработка энергоэффективных технологий освоения гидрогеотермальных ресурсов разного энергетического потенциала. **Методы.** Оценка эффективности предложенных технологий осуществлена с привлечением физико-математических, термодинамических и оптимизационных методов расчета и физико-химических экспериментальных исследований. **Результаты.** Предложена технология комплексного освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов с использованием теплового и водоресурсного потенциалов на различные цели. Обоснована возможность эффективного освоения геотермальных ресурсов путем строительства бинарных ГеоЭС с использованием простаивающих нефтяных и газовых скважин. Показана перспективность геотермально-парогазовых технологий, позволяющих с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала (80 – 100 ^{o}С) для выработки электроэнергии. Показана перспективность комплексной переработки высокотемпературных геотермальных рассолов Тарумовского геотермального месторождения. Утилизация тепловой энергии осуществляется в бинарной ГеоЭС на сверхкритическом цикле Ренкина с низкокипящим рабочим агентом. Отработанный рассол с низкой температурой из ГеоЭС поступает на химзавод, где извлекаются основные химические компоненты – карбонат лития, магнезия жженная, карбонат кальция и поваренная соль. Далее отработанная вода используется на различные водохозяйственные цели. Электроэнергия, вырабатываемая в бинарной ГеоЭС, используется для извлечения химических компонентов. **Выводы.** Реализация предложенных технологий будет способствовать наиболее эффективному освоению гидрогеотермальных ресурсов Северокавказского региона. Комплексное освоение ресурсов Тарумовского месторождения позволит полностью обеспечить потребности России в карбонате лития и поваренной соли.
Ключевые слова: геотермальная энергия, бинарная геотермальная электростанция, термальная вода, температура, геотермальная скважина, минерализация, извлечение, карбонат лития.

Формат цитирования: Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алиев Р.М., Рамазанов А.Ш. Комплексное освоение геотермальных ресурсов // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N1. С.149-158. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-149-158

INTEGRATED EXPLORATION OF GEOTHERMAL RESOURCES

[1]Alibek B. Alkhasov, [2]Dzhamilya A. Alkhasova*,
[1]Rasul M. Aliyev, [1]Arsen Sh. Ramazanov
[1]Laboratory of Energy, Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, Makhachkala, Russia
[2]Laboratory of integrated development of renewable energy sources, Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, Makhachkala, Russia, alkhasova.dzhamilya@mail.ru

Abstract. The aim. The aim is to develop the energy efficient technologies to explore hydro geothermal resources of different energy potential. **Methods.** Evaluation of the effectiveness of the proposed technologies has been carried out with the use of physical and mathematical, thermodynamic and optimization methods of calculation and the physical and chemical experimental research. **Results.** We propose the technology of integrated exploration of low-grade geothermal resources with the application of heat and water resource potential on various purposes. We also argue for the possibility of effective exploration of geothermal resources by building a binary geothermal power plant using idle oil and gas wells. We prove the prospect of geothermal steam and gas technologies enabling highly efficient use of thermal water of low energy potential (80 - 100 ° C degrees) to generate electricity; the prospects of complex processing of high-temperature geothermal brine of Tarumovsky field. Thermal energy is utilized in a binary geothermal power plant in the supercritical Rankine cycle operating with a low-boiling agent. The low temperature spent brine from the geothermal power plant with is supplied to the chemical plant, where the main chemical components are extracted - lithium carbonate, magnesium burning, calcium carbonate and sodium chloride. Next, the waste water is used for various water management objectives. Electricity generated in the binary geothermal power plant is used for the extraction of chemical components. **Conclusions.** Implementation of the proposed technologies will facilitate the most efficient development of hydro geothermal resources of the North Caucasus region. Integrated exploration of the Tarumovsky field resources will fully meet Russian demand for lithium carbonate and sodium chloride.

Keywords: geothermal energy, binary geothermal power plant, thermal water, temperature, geothermal well, mineralization, extraction, lithium carbonate.

For citation: Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Aliyev R.M., Ramazanov A.Sh. Integrated exploration of geothermal resources. *South of Russia: ecology, development.* 2016, vol. 11, no. 1, pp. 149-158. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-149-158

ВВЕДЕНИЕ

В использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во многих странах достигнуты значительные успехи [1-5]. Геотермальные технологии являются важной составляющей в освоении возобновляющих энергетических ресурсов. Потенциал изученных геотермальных ресурсов мира составляет 200 ГВт электрической и 4400 ГВт тепловой мощности. Около 5,4 % этого потенциала используется для выработки электроэнергии и 1,2 % – для получения тепла. Последние годы характеризуются увеличением объемов и расширением областей использования геотермальных ресурсов. В энергетическом балансе ряда стран геотермальные технологии становятся доминирующими, а доля геотермальной энергетики в мировом энергетическом балансе неуклонно растет.

Экономический потенциал геотермальных ресурсов России составляет 115 млн. т у.т./год, использование которых может составить до 10 % в общем балансе энергоснабжения. Общая установленная электрическая мощность ГеоЭС России составляет 82 МВт, а тепловая мощность энергоустановок прямого использования геотермального тепла – 310 МВт. Одной из причин такого низкого уровня развития геотермальной энергетики является отсутствие широкого спектра передовых технологий, которые могут быть эффективно использованы при освоении геотермальных ресурсов разного энергетического потенциала. Разработка конкретного геотермального месторождения или участка должна сопровождаться подбором наиболее эффективной технологической схемы с учетом многих факторов: горно-геологических и гидрогеолого-геотермических характеристик месторождения, физико-химических показателей геотермального теплоносителя, а также экономических, экологических, социальных, строительных, ландшафтно-географических, климатических и других [6].

Перспективным регионом для масштабного освоения геотермальной энергии является Северокавказский, где простирается Восточно-Предкавказский артезианский бассейн (ВПАБ) площадью более 200 тыс. км^2, представляющий собой огромную чащу, заполненную мезозойско-кайнозойской осадочной толщей. На большей части бассейна в его вертикальном разрезе выделяются три термоводоносных яруса, изолированные друг от друга мощными водонепроницаемыми глинистыми породами.

В верхнем ярусе температура воды в зависимости от глубины залегания колеблется от 25 до 60 ^oC, минерализация варьирует в пределах 0,5 – 1,5 г/л. Скважины фонтанируют с избыточным давлением 0,1 – 0,35 МПа. Прогнозные эксплуатационные ресурсы со средней температурой 40 ^oC составляют более 1,5 млн. м^3/сут. В среднем ярусе коллекторы содержат мощную водонапорную систему термальных вод с минерализацией 5 – 35 г/л, температурой 70 – 130 ^oC и дебитами скважин 500 – 5000 м^3/сут при избыточных давлениях 0,3 – 1,5

МПа. Потенциальные эксплуатационные ресурсы яруса составляют 1 млн. $м^3$/сут. Нижний ярус сложен породами мелового, юрского и триасового периодов. К нему приурочены высокоминерализованные термы хлоридно-натриевого и кальциевого состава с минерализацией 60 – 210 г/л и температурами 130 – 220 ^oC и выше. Газовый фактор в этих водах доходит до 10 $м^3/м^3$ и более. Термальные воды являются промышленным гидроминеральным сырьем с высоким содержанием лития, рубидия, цезия, йода, брома, бора, калия, магния и стронция. Потенциальные ресурсы геотермальных вод и рассолов нижнего яруса составляют 2,6 млн. $м^3$/сут [7].

В регионе хорошо изучены геотермальные месторождения, залегающие на глубинах от 300 до 3500 м. Температура в глубоких резервуарах достигает 180 ^oC и выше. На Северном Кавказе около 500 тыс. человек используют геотермальные ресурсы для теплоснабжения в коммунально-бытовом секторе, сельском хозяйстве и промышленности, доля геотермальной энергии в общем балансе энергопотребления региона составляет менее 1 %. Эксплуатация большинства геотермальных месторождений ведется на низком уровне. Зачастую после потребителя термальные воды сбрасываются с температурой 50 – 60 ^oC. Полезно используется примерно одна пятая теплового потенциала термальной воды. Объемы добываемых вод значительно уступают утвержденным запасам. Выведенные ресурсы по Северному Кавказу используются по водоресурсному потенциалу на 15 % и теплоэнергетическому потенциалу на 19 %. При масштабном освоении геотермальных ресурсов геотермальное электро- теплоснабжение на Северном Кавказе может составить до 50 % от общего потребления энергии.

Низкопотенциальные воды (НПВ) перспективны для отопления, хозяйственно-питьевого и горячего водоснабжения, а также использования на различные технологические нужды. В этих условиях стоит задача по эффективной утилизации тепла таких вод с использованием теплонасосных технологий теплоснабжения. Высокая экономическая эффективность низкопотенциальных геотермальных ресурсов достигается при комплексном их освоении с использованием теплового потенциала на энергетические нужды, а самой воды на различные водохозяйственные цели.

Прямое использование геотермальных ресурсов на теплоснабжение в большинстве случаев связано с сезонной эксплуатацией скважин, добывающих термальную воду, что приводит к снижению теплоотбора на месторождениях и ухудшению экономических показателей геотермального производства. При освоении геотермальной энергии необходимо стремится к максимально эффективной разработке термоводозаборов, чего можно достичь при постоянной эксплуатации скважин на дебитах соответствующих эксплуатационным запасам и срабатывании температуры отработанной воды до максимально возможного низкого значения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В регионе имеется значительное количество скважин, пробуренных на артезианские воды с температурой 50 – 60 ^oC. Только на Махачкалинском месторождении таких скважин насчитывается более трех десятков. Минерализация воды большинства скважин не превышает 1 – 3 г/л. В настоящее время многие из них по разным причинам выведены из эксплуатации.

На рис. 1 приведена блок-схема комплексного освоения ресурсного потенциала простаивающих скважин. В отопительный период тепловой потенциал воды используется в системе низкотемпературного напольного отопления и для нагрева воды в системе горячего водоснабжения. Охлажденная в теплообменниках вода поступает на блок химводоочистки, и далее на потребление. В межотопительный период часть термальной воды из скважины, которая использовалась в системе напольного отопления, поступает в скважины-теплообменники для восстановления теплового поля вокруг них, а охлажденная в скважинах вода поступает на химводоочистку. В отопительный период, тепло регенерированное в горной породе используется в системе напольного отопления с тепловым насосом. Предлагаемая технология позволяет перевести скважины на режим круглогодичной эксплуатации, полностью использовать их водоресурсный потенциал на водохозяйственные цели и максимальным образом утилизировать тепловой потенциал.

Наиболее перспективным использованием геотермальной энергии является преобразование ее в электрическую энергию, где достигается круглогодичная эксплуатация геотермальных скважин. Гидрогеотермальные ресурсы региона температурой выше 100 °С пригодны для производства электроэнергии. Характерными особенностями таких ресурсов является высокая минерализация, повышенное газосодержание, склонность к солеотложению при изменении термобарических условий и высокая коррозионная агрессивность к конструкционным материалам. Электроэнергия, с использованием таких ресурсов, вырабатывается в бинарных ГеоЭС.

Гидрогеотермальные ресурсы ВПАБ оцениваются до 10000 МВт тепловой и 1000 МВт электрической мощности. Для их масштабного освоения необходимо строить высокодебитные скважины большого диаметра с привлечением огромных капвложений, что не реально на современном этапе экономического развития региона.

В ближайшей перспективе наиболее оптимальным является освоение части этих ресурсов с использованием существующих простаивающих скважин на выработанных газонефтяных месторождениях. Только в Северном Дагестане имеется более 1000 простаивающих скважин, пробуренных на глубины от 2000 до 5000 м. Большинство из этих скважин могут быть успешно использованы для добычи термальной воды в системах по выработке электроэнергии в бинарных ГеоЭС.

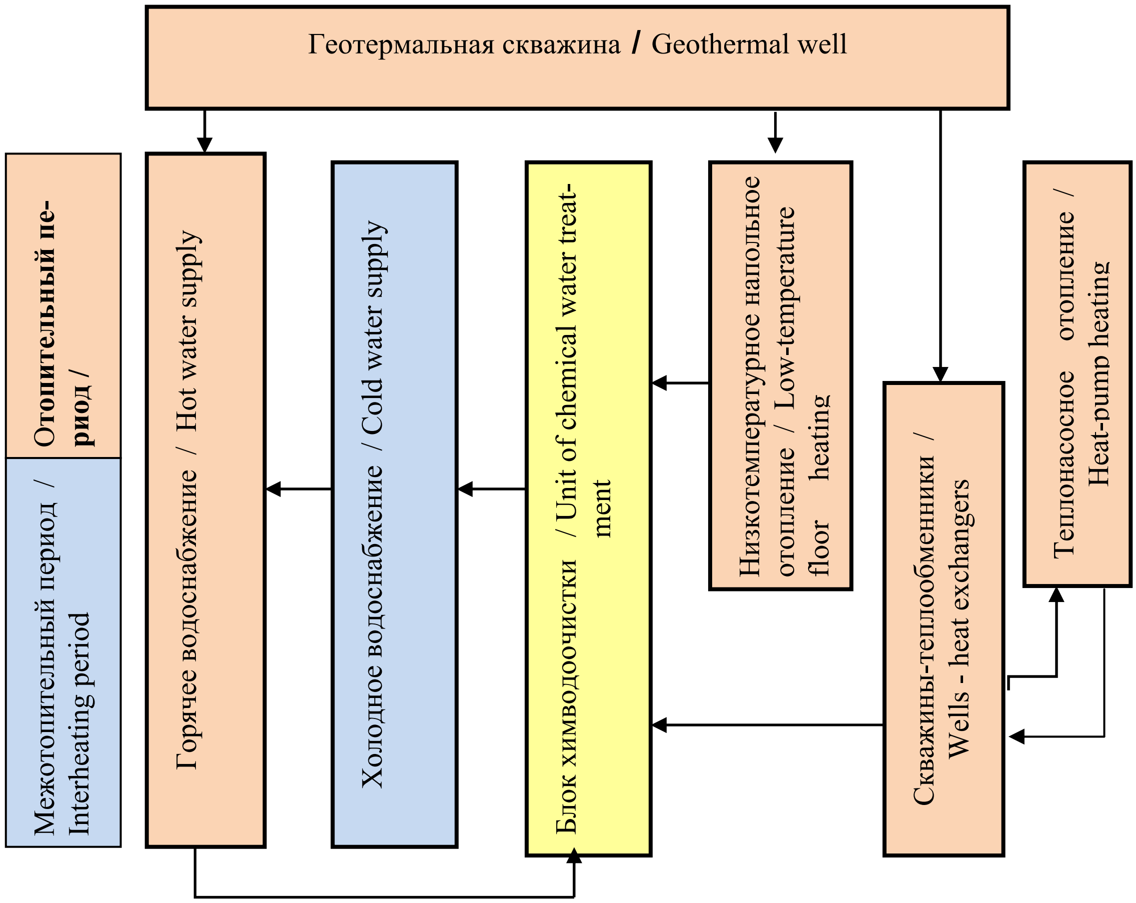

Рис. 1. **Блок-схема комплексного использования низкопотенциальной термальной воды**
Fig.1. **Flow-chart of the integrated use of low-grade thermal water**

Затраты на строительство геотермальных скважин составляют значительную часть на геотермальную энергетическую систему, капвложения в геотермальную циркуляционную систему (ГЦС) из двух скважин могут достигать до 90 % в общих затратах. Реконструкция простаивающих скважин для добычи термальной воды позволит значительно сократить капвложения на строительство геотермальных энергоустановок. В бинарной ГеоЭС первичный теплоноситель, циркулирующий в контуре ГЦС с простаивающими скважинами, используется для нагрева и испарения низкокипящего рабочего агента, циркулирующего во вторичном контуре паросиловой установки (ПСУ). В ПСУ реализуется цикл Ренкина.

Главной целью при создании бинарной ГеоЭС является получение максимальной полезной мощности при оптимальных экономических показателях, которая достигается оптимизацией конструктивных и режимных параметров первичного (ГЦС) и вторичного (ПСУ) контуров [6].

В ВПАБ имеется ряд перспективных площадей с простаивающими скважинами, которых можно перевести на добычу термальной воды. Для этих площадей проведены оценочные расчеты по строительству бинарных ГеоЭС. Использование всего фонда простаивающих скважин позволит получить общую полезную мощность ГеоЭС более 300 МВт [8].

В пределах ВПАБ имеются значительные ресурсы среднепотенциальных термальных вод (80…100 ^{o}C), которые используются крайне неэффективно. На геотермальных месторождениях скважины, добывающие такие воды, эксплуатируются только в холодное время года для отопления различных объектов.

Эффективное освоение среднепотенциальных вод осуществимо в комбинированных геотермально-парогазовых энергоустановках (ГПЭ), имеющих преимущества и возобновляемых источников и ископаемых топлив [9, 10]. В ГПЭ выхлопные газы газотурбинной электростанции (ГТЭС) используются для испарения и перегрева рабочего агента, циркулирующего в контуре ГеоЭС. Нагрев рабочего агента в ГеоЭС до температуры испарения осуществляется за счет термальной воды.

Перспективным месторождением для строительства комбинированной ГПЭ является Тернаирское месторождение, где имеются готовые к эксплуатации геотермальные скважины, которые в настоящее время простаивают по различным причинам. Оценочные расчеты показывают, что использование среднепотенциальных ресурсов месторождения позволит построить комбинированную ГПЭ мощностью до 60 МВт, что решит значительные энергетические, экономические и социально-экологические проблемы г. Махачкалы.

Наиболее перспективными для освоения являются высокотемпературные минерализованные геотермальные рассолы, залегающие в мезозойских отложениях глубокого залегания. Рассмотрена возможность комплексного освоения высокопараметрических ресурсов Тарумовского геотермального месторождения. Месторождение, расположенное вблизи одноименного поселка в Северном Дагестане, является уникальным объектом разведки высокопараметрических парогидротерм осадочных бассейнов. После получения аварийного фонтана из скважины № 1 и последующей ее ликвидации было решено разведать Тарумовскую площадь с целью изучения возможности строительства ГеоЭС и химического комбината для утилизации перегретых рассолов редких металлов. В начале 80-тых годов прошлого столетия объединение «Дагнефть» пробурило пять скважин (№№ 2,3,4,5,6), из которых №№ 3 и 5 были ликвидированы по техническим причинам. Скважины 2, 4 и 6 являются самыми глубокими (5500 м) в мире специально пробуренными на термальные воды. Разведаны меловые и юрские отложения и опробованы водоносные горизонты на глубинах 5385-5479, 5382-5388, 5421-5427 м. Из этих интервалов во всех трех скважинах были получены фонтаны однотипной паротермальной воды с высоким содержанием ценных элементов – лития, рубидия, цезия, йода, брома, бора, калия, магния и стронция.

Наиболее водообильным является VI пласт средней юры, проницаемая часть которого представлена песчаным коллектором. Химический, микрокомпонентный и газовый состав термальных вод продуктивной толщи однотипен и аналогичен составу вод скважины № 1. Общая минерализация достигает до 200 г/л. В солевом составе преобладают ионы хлора и натрия. Количество растворенного газа достигает до 4.5 $м^3/м^3$. Главной составной частью растворенных газов являются углеводороды, сумма которых достигает до 87 объемных процентов. Температура на глубине 5500 м достигает 198 ^oC, что соответствует температурному градиенту 0.034^o С/м. Месторождение характеризуется аномально высоким пластовым давлением (АВПД), полученное расчетным путем пластовое давление равно 71 МПа. Дебиты скважин через штуцер диаметром 42 мм составляют 1000 – 1600 $м^3$/сут. Результаты исследования скважины № 6 показали, что при работе через эксплуатационную колонну (ЭК) и насосно-компрессорные трубы (НКТ) дебит на самоизливе с динамическим давлением на устье $Р_{дин}$ = 7 МПа достигает 7000 $м^3$/сут. При этом устьевая температура воды за время эксплуатации скважины в течение 2-х часов достигала до 170^o С, что свидетельствует о возможности эффективного использования продукции скважины для получения электроэнергии.

Расчетными исследованиями установлено, что при снижении динамического уровня у устья скважины № 6 до 1МПа дебит высокотемпературного рассола, изливающейся из эксплуатационной колонны увеличивается до 12000 $м^3$/сут, температура рассола также увеличивается и стабилизируется на уровне 195 ^oC.

Технология полного извлечения всех химкомпонентов из геотермальных рассолов в данной работе не рассматривается, она подробно приведена в работе [11]. Освоение ресурсов предполагается по схеме, где тепловой потенциал высокотемпературной воды используется для получения электроэнергии в бинарной ГеоЭС. Отработанный рассол с низкой температурой из ГеоЭС поступает на химзавод, где извлекаются основные химические компоненты (карбонат лития, магнезия жженная, карбонат кальция и поваренная соль), далее вода используется на различные водохозяйственные цели. Преимуществом данной системы является полное использование теплового потенциала и извлечение основных химкомпонентов высокопараметрических геотермальных ресурсов, отсутствие необходимости в обратной закачке, исключающих значительные капитальные затраты на строительство нагнетательных скважин и насосной станции и эксплуатационных затрат на их обслуживание.

Технологическая схема переработки геотермальных рассолов Тарумовского месторождения с получением карбоната лития, магнезии жженной, карбоната кальция и поваренной соли приведена на рис. 2. Производство ценных неорганических материалов обеспечивается электроэнергией, вырабатываемой на ГеоЭС, чем достигается полная автономия производства и независимость от внешних условий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценочные показатели комплексной переработки высокотемпературных рассолов скважины № 6 приведены в табл. 1, из которых следует о высокой эффективности предлагаемой технологии. Стоимость получаемой продукции составляет до 4.25 млрд. руб/год. Потребность в карбонате лития, оксиде магния, карбонате кальция и пищевой соли в России достаточно высокая. Завоз по импорту пищевой соли в Россию в 2012 году составил 548500 т, в том числе в Ростовскую область – 49900 т, Краснодарский край – 48300 т [12]. Потребности Республики Дагестан в соли составляют до 40000 т в год. На оксид магния в стране имеется большой спрос в стекольной промышленности, строительной индустрии для производства магнезиальных вяжущих материалов, сельском хозяйстве для производства комбикормов. Осажденный $CaCO_3$, который имеет высокую чистоту и тонкодисперсный состав, используется в резиновой промышленности, в производстве пластиков, принтерных чернил, зубной пасты, а также в органическом синтезе, металлургии, производстве стекла и стройиндустрии.

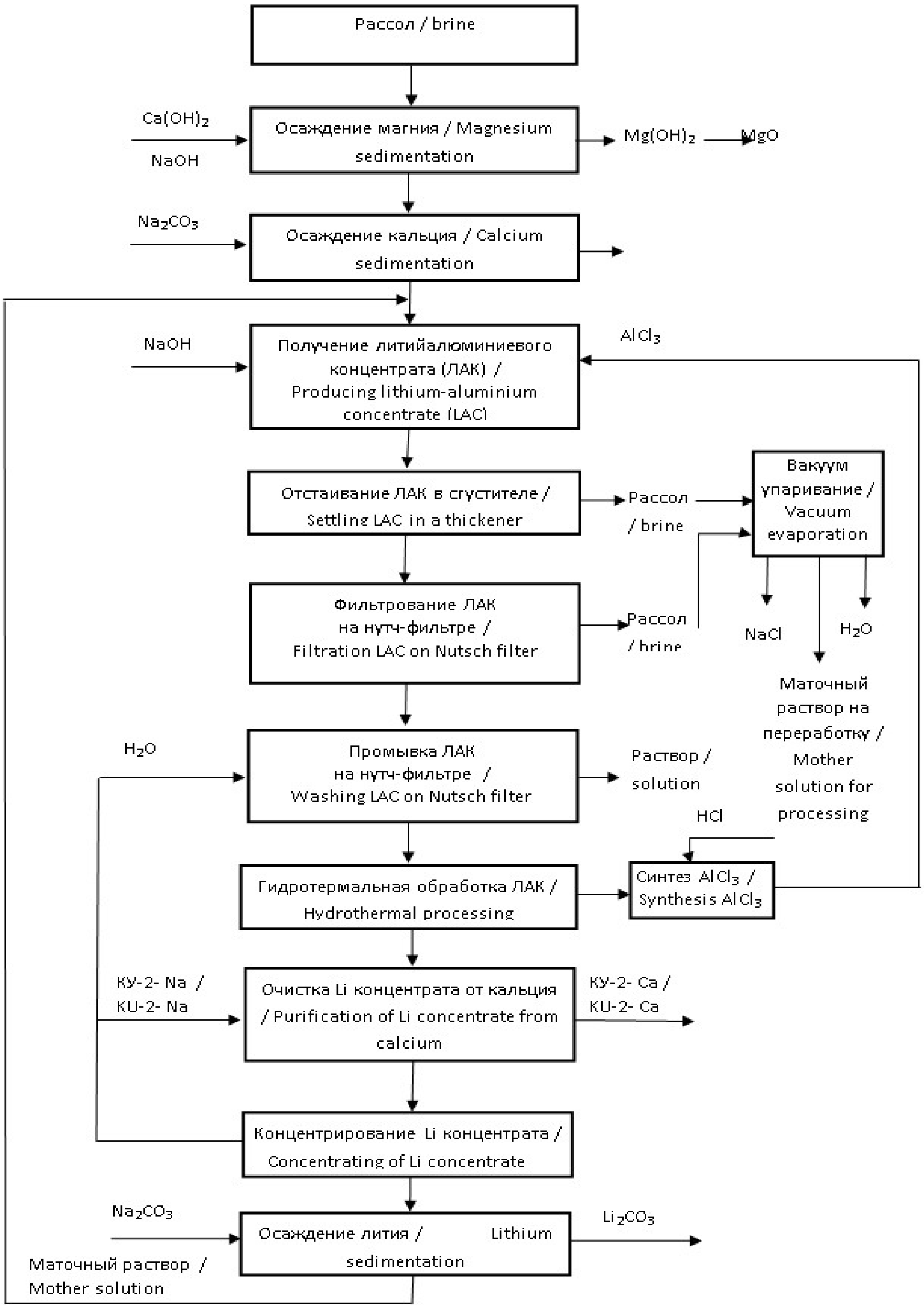

Рис. 2. **Технологическая схема переработки геотермальных рассолов Тарумовского месторождения**

Fig. 2. **Technological scheme of processing geothermal brines of the Tarumovsky field**

Потребности только Каспийского завода по производству листового стекла мощностью 600 тонн в сутки, применяющего самые современные технологии стекольной индустрии, в карбонате кальция и оксиде магния составляют 30 и 10 тыс. т в год соответственно. Производство карбоната лития, оксида магния, карбоната кальция и пищевой соли из отработанных в ГеоЭС геотермальных рассолов будет способствовать импортозамещению этих продуктов.

Таблица 1

Параметры и показатели переработки высокотемпературных рассолов скважины № 6 Тарумовского месторождения

Table 1

Parameters and indicators of high-temperature processing of brines of the well-hole number 6 in the Tarumovsky field

Наименование параметра, продукции Name of parameter and products	**Количество** Amount	**Стоимость продукции, руб./год** Cost of product rub./year
Дебит скважины, м^3/сут / Well flow rate m3 /day	12000	-
Температура рассола на устье скважины, ^oC / Wellhead temperature of brine, ^oC	195	-
Мощность ГеоЭС на сверхкритическом цикле, МВт / GeoPP capacity on supercritical cycle, mW	15.4	-
Годовая выработка электроэнергии, кВт·ч / Annual electric power production, kW h	$135 \cdot 10^6$	$337 \cdot 10^6$
Карбонат лития (Li_2CO_3), т/год / Lithium carbonate (Li2CO3), t/year	4380	$578 \cdot 10^6$
Магнезия жженная (MgO), т/год / Magnesia (MgO), t/year	5690	$239 \cdot 10^6$
Соль пищевая (NaCl), т/год / Food salt (NaCl), t/year	583000	$2157 \cdot 10^6$
Карбонат кальция ($CaCO_3$), т/год / Calcium carbonate ($CaCO_3$), t/year	103806	$934 \cdot 10^6$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что энергетические технологии на основе геотермальных ресурсов должны стать важным составляющим стратегического развития Северокавказского региона. Наиболее эффективным направлением освоения высокотемпературных геотермальных рассолов является их комплексная переработка с преобразованием тепловой энергии в электроэнергию в бинарной ГеоЭС и последующим извлечением из отработанного рассола различных химических компонентов. Тарумовское геотермальное месторождение, являющееся одним из богатейших как в теплоэнергетическом отношении, так и по содержанию редкометального сырья, все эти годы находится в консервации. Хотя такое положение обусловлено множеством объективных и субъективных факторов, целесообразность его расконсервации и освоения не вызывает сомнения. Воды месторождения являются комплексным полезным ископаемым на хлорид натрия, бром, йод, бор, литий, рубидий, цезий, стронций, калий, не говоря уже о растворенных газах и теплоэнергетическом потенциале. Создание комплексных энергетических технологий освоения высокопотенциальных минерализованных геотермальных ресурсов Северокавказского региона обусловлено тем, что в них в промышленно значимых концентрациях содержатся ионы редкоземельных элементов, прежде всего, ионы лития основными потребителями солей которого являются атомная, стекольная, электрохимическая, фармацевтическая и другие отрасли промышленности. В настоящее время для обеспечения потребностей промышленности карбонат лития закупается за рубежом. Разведанные запасы Тарумовского месторождения термальных вод позволят ежегодно получать более 4000 т карбоната лития и тем самым полностью обеспечить не только потребности России, но и экспортировать его в объеме до 2500 т, что существенно улучшить экономическую структуру региона.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификационный номер проекта RFMEFI60414X0120.

Acknowledgement: This study has been supported by the Russian Ministry of Education. Unique project identification number - RFMEFI60414X0120.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. 168 с.
2. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика / 2-е изд. перераб. и доп. под ред. Фортова В.Е. М.: Физматлит, 2012. 256 с.
3. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н. Тенденции и перспективы развития геотермальной энергетики // Теплоэнергетика. 2012. N11. С. 26-35.
4. Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy // Proc. World Geothermal Congress-2010. Bali, Indonesia. 2010.
5. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005 – 2010 Update Report // Proc. World Geothermal Congress-2010. Bali, Indonesia. 2010.
6. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.
7. Курбанов М.К. Геотермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.: Наука, 2001. 260 с.
8. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья // Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8, N3. С. 17-27. DOI:10.18470/1992-1098-2013-3-17-26
9. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов // Известия РАН. Энергетика. 2014. N5. С. 144-157.
10. Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Использование среднепотенциальных геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии // Материалы II Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», Махачкала, 2010. С. 233-238.
11. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы комплексного освоения высокопараметрических геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. 2015. N6. С. 11-17.
12. Маркетинговый отчет «Рынок поваренной соли в России 2008-2012 гг. и прогноз до 2020 года» компании TEBIZ GROUP URL: http://tebiz.ru/news-mi/news-marketsalt-1.php (дата обращения: 20.11.2015)
13. Алхасов А.Б. Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии // Известия РАН. Энергетика. 2010. N1. С. 59-72.
14. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов осадочных бассейнов // Теплоэнергетика. 2011. N2. С. 59-66.
15. Алхасов А.Б., Каймаразов А.Г. Современное состояние и перспективы освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7, N4. С. 7-18. DOI:10.18470/1992-1098-2012-4-7-18

REFERENCES

1. Fortov V.E., Popel O.S. *Energiya v sovremennom mire* [Energy in the world today]. Dolgoprudny, Intellect Publ., 2011. 168 p. (In Russian)
2. Alkhasov A.B. *Vosobnovlyaemaya energetika* [Renewable energy]: 2nd ed. Ed. V.E. Fortov. Moscow, *Fizmatlit* Publ., 2012. 256 p. (In Russian)
3. Tomarov G.V., Nikolsky A.I., Semyonov V.N. Trends and prospects of geothermal energy development. *Teploenergetika* [Thermal Engineering]. 2012, no. 11, pp. 26-35. (In Russian)
4. Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy. Proc. World Geothermal Congress-2010. Bali, Indonesia, 2010.
5. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005 – 2010 Update Report. Proc. World Geothermal Congress-2010. Bali, Indonesia, 2010.
6. Alkhasov A.B. *Geotermal'naya energiya: problemy, resursy i technologiya* [Geothermal energy: problems, resources, and technology]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 376 p. (In Russian)
7. Kurbanov M.K. *Geotermal'nye i gidromineral'nye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya* [Geothermal and hydromineral resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia]. Moscow, Nauka Publ., 2001. 260 p. (In Russian).
8. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. Prospects for the development of geothermal resources of the Eastern Ciscaucasia. *Yug Rossii: ekologiya, rasvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2013, vol. 8, no. 3, pp. 17-27. (In Russian) DOI:10.18470/1992-1098-2013-3-17-26
9. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. Advanced technology of geothermal resources development. Izvestiya RAN. Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering]. 2014, no. 5, pp. 144-157. (In Russian)
10. Alkhasova D.A., Alkhasov B.A. Ispol'zovanie srednepotentsial'nykh geotermal'nykh resursov dlya vyrabotki

elektroenergii [Using of middle-enthalpy geothermal resources for power generation]. *Materialy II Mezhdunarodnoi konferentsii «Vozobnovlyaemaya energetika: problemy i perspektivy», Makhachkala, 2010* [Proceedings of the II International Conference "Renewable Energy: Problems and Prospects", Makhachkala, 2010]. Makhachkala, 2010. pp. 233-238. (In Russian)

11. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Ramazanov A.S., Kasparova M.A. Prospects for the development of high-parametrical geothermal brines. Teploenergetika [Thermal Engineering], 2015, no. 6, pp. 11-17. (In Russian)

12. Marketing Report "Salt Market in Russia 2008- 2012 and Forecast up to 2020 ". TEBIZ GROUP Company. (In Russian) Available at: http://tebiz.ru/news-mi/news-marketsalt-1.php). (accessed 20.11.2015)

13. Alkhasov A.B. The use of geothermal energy for electricity generation. Izvestiya RAN. Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering]. 2010, no. 1, pp.59-72. (In Russian)

14. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. Electric power development of geothermal resources of sedimentary basins. Teploenergetika [Thermal Engineering]. 2011, no. 2, pp. 59-66. (In Russian)

15. Alkhasov A.B., Kaymarazov A.G. Current state and prospects of low-temperature geothermal resources development in the East Ciscaucasia. *Yug Rossii: ekologiya, easvitiye* [South of Russia: Ecology, development]. 2012, vol. 7, no.4, pp. 7-18. (In Russian) DOI:10.18470/1992-1098-2012-4-7-18

СВЕДЕНИЯ ОБАВТОРАХ

Принадлежность к организации

Алибек Б. Алхасов - директор Института проблем геотермии ДНЦ РАН, доктор технических наук, профессор, Махачкала, Россия.

Джамиля А. Алхасова* - старший научный сотрудник Института проблем геотермии ДНЦ РАН, кандидат технических наук.
367030, Махачкала, пр. И. Шамиля, 39А, Институт проблем геотермии ДНЦ РАН РАН, e-mail: alkhasova.dzhamilya@mail.ru

Расул М. Алиев - главный научный сотрудник Института проблем геотермии ДНЦ РАН, доктор технических наук, профессор, Махачкала, Россия.

Арсен Ш. Рамазанов - главный научный сотрудник Института проблем геотермии ДНЦ РАН, доктор химических наук, профессор, Махачкала, Россия.

Критерии авторства

Алибек Б. Алхасов – постановка задачи. Джамиля А. Алхасова – проведение расчетов по определению термодинамической эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую в бинарной ГеоЭС. Расул М. Алиев – сбор и представление информации по геотермальным месторождениям. Арсен Ш. Рамазанов – проведение экспериментальных исследований по извлечению химических компонентов из геотермальных рассолов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 18.12.2015

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Alibek B. Alkhasov - director of the Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor. Makhachkala, Russia.

Dzhamilya A. Alkhasova* - senior researcher of the Institute for Geothermal Research, DSC RAS, Candidate of Technical Sciences.
39A, I.Shamil pr., Makhachkala, 367030, Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, e-mail: alkhasova.dzhamilya@mail.ru

Rasul M. Aliyev - chief researcher of the Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor. Makhachkala, Russia.

Arsen Sh. Ramazanov - chief researcher of the Institute for Geothermal Research, Dagestan scientific center RAS, Doctor of Chemistry, Professor. Makhachkala, Russia.

Contribution

Alibek B. Alkhasov - statement of the problem. Dzhamilya A. Alkhasova – performing calculations of the thermodynamic efficiency of converting thermal energy into electrical energy in a binary geothermal power plant. Rasul M. Aliyev - collection and reporting of information on the geothermal field. Arsen Sh. Ramazanov - experimental studies on the extraction of chemical components from geothermal brines.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.12.2015