

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД В ПРЕДКАВКАЗСКОЙ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ (ХАНКАЛЬСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)

© А.М. Фархутдинов,

аспирант,
Башкирский государственный университет,
ул. Заки Валиди, 32,
450074, г. Уфа, Российская Федерация,
эл. почта: anvarfarh@mail.ru

© И.М. Фархутдинов,

кандидат геолого-минералогических наук,
ассистент кафедры геологии и
геоморфологии,
Башкирский государственный университет,
ул. Заки Валиди, 32,
450074, г. Уфа, Российская Федерация,
младший научный сотрудник лаборатории,
Институт геологии,
Уфимского научного центра РАН
ул. Карла Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация,

© Р.А. Исмагилов,

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник лаборатории,
Институт геологии,
Уфимского научного центра РАН,
ул. Карла Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация,
эл. почта: rustem_ismagilov@bk.ru

© С.В. Черкасов,

кандидат геолого-минералогических наук,
зам. директора по научной работе,
Государственный геологический
музей имени В.И. Вернадского РАН,
ул. Моховая, 11,
125009, г. Москва, Российская Федерация,
эл. почта: sergy@sgm.ru

Статья посвящена вопросам использования теплоэнергетических вод. Представлен обзор разработок данного вида возобновляемой энергии в Российской Федерации. Показывается региональная распространенность месторождений геотермальных вод в России, особо выделяется перспективность Дальнего Востока и Северного Кавказа. Содержит исторический обзор по использованию схожих по температуре и глубине залегания с Предкавказьем геотермальных вод Парижского бассейна, где они уже более 40 лет успешно разрабатываются, с указанием методов борьбы с коррозией труб и загрязнением окружающей среды. Содержит сравнительный обзор геотермальных месторождений Терско-Сунженской области и Парижского бассейна по таким характеристикам, как температура, глубина залегания и др.; сравнительные преимущества и недостатки месторождений в Чеченской Республике. На примере изучения Предуралья, где исследователями детально рассматривалась температурная аномалия «горячей» горы Янгантау, приводятся возможные теории генерации тепла, необходимого для образования теплоэнергетических вод. На отдельно взятом Ханкальском месторождении обосновывается перспективность его разработки и описываются дальнейшие планы по строительству пилотной геотермальной станции и использования вод XIII продуктивного пласта в качестве источника тепловой энергии для тепличного комплекса. Обсуждаются технология обратной закачки, которая была применена, и проблемы, с ней связанные, к примеру, плохая приемистость скважин. При успешном завершении проекта в Чеченской Республике, где уже имеются 14 разведанных месторождений теплоэнергетических вод, оценивается возможное будущее развитие геотермальной энергетики в России.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, теплоэнергетические воды, Ханкальское месторождение, Парижский артезианский бассейн

© A.M. Farkhutdinov¹, R.A. Ismagilov²,
I.M. Farkhutdinov^{1,2}, S.V. Cherkasov³

PROSPECTS FOR THE USE OF GEOTHERMAL WATERS IN THE CIS-CAUCASIAN SUBMONTANE ZONE (KHANKALA FIELD)

¹Bashkir State University
32, ulitsa Z. Vallydy,
450074, Ufa, Russian Federation,
e-mail: anvarfarh@mail.ru

² Institute of Geology
Ufa Scientific Centre

The article deals with the problems of geothermal water use. It gives a synopsis of the development of this type of renewable energy in the Russian Federation and shows the regional distribution of geothermal water fields in Russia emphasizing the prospects of the Far East and North Caucasus. It also includes a historical review for the use of geothermal waters in the Paris Artesian Basin similar in their temperature and depth of occurrence to those in the Cis-Caucasus and indicates methods for preventing corrosion of pipes and environmental pollution. A comparison is given between geothermal water fields in the Terek-Sunzha region and the Paris Basin

Russian Academy of Sciences,
16/2, ulitsa K. Marksa,
450054, Ufa, Russian Federation,
e-mail: rustem_ismagilov@bk.ru

³Vernadsky State Geological Museum
of the Russian Academy of Sciences
11, ulitsa Mokhovaya,
125009, Moscow, Russian Federation,
e-mail: sergy@sgm.ru

with consideration for temperature, depth of occurrence and some other characteristics. Comparative advantages and disadvantages of the fields in the Chechen Republic are examined. Taken the temperature anomaly of «hot»Yangantau Mount as an example, the article discusses possible theories of heat generation necessary for the formation of geothermal waters. The potential exploitation of the Khankala water field is estimated, and further plans are described concerning the construction of a pilot geothermal power station and water use from the 13th productive formation as a source of thermal energy for the greenhouse complex. Consideration is given to the reinjection technology already applied and related problems, such as poor intake capacity. Possible future development of geothermal energy in Russia is assessed upon successful completion of the project in the Chechen Republic.

Key words: alternative power sources, geothermal waters, Khankala water field, Paris Artesian Basin

Основной источник пополнения бюджета России – энергоресурсы, от которых во многом зависят дальнейшее развитие и процветание страны и ее регионов. В то же время положение по основным ресурсам, особенно трудно извлекаемым, является сложным: их эксплуатация и разведка оказывают негативное влияние на окружающую среду.

Одной из альтернатив для традиционных источников энергии являются возобновляемые виды ресурсов, немаловажное положение среди которых занимают теплоэнергетические или геотермальные воды. В российской классификации по температурным показателям и фазовому состоянию выделяют две группы: теплоэнергетические воды (температура до 100°C) и парогидротермы (>100°C). Первая группа подразделяется на воды низкопотенциальные с температурой 35–70°C и среднепотенциальные с температурой 70–100°C. Среди парогидротерм выделяются пароводяные смеси: слабоперегретые с температурой 100–150°C, перегретые с температурой 150–250°C и высокоперегретые с температурой более 250°C, и пар [1].

При сопоставлении с традиционными источниками энергии очевидны следующие преимущества геотермальных ресурсов: неисчерпаемость, близость к потребителю, локальность обеспечения потребителя тепло- и электроэнергией, принадлежность к местным ресурсам, полная автоматизация,

безопасность и практическая безлюдность добычи геотермальной энергии, экономическая конкурентоспособность, возможность строительства маломощных установок, и что немаловажно, экологическая чистота [2]. К примеру, угольная электростанция выделяет в 24 раза больше двуоксида углерода, 10,8 тыс раз больше диоксида серы, и 3,9 тыс раз больше оксиды азота за мегаватт-час, чем геотермальная [3].

Однако специфика геотермальных ресурсов включает и ряд недостатков: рассредоточенность источников, ограниченность опыта промышленного использования, низкий температурный потенциал теплоносителя, нетранспортабельность, трудности складирования [2].

В РФ разведано 66 месторождений теплоэнергетических вод, запасы термальных вод и пара оцениваются в 88,5×103 м³/сут и 302,4×103 м³/сут соответственно; но только 50% из этих запасов используется для производства 1,5 млн гигакалорий тепла, что эквивалентно сжиганию около 300 тыс. т условного топлива [4]. Строительство электростанций и сетей отопления, использующих данный источник энергии, является выгодным ввиду экономических и экологических преимуществ.

Наиболее перспективными территориями по геотермии в России являются Северный Кавказ и Дальний Восток. На территории

Кавказа широкое распространение получили теплоэнергетические воды с температурами 50–150 °С, залегающие на глубинах 1000–3000 м, которые частично могут быть вовлечены в выработку электроэнергии (по экспертной оценке минимальная температура, при достаточных дебитах экономически выгодная для этой цели, – 100 °С), а также отопление, бальнеологию и т.д. В настоящее время геотермальные воды широко используются лишь в трех регионах страны: на Камчатке и Курильских островах, в Краснодарском крае и Дагестане. Потенциал изученных ресурсов геотермальных вод в мире равен 0,2 ТВт электрической и 4,4 ТВт тепловой мощности, причем около 70% потенциала относится к месторождениям с температурой воды менее 130°С. Используется лишь 3,5% геотермального потенциала для выработки электроэнергии и 0,2% для получения тепла. Последние годы характеризуются резким увеличением объемов и расширением областей использования геотермальных ресурсов [4].

Как правило, месторождения геотермальных вод высокой температуры территориально относятся к активным геодинамическим зонам. Это объясняется шарьяжно-надвиговой теорией, подчеркивающей значение горизонтального движения тектонических пластин [5]. Исследователями отмечается, что движение горных пород по плоскостям надвигания и вдоль многочисленных трещин, смятие слоев в складки приводят к трансформации механической энергии в тепловую, таким образом, деформирование сопровождается локальными повышениями температур. Уровень концентрации тектонических напряжений может быть весьма значительным, что приводит к образованию локальных участков стрессовых напряжений и значительному повышению температур [6].

Исследования последних лет подтверждают, что шарьяжно-надвиговые структуры, где высокое давление вызывает движение тектонических пластин, выступают в роли генера-

торов тепловой энергии. К примеру, А.С. Бобоховым и Р.Б. Бобоховой определялись палеотемпературы пород на Южном Урале. Ими зафиксировано повышение температуры (породы претерпели воздействие до 700°С) в зонах меланжа, подвергавшихся интенсивным стрессовым напряжениям, а также во фронтальных частях крупных надвигов, которые являются зонами значительного смятия пород [7]. На территории Предуралья наиболее известный пример термальных аномалий – это уникальный геологический памятник природы, «горячая» гора Янгантау Республики Башкортостан. Существовали различные гипотезы генезиса тепловых аномалий горы от подземного пожара битуминозных сланцев, возникшего в результате удара молнии [8] до радиоактивного тепла, поднимающегося с больших глубин [9, с. 103]. Группой исследователей в 1998 г. опубликованы данные, подтверждающие тектоническое происхождение термальных аномалий Янгантау. Приведена геодинамическая модель генерации тепла в плоскостях тектонических нарушений с обоснованием ее физико-математическими расчетами [10].

В мировом масштабе среди стран, достигших хорошие результаты в использовании низко-, среднепотенциальных термальных вод, одно из первых мест занимает Франция, где основным объектом эксплуатации данного вида вод – резервуар возраста Доггер в Парижском бассейне.

Парижский бассейн является внутриплатформенным осадочным бассейном почти овальной формы, занимающим обширную часть на севере Франции – 110 тыс км². Это самый большой береговой осадочный бассейн в стране, расположенный на отложениях карбона и перми. Образование бассейна связывают с рифтогенезом в перми-триасе. Формации геотермального резервуара протягиваются на более чем 15 тыс км², располагаясь ниже большей части парижского метрополитена и западных пригородов, на глубине от 1500 до 2000 м. Наиболее продуктивные слои относят-

ся к Батскому ярусу (средняя юра), представлены оолитовыми известняками мощностью от 5 до 45 м. В среднем общая толщина продуктивного слоя порядка 20 м, с 10–15 высокопроницаемыми (2–20 дарси) слоями. Температуры формации резервуара колеблются от 55 до 80°C. Геотермический градиент территории меняется от 2,75 до 4,1°C/100 м. Минимальными температурами характеризуются участки на глубине 1 650 м северо-восточнее Парижа, где средний температурный градиент равен 2,75°C/100 м. Эта территория относится к аномальной зоне, существование которой объясняется перемещением холодных вод из перекрывающих горизонтов вниз к резервуару. Максимальный градиент в 4,1°C/100 м относится к району Валь-де-Марн, юго-восточнее Парижа. Средняя температура геотермальных вод, получаемых на устье скважин – 70°C, средний дебит продуктивной (нагнетательной) скважины – 175 м³/ч. Минерализация вод колеблется от 6,4 мг/л до 35 мг/л и увеличивается с юго-востока, где резервуар выходит на поверхность, к самой глубокой области, где достигает 35 мг/л. Минерализация специфична для определенных слоев и не обязательно зависит от глубины. Воды содержат большое количество сульфидов, что приводит к коррозии скважинного оборудования. Содержание H₂S – 5–100 мг/л, SO₄ = 300–1200 мг/л [11].

Разработке геотермального резервуара Парижского бассейна благоприятствовали 3 технических и экономических фактора:

- продуктивный резервуар горячих вод на рациональной глубине, чьи характеристики (температура и дебиты) подходили для обеспечения сетей отопления;

- рынок сбыта тепла с высоко населенными территориями, подходящими для использования низко- и среднетемпературных вод;

- государственные меры и страхования, стимулирующие разработку нового ресурса энергии.

Первая геотермальная скважина для разработки ресурсов резервуара Парижского бассейна отложений Доггер была пробурена в 1962 г. в Карьер-сюр-Сьен. Планировалось сливать отработанную воду в р. Сену, но минерализация вод оказалась гораздо выше, чем ожидалось, и скважину пришлось закрыть [11].

После первого неудачного опыта развития технологии «дублетов» (см. рис. 1) сделало возможным геотермальную эксплуатацию в Парижском бассейне. Технология дублетов заключается в нагнетании всей использованной термальной воды обратно, что уменьшает воздействие на окружающую среду и пьезометрический уровень разрабатываемого резервуара.

Через семь лет в 1969 г. успешно пробурена скважина в Мелене (Melun l'Almont). Нефтяные кризисы 1973 и 1979 гг. дали толчок последующим эксплуатационным работам. Главной целью был резервуар в отложениях возраста Доггер, и почти все операционные установки использовали систему дублетов, состоящую из закрытого контура добывающей и нагнетательной скважины. Основной «геотермальный пик» в разработках пришелся на 1980-е годы. Из 55 систем дублетов, большинство которых установлено в 1980-е годы, 34 являются действующими.

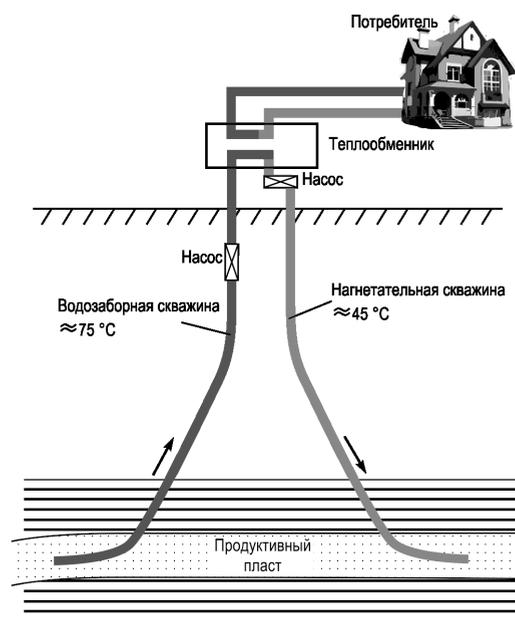


Рис. 1. Принципиальная схема дублета.
По Т. Мегелю [12]

После первых четырех лет интенсивной эксплуатации резервуара, в результате коррозии и осаждения сульфидов железа в скважинах, проявилось повсеместное прогрессивное снижение дебитов, что привело к снижению интенсивности отбора вод. Это стало одной из основных проблем в эксплуатации резервуара, и для ее решения скважины были очищены механически, затем проведены превентивные мероприятия (инъекция ингибиторов коррозии). Прошло более 40 лет с момента установки первой работающей скважины, и не в одном из действующих дублетов не произошло существенного снижения температуры воды. 42 скважины (21 дублет) были закрыты

из-за технических и экономических причин, но не в результате истощения ресурса. Однако природный тепловой поток является недостаточным для поддержания температур на неопределенный срок. В настоящее время французскими учеными ведется работа по обновлению и реинтерпретации данных по Парижскому бассейну с целью определения задач по продолжительному использованию геотермальных ресурсов. По прогнозам экспертов геотермальная энергия будет оставаться неотъемлемой частью системы отопления в Парижском бассейне как минимум еще 40 лет [11].

Одной из перспективных террито-

рий России для использования термальных вод является Чеченская Республика, занимающая 3-е место среди регионов РФ (1-е место – Камчатка, 2-е – Дагестан) по подтвержденным запасам геотермальных вод (по категориям А+В+С – 64,680 тыс.м³/сут) [4].

Чечня расположена в пределах южной части Восточно-Предкавказского артезианского бассейна, на стыке складчатой области Большого Кавказа и Предкавказского передового прогиба. В пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна выделяются две гидрологические структуры – Терско-Сунженский и Терско-Кумский бассейны подземных вод. Ресурсы этих вод формируют-



Рис. 2. Расположение месторождений теплоэнергетических вод Чеченской Республики:

- 1 – Ханкальское; 2 – Гойтинское; 3 – Петропавловское; 4 – Герменчукское;
- 5 – Гуношки; 6 – Новогрозненское; 7 – Гудермеское; 8 – Центральное Бурунное;
- 9 – Червленое; 10 – Комсомольское; 11 – Щелковское; 12 – Новощедринское;
- 13 – Каргалинское; 14 – Дубовское

ся в областях выхода водопроницаемых отложений на дневную поверхность, на всей площади своего развития от предгорий Большого Кавказа на юге и до северных границ республики. Области питания частично совпадают с областями транзита.

Геотермальные ресурсы Чечни сосредоточены в геологических формациях миоценового возраста, караганском и чокракском горизонте. Выделяются до 24 продуктивных слоев, сложенных в основном кварцевым песчаником, разделенных непроницаемыми глинистыми слоями. Мощность продуктивных слоев колеблется от 6 до 100 м.

В республике имеется 14 разведанных месторождений термальных вод (см. рис. 2): Ханкальское, Гойтинское, Новошедринское, Дубовское, Каргалинское, Шелковское, Червленское, Герменчукское, Гудермесское, Гунюшки, Комсомольское, Новогрозненское, Петропавловское и Центрально-Бурунное.

Первые фундаментальные исследования по геотермии на территории Чечни, проведенные в СССР в 1970-е годы, наиболее активно велись работы на крупнейшем месторождении термальных вод республики – Ханкальском. В 1978–1981 гг. был реализован проект по созданию 1-й циркуляционной системы для разработки геотермальных вод в СССР, использовались воды наиболее продуктивного 13-го пласта месторождения [13].

До 1994 г. в Чеченской Республике осуществлялось использование глубинного тепла Земли в практических целях. В то время существовало 15 термоводозаборов, 11 из которых были действующими, а 4 простаивали.

Годовая добыча к 1994 г. достигала 8,8 млн м³ термальной воды – 96% от всего водопотребления – основным потребителем которой было сельское и коммунальное хозяйство. Остальная вода использовалась в бальнеологии и розливе минеральной воды. Но из-за начала войны и последовавших экономических проблем его использование в

промышленных масштабах прекратилось.

Предкавказская предгорная зона (см. рис. 3) в геоструктурном и в геогенетическом отношении идентична Предуралью [14], что позволяет предположить главенство на данной территории аналогичного «шарьяжно-надвигового» механизма образования тепла, необходимого и для нагрева вод до теплоэнергетических. Но, к сожалению, комплексных исследований природы образования теплоэнергетических вод Предкавказья не было проведено и в этом направлении следует провести изыскания.

По сравнению с резервуаром Доггер Парижского бассейна месторождения термальных вод Чечни имеют ряд преимуществ (см. табл.):

- более высокая температура флюида (+10–15 °С);
- низкая минерализация вод, что означает небольшую коррозионную активность;
- сравнительно большая мощность некоторых продуктивных слоев (к примеру, средняя мощность 13-го пласта Ханкальского месторождения – 40 м).

Также имеют следующие недостатки:

- апробированность продуктивных пластов только при сравнительно низких дебитах;
- невысокая приемистость скважин;
- сложная тектоническая структура месторождений, присутствие разломов.

В настоящее время термальные воды месторождений Чечни частично используются местным населением кустарным способом (после использования сливаются на поверхность), в то же время республика испытывает дефицит углеводородного сырья, а чистые, возобновляемые и надежные внутренние источники энергии могли бы помочь стабильно развивать экономику региона. Большой потенциал геотермальных вод, выявленных в республике, остается невостребованным и не играет существенной роли в топливно-энергетическом балансе.

За последние десятилетия в мире было

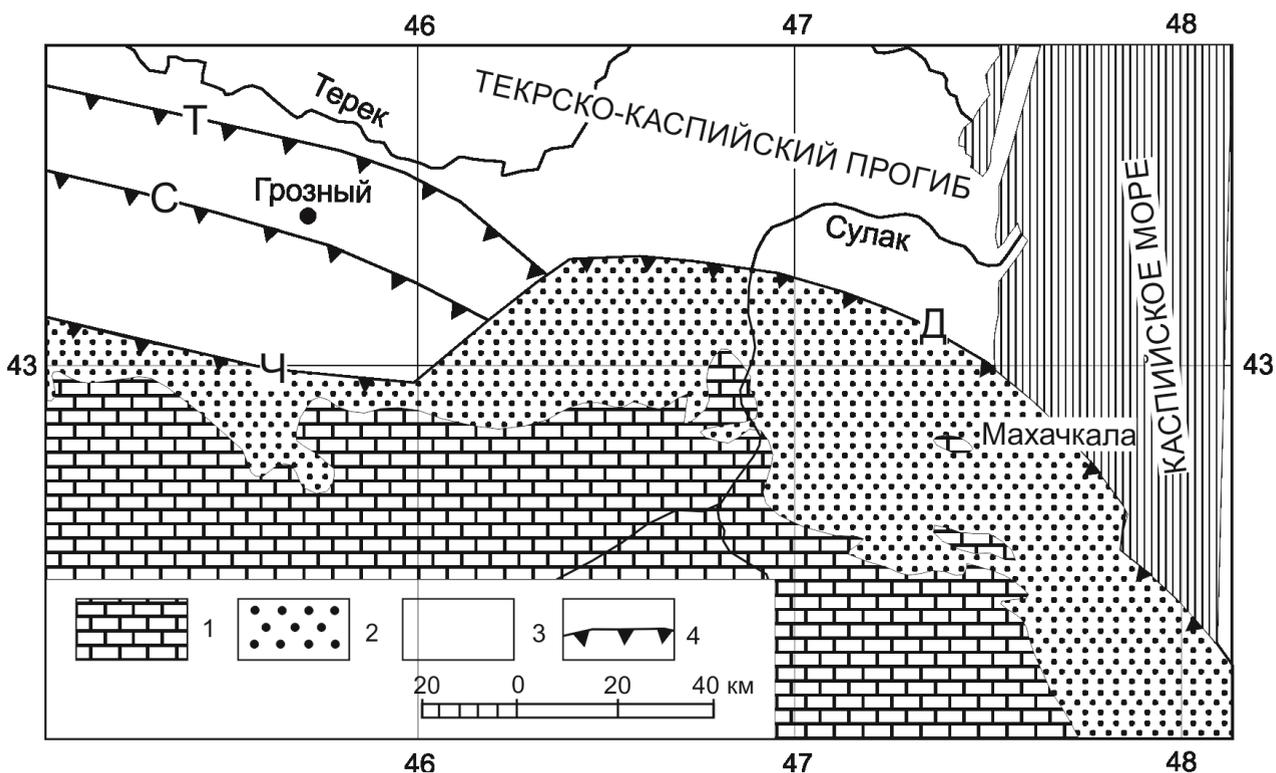


Рис. 3. Структурная схема зоны сочленения Кавказа и Терско-Каспийского прогиба.

По К.О. Соборнову [15]:

1 – область распространения мезозойских складчатых отложений Большого Кавказа; 2 – область распространения палеоген-неогеновых отложений зоны сочленения Большого Кавказа и Терско-Каспийского прогиба; 3 – область распространения плиоценчетвертичных отложений Терско-Каспийского прогиба; 4 – погребенные надвиги, ограничивающие Черногорскую моноклиналь (Ч), Сунженскую складчато-надвиговую зону (С), Терскую складчато-надвиговую зону (Т), Дагестанский клин (Д)

произведено множество исследований по геотермии, к примеру, дублеты прошли 5 «поколений» – от 2-х вертикальных скважин, пробуренных с двух разных буровых площадок, до 2-х субгоризонтальных одной буровой площадки.

Во Франции после 40 лет эксплуатации в некоторых дублетах столкнулись с проблемой развития холодного фронта в результате закачки воды обратно в резервуар, что, по прогнозам, в скором времени приведет к постепенному снижению температуры в продуктивных скважинах. Предложены различные концепции для решения этой проблемы (к примеру, строительство реверсивных скважин и сезонная (зима–лето) закачка-получение термальной воды [16]. Многие исследователи ставят на первый план проблему

«устойчивости» использования геотермального резервуара [17]. С 1970-х годов разработан ряд компьютерных программ для моделирования длительной обратной закачки вод (Comsol, Tough2, Metis, Marthe, Opengeosys и др.), позволяющих спрогнозировать и правильно выбрать вариант разработки ресурса термальных вод.

Учитывая все особенности месторождений Чеченской Республики, при выборе условий эксплуатации возможно достижение устойчивого долгосрочного использования ресурса теплоэнергетических вод.

С этой целью Грозненский государственный нефтяной технический университет имени М.Д. Миллионщикова в составе консорциума «Геотермальные ресурсы» и при активном участии BRGM («Бюро геологических

Таблица

Основные характеристики месторождений геотермальных вод
Чеченской Республики и Парижского бассейна

Месторождение	Глубина, м	Температура воды на устье скважины, °С	Дебит по различным скважинам, м³/сут	Минерализация, г/л	Утвержденные запасы	
					ГКЗ СССР, тыс. м³/сут	ЦКЗ РАО Газпром на 01.01.2001 г., тыс. м³/сут
Ханкальское	600-1950	65-93	285-2520	0,7-3,7	9,5 (забалансовые 7,6)	21,5
Гойтинское	1560-2470	70-81	800-1800	0,6-2,0	1,15	-
Новогрозненское	1245-1420	73-81	600-1000	0,7-1,6	3,41	-
Гунюшки	1230	80	1500	1,6		1,5
Червленное	3300-3500	69-83	1260-1700	1,5-6,2		5,2
Герменчукское	2800-3300	83	1000	-		1,0
Каргалинское	3000-3200	90-103	1600-3300	1,3-13,6		5,0
Гудермесское	895-915	61	600	1,2-2,4		1,0
Комсомольское	2688-2710	105	2200	2,3-4,7		2,0
Центрально-Бурное	2730-2820	100	1200-1630	3-4		3,4
Петропавловское	3620-3630	71	1030	0,7-1,3		3,0
Парижский бассейн (Доггер)	1500-2000	58-85	1200-14400	6-38,8		

и горных исследований», Франция) в 2013 г. начал проект по строительству пилотной геотермальной станции, использующей воды Ханкальского месторождения. Планируемая тепловая мощность – 6 МВт, потребителем будет являться тепличный комплекс. К 2015 г. планируется ее строительство, что позволит начать новый этап исследований и разработок по геотермальным ресурсам.

Развитие данной альтернативной отрасли позволит существенно улучшить уровень экономики региона без вреда для экологии, создать условия для научных исследований по развитию геотермии в целом. Надежность и долговечность источников геотермальной энергии подтверждается фактом – первая геотермальная станция (Арделло, Италия) работает уже более 100 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по применению Классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям теплоэнергетических вод / Федеральное государственное учреждение «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых». Б. м. 2007. 48 с.

2. Богуславский Э.И. Использование геотермальной энергии для целей теплоснабжения // Экологические системы: Электронный журнал энергосервисной компании, 2010. № 3 (99). URL: <http://esco-ecosys.narod.ru> (дата обращения: 11.09.2014).

3. Kagel A., Bates D., and Gawell, K.A. Guide to Geothermal Energy and the Environment, Washington,

DC, Geothermal Energy Association, 2007. URL: <http://geo-energy.org/reports/environmental%20guide.pdf> (дата обращения: 11.09.2014).

4. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. М.: МЭИ, 2011. 270 с.

5. Камалетдинов М.А., Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В., Постников Д.В. Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы. М.: Наука, 1991. 254 с.

6. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. Структурный фактор в теоретической геологии. Уфа: Гилем, 2010. 325 с.

7. Бобохов А.С., Бобохова Р.Б. Термодегазация минералов и пород как палеотермометр // Тепловое поле Земли и методы его изучения. М.: РУДН, 1997. С. 99–101.

8. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской империи. СПб.: При Имп. Акад. наук, 1773–1788.
9. Вахрушев Г.В. Горячая гора // Природа. 1965. № 7. С. 99–103.
10. Нигматулин Р.И., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Бобохов А.С. Геология и генезис тепловых аномалий горы Янгантау / Отделение наук о Земле и экологии АН РБ. Уфа: АН РБ, 1998. 70 с.
11. Lopez S., Hamm V., Le Brun M., Schaper L., Boissier F., Cotiche C. and Giuglaris E. 40 years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris Basin, France // Geothermics. 2010, no. 39, pp. 339–356.
12. Mégel T. and L. Rybach Production Capacity and Sustainability of Geothermal Doublets. / Proceedings World Geothermal Congress 2000. Japan, Kyoshu – Tohoku, 2000, pp. 849–854.
13. Фархутдинов А.М., Фархутдинов И.М., Исмагилов Р.А. История открытия и разработки Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод // Вестник Башкирского университета. 2014. № 19. С. 93–96.
14. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Загадки грязевых вулканов // Наука в России. 2004. № 5. С. 35–42.
15. Соборнов К.О. Строение зоны сочленения Кавказа и Терско-Каспийского прогиба // Докл. РАН, 1993. Т. 330, № 3, С. 492–496.
16. Réveillère A., Hamm V., Lesueur H., Cordier E., Goblet P. Geothermal contribution to the energy mix of a heating network when using Aquifer Thermal Energy Storage: modeling and application to the Paris basin // Geothermics. 2013, no. 47, pp. 69–79.
17. Ungemach P., Antics M., Lalos P. Sustainable geothermal reservoir management – a modelling suite. Proc. Australian Geothermal Energy Conference, 16–18th Nov. 2011, Melbourne, Geoscience Australia Record. 2011, no. 43, pp. 267–275.

REFERENCES

1. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii ekspluatatsionnykh zasapov i prognoznykh resursov podzemnykh vod k mestorozhdeniyam teploenergeticheskikh vod [Methodical recommendations for the application of Classification of useful groundwater reserves and probable resources to geothermal water fields]. State Commission on Mineral Reserves, 2007. 48 p. (In Russian).
2. Boguslavskiy E.I. Ispolzovanie geotermalnoy energii dlya tseley teplosnabzheniya [Use of geothermal energy for heating purposes]. Ekologicheskie sistemy – Ecological systems, 2010, no. 3 (99). Available at: <http://esco-ecosys.narod.ru> (accessed September 11, 2014) (In Russian).
3. Kagel A., Bates D., Gawell K.A. Guide to geothermal energy and the environment. Washington, DC, Geothermal Energy Association, 2007. Available at: <http://geo-energy.org/reports/environmental%20guide.pdf> (accessed September 11, 2014).
4. Alkhasov A.B. Vozobnovlyaemye istochniki energii [Renewable energy sources]. Training manual. Moscow, MPEI, 2011. 270 p. (In Russian).
5. Kamaletdinov M.A., Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V., Postnikov D.I. Sharyazhno-nadvigovaya tektonika litosfery [Nappe-overthrust tectonics of the lithosphere]. Moscow, Nauka, 1991. 254 p. (In Russian).
6. Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V. Strukturnyy faktor v teoreticheskoy geologii [Structure factor in theoretical geology]. Ufa, Gilem, 2010. 325 p. (In Russian).
7. Bobokhov A.S., Bobokhova R.B. Termodegradatsiya mineralov i porod kak paleotermometr [Thermodegradation of minerals and rocks as paleothermometer]. Teplovoe pole Zemli i metody ego izucheniya – Thermal field of the Earth and the methods of its study]. Moscow, RUDN, 1997, pp. 99–101 (In Russian).
8. Pallas P.S. Puteshestvie po raznym provintsiyam Rossiyskoy imperii. [Travels through various provinces of the Russian Empire]. St. Petersburg, Imperial Academy of Sciences, 1773–1788 (In Russian).
9. Vakhrushev G.V. Goryachaya gora [Hot mountain]. Priroda – Nature, 1965, no. 7, pp. 99–103 (In Russian).
10. Nigmatulin R.I., Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A., Kazantsev Yu.V., Bobokhov A.S. Geologiya i genезis teplovykh anomalii gory Yangantau [Geology and genesis of thermal anomalies of Yangantau Mount]. Ufa, Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 1998. 70 p. (In Russian).
11. Lopez S., Hamm V., Le Brun M., Schaper L., Boissier F., Cotiche C., Giuglaris E. Forty years of Dogger aquifer management in Ile-de-France, Paris Basin, France. Geothermics, 2010, no. 39, pp. 339–356.
12. Mégel T., Rybach L. Production capacity and sustainability of geothermal doublets. Proceedings World Geothermal Congress 2000. Japan, Kyoshu – Tohoku,

2000, pp. 849–854.

13. Farkhutdinov A.M, Farkhutdinov I.M., Ismagilov R.A. Istoriya otkrytiya i razrabotki Khankalskogo mestorozhdeniya teploenergeticheskikh vod [The history of the discovery and exploitation of the Khankala geothermal water field]. Vestnik Bashkirskogo universiteta – Bulletin of the Bashkir State University, 2014, no. 19, pp. 93–96 (In Russian).

14. Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T. Zagadki gryazevykh vulkanov [Enigmas of mud volcanoes]. Nauka v Rossii – Science in Russia, 2004, no. 5, pp. 35–42 (In Russian).

15. Sobornov K.O. Stroenie zony sochleneniya Kavkaza i Tersko-Kaspiyskogo progiba [Structure of the

junction zone between the Caucasus and the Terek-Caspian Trough]. Doklady RAN – Proceedings of the Russian Academy of Sciences, 1993, vol. 330, no. 3, pp. 492–496 (In Russian).

16. Réveillère A., Hamm V., Lesueur H., Cordier E., Goblet P. Geothermal contribution to the energy mix of a heating network when using aquifer thermal energy storage: Modelling and application to the Paris Basin. Geothermics, 2013, no. 47, pp. 69–79.

17. Ungemach P., Antics M., Lalos P. Sustainable geothermal reservoir management – a modelling suite. Proc. Australian Geothermal Energy Conference, 16–18th Nov. 2011, Melbourne, Geoscience Australia Record, 2011, no. 43, pp. 267–275.

