

На правах рукописи



ФАРХУТДИНОВ АНВАР МАНСУРОВИЧ

**ТЕРМАЛЬНЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ
ХАНКАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:
ФОРМИРОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ПРОГНОЗЫ**

Специальность: 25.00.07 – Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск–2016

Работа выполнена на кафедре гидрологии и геоэкологии географического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет» и в Высшей горной школе Парижа, Франция

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор
Гареев Ауфар Миннигазимович

Научный консультант:

Ph.D. **Патрик Гобле**

Официальные оппоненты:

Харитоновна Наталья Александровна, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ, г. Москва), профессор кафедры гидрогеологии

Маммаев Омар Ахмедович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра Российской академии наук (ИПГ ДНЦ РАН, г. Махачкала), заведующий лабораторией геотермальных ресурсов

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (ГГНТУ, г. Грозный)

Защита состоится «23» декабря 2016 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета ДМ212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», по адресу г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>

Автореферат разослан «21» ноября 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.г.-м.н.



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В последние годы в мире значительное внимание уделяется нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, среди которых важное значение принадлежит термальным подземным водам ввиду экологической безопасности и экономической рентабельности использования. Россия обладает большими геотермальными ресурсами, однако в промышленном масштабе они практически не применяются. К наиболее перспективным территориям по геотермии относится Чеченская Республика, занимающая 3-ье место среди регионов Российской Федерации по утвержденным эксплуатационным запасам месторождений термальных подземных вод, из которых наиболее крупным является Ханкальское месторождение.

Чеченская Республика расположена в пределах Восточно-Предкавказского артезианского бассейна, гидрогеологические, гидрогеохимические и геотермические условия которого отражены в трудах целого ряда исследователей: И.Г. Киссина, Б.Ф. Маврицкого, Ф.А. Макаренко, А.И. Хребтова, В.П. Крылова, Г.М. Сухарева, И.С. Зекцера, С.А. Шагоянца, М.К. Курбанова, А.Б. Алхасова и др. Вместе с тем вопросы использования термальных подземных вод изучены недостаточно, работы по исследованию и прогнозу эксплуатации термальных вод с применением современных компьютерных технологий единичны.

В связи с неуклонным ростом потребностей Чеченской Республики в электро- и теплоэнергии изучение термальных подземных вод региона с применением геостатистической оценки и математического моделирования своевременно и актуально.

Цель исследования

Цель настоящей работы – установить особенности формирования термальных подземных вод Ханкальского месторождения и выявить характер изменения температур при их использовании.

Задачи исследования

1. Провести анализ гидрогеологических условий территории юго-востока

Восточно-Предкавказского артезианского бассейна и факторов определяющих распространение термальных вод.

2. Построить карту распределения температур в пределах Ханкальского месторождения термальных подземных вод и структурную карту основного продуктивного пласта.

3. Разработать математическую модель прогноза изменения температурного режима в процессе эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

4. Дать рекомендации по дальнейшей эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

Защищаемые положения

1. Основные тепловые ресурсы термальных подземных вод юго-востока Восточно-Предкавказского артезианского бассейна связаны с караганчокракскими отложениями среднего миоцена. Гидрогеологические и геотермические особенности территории определили расположение и характеристики крупнейшего месторождения исследуемой области – Ханкальского, для которого уточнена структура основного продуктивного пласта.

2. На Ханкальском месторождении термальных подземных вод установлена вертикальная и латеральная зональности распределения температур, определяющими для которых являются глубина залегания водоносного комплекса, структурно-тектонический фактор и направление движения подземных вод.

3. Эксплуатация Ханкальского месторождения термальных подземных вод с применением дублетной циркуляционной системы обратной закачки приведет к постепенному снижению температурного фона. При разработке необходимо учитывать расстояние между забоями нагнетательной и продуктивной скважин, направление движения подземных вод и влияние тектонических нарушений. Рекомендуется установка и периодическая эксплуатация нескольких дублетных циркуляционных систем различных продуктивных пластов.

Научная новизна

Показано, что наиболее перспективными для использования термальных

подземных вод в пределах Чеченской Республики являются караган-чокракские отложения среднего миоцена, для которых дана оценка тепловых ресурсов. Разработана структурная карта по кровле основного продуктивного пласта Ханкальского месторождения термальных подземных вод с помощью методов геостатистики. Составлена карта распределения температур в пределах исследуемой области на основе компьютерного моделирования. Впервые для условий Ханкальского месторождения термальных подземных вод осуществлено моделирование эксплуатации с применением дублетной циркуляционной системы, оценено изменение температурного режима при обратной закачке использованных вод. Обоснованы рекомендации по проведению дальнейших гидрогеологических работ на Ханкальском месторождении термальных подземных вод.

Личный вклад

Сбор, анализ, интерпретация и обобщение использованных при работе над диссертацией материалов отчетов 1964–2009 гг. Оценка запасов и расчет тепловых ресурсов подземных вод среднемиоценовых караган-чокракских отложений исследуемой области, составление картографических построений, включая создание структурной карты основного продуктивного пласта и карты распределения температур в пределах Ханкальского месторождения термальных подземных вод. Моделирование использования термальных подземных вод с оценкой изменения их температурного режима при осуществлении обратной закачки использованных вод и после завершения эксплуатации. Разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

Фактический материал и методы исследования

В работе использованы фондовые материалы: отчеты за 1964–2009 гг. из архивов Федерального государственного унитарного научно-производственного предприятия «Российский Федеральный Геологический Фонд»; данные полевых работ и геохимических анализов, проведенных в 2013 г. Грозненским государственным нефтяным техническим университетом им. акад. М.Д. Миллионщикова. Проанализированы результаты гидрогеологических и

геохимических исследований по 15 скважинам, данные опытно-фильтрационных работ по 5 скважинам территории Ханкальского месторождения термальных подземных вод. Обработка информации выполнялась в Microsoft Office Excel, картографические построения осуществлялись с помощью программ Isatis и CorelDRAW. Расчеты изменения температурного режима подземных вод в процессе их добычи и последующего нагнетания осуществлялись на основе математического моделирования с использованием программы Metis, разработанной Патриком Гобле [Goblet, 1980].

Научно-практическая значимость работы

В результате исследования выполнены расчеты и оценка тепловых ресурсов термальных подземных вод среднемиоценовых караган-чокракских отложений Чеченской Республики, подсчет эксплуатационных запасов Ханкальского месторождения термальных подземных вод. Выделены зоны повышенных температур на территории Ханкальского месторождения. Дан прогноз использования тепловых ресурсов при обратной закачке отработанных термальных вод, определена скорость восстановления температуры после завершения разработки, а также сформулированы рекомендации оптимального режима эксплуатации. Разработанные и адаптированные методы оценки температурного режима, создания структурной карты продуктивного пласта Ханкальского месторождения, а также математического моделирования обратной закачки могут быть использованы при обосновании условий эксплуатации месторождений термальных подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна и других регионов России.

Апробация работы

По материалам диссертационного исследования опубликовано 20 научных работ, в том числе 9 – в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК. Полученные результаты использованы при составлении отчета Государственного геологического музея им. акад. В.И. Вернадского по теме «Разработка трехмерной цифровой модели резервуара геотермальных вод. Разработка алгоритма математического моделирования распределения температуры в пределах резервуара геотермальных вод» (2013 г.).

Научные конференции, в которых принял участие диссертант: межвузовская

научно-практическая конференция «Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях», Уфа, 11–12 ноября 2014 г.; международная научно-практическая конференция «GEOENERGY», Грозный, 19–21 июня 2015 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы естествознания», Уфа, 17 ноября 2015 г.; третий международный форум «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности», Крым, г. Ялта. 17–19 ноября 2015 г.

Структура и объем работы

Диссертационная работа изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит введение, шесть глав, заключение, выводы и приложения, иллюстрируется 18 таблицами и 68 рисунками. Список использованной литературы включает 161 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дано общее описание термальных подземных вод, как одного из возобновляемых видов энергии, рассмотрено состояние геотермальной энергетики в России и в мире. Обоснована актуальность выбора темы диссертационной работы. Сформулированы цель и задачи проведенного исследования.

В **первой главе** отражены основные этапы изучения и использования термальных подземных вод в мире и в пределах России, показана высокая перспективность юго-востока Восточно-Предкавказского артезианского бассейна.

Во **второй главе** представлены физико-географические и гидрогеологические условия территории юго-востока Восточно-Предкавказского артезианского бассейна, а также стратиграфия, тектоника и гидрогеология Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

В **третьей главе** приведены результаты геостатистического анализа и картирования основного продуктивного пласта, создания карты распределения температур в пределах Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

Четвертая глава содержит данные по прогнозу изменения температурного режима при эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод с использованием обратной закачки.

В **пятой** главе обоснованы и представлены рекомендации по проведению дальнейших гидрогеологических работ на территории Ханкальского месторождения термальных подземных вод для достижения устойчивости в эксплуатации.

В **шестой** главе представлен анализ эколого-экономических аспектов использования термальных подземных вод Ханкальского месторождения.

В **заключении** подведены итоги исследований, сформулированы основные выводы и рекомендации.

Защищаемые положения

1. Первое защищаемое положение. Основные тепловые ресурсы термальных подземных вод юго-востока Восточно-Предкавказского артезианского бассейна связаны с караган-чокракскими отложениями среднего миоцена. Гидрогеологические и геотермические особенности территории определили расположение и характеристики крупнейшего месторождения исследуемой области – Ханкальского, для которого уточнена структура основного продуктивного пласта.

Гидрогеологические и структурно-тектонические особенности территории Чеченской Республики определяются ее расположением в юго-восточной части Восточно-Предкавказского артезианского бассейна, на стыке горно-складчатой области большого Кавказа и Предкавказского передового прогиба. Восточно-Предкавказский артезианский бассейн является гидрогеологической структурой II-го порядка, площадь которого вместе с субмаринной частью составляет 250 тыс. км² (рис. 1). В пределах бассейна на исследуемой территории выделяются три гидротермических этажа, изолированных друг от друга мощными водонепроницаемыми толщами сарматских и майкопских глин: плиоценовый, миоценовый и мезозойский.

В мезозойском комплексе Чеченской Республики площади объектов, содержащих термальные воды в промышленных масштабах, не выявлены. В плиоценовом этаже температура вод в зависимости от глубины залегания (300–700 м) водоносных горизонтов колеблется от 25 до 60 °С, минерализация на

подавляющей территории варьирует в пределах 0.5–1.5 г/л.

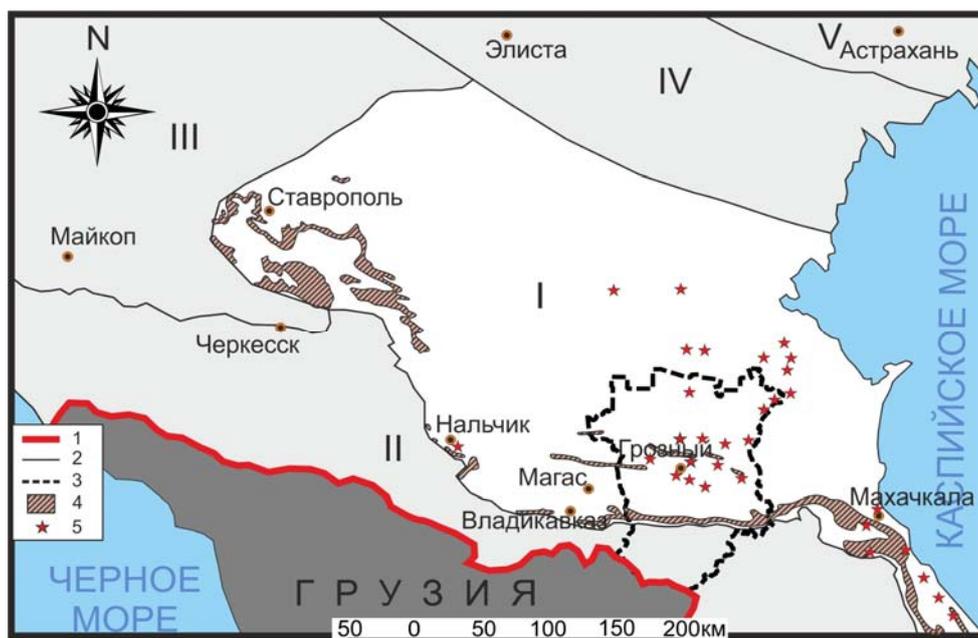


Рис. 1. Схематическая карта Восточно-Предкавказского артезианского бассейна по И.Ю. Дежниковой с изменениями [2015]

Условные обозначения: 1 – государственная граница, 2 – границы гидрогеологических структур, 3 – граница Чеченской Республики, 4 – выходы караган-чокракских отложений на поверхность, 5 – месторождения термальных подземных вод; I – Восточно-Предкавказский артезианский бассейн, II – Кавказская гидрогеологическая складчатая область III – Азово-Кубанский артезианский бассейн, IV – Ергенинский артезианский бассейн, V – Прикаспийский артезианский бассейн.

Основные ресурсы термальных подземных вод Чеченской Республики связаны с миоценовым гидротермическим этажом, представленным серией караган-чокракских продуктивных пластов. Всего в пределах региона в разрезе среднемиоценовых отложений выделяется 23 песчаных пласта, из которых 10 приурочены к отложениям чокракского возраста, 13 – караганского. Ведущие эксплуатационные горизонты – IV-VII, XIII, XVI и XXII. Общая мощность среднемиоценового комплекса составляет 630–1000 м, из которых 350–400 м относятся к караганским отложениям. Мощность продуктивных пластов, представленных песчаниками, достигает 60 м [Крылов, 1984ф].

Область питания среднемиоценового караган-чокракского комплекса в пределах изучаемой территории проходит по Черным горам, в которых выходят на поверхность на абсолютных отметках от +725 до +870 м. Зона частичной разгрузки и питания относится к выходам отложений в районе Передовых

хребтов: Сунженском, Гудермесском, Брагунском и Терском. Скрытая разгрузка происходит в Каспийское море и распространена в виде фильтрации воды через слабопроницаемые пласты. После инфильтрации в зоне питания воды движутся в северном и северо-восточном направлении. Генезис вод инфильтрационный с подчиненным значением седиментационных вод [Киссин, 1964]. Всего в Чеченской Республике разведаны 14 месторождений термальных подземных вод, относящихся к миоценовому гидротермическому этажу (рис. 2).

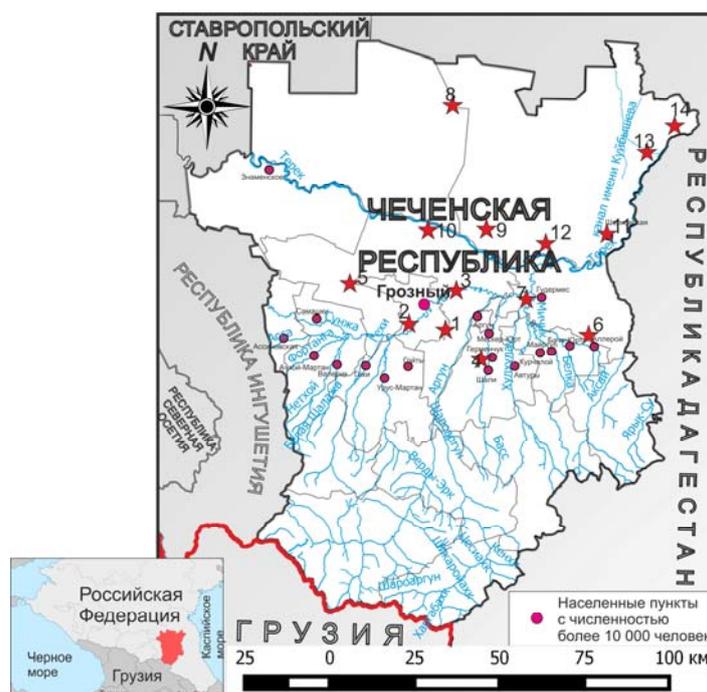


Рис. 2. Карта месторождений термальных подземных вод Чеченской Республики

1 – Ханкальское; 2 – Гойтинское; 3 – Петропавловское; 4 – Герменчукское; 5 – Гунюшки; 6 – Новогрозненское; 7 – Гудермесское; 8 – Центрально-Бурунное; 9 – Червленное; 10 – Комсомольское; 11 – Шелковское; 12 – Новошедринское; 13 – Каргалинское; 14 – Дубовское.

Для уточнения потенциала тепловых ресурсов термальных подземных вод среднемиоценового комплекса Чеченской Республики произведен расчет суммарной выработки тепла по формуле [Ресурсы ..., 1975], адаптированной для установки циркуляционных систем теплоотбора (табл. 1):

$$G = 10^{-3} \cdot Q \cdot \eta \cdot C \cdot (T_{\text{добычи}} - T_{\text{закачки}}),$$

где G – тепловые ресурсы, ГДж/сут; Q – дебит, м³/сут; $T_{\text{добычи}}$ – температура извлекаемой воды из скважины, °С; $T_{\text{закачки}}$ – температура закачиваемой воды в пласт, 45 °С; C – удельная теплоемкость воды (4.186 кДж/кг·°С); η – коэффициент

полезного действия (КПД) пластинчатого теплообменника 0.9.

Таблица 1. Оценка тепловых ресурсов месторождений термальных подземных вод Чеченской Республики

Месторождение	Средняя температура на устье скважины, °С	$T_{\text{добычи}} - T_{\text{закачки}}$, °С	Эксплуатационные запасы, тыс. м ³ /сут	КПД теплообменника	Выработка тепла, ГДж/сут	Суммарное количество тепла, ГДж/сут
Ханкальское	81.5	36.5	15.6	0.9	2145	7347
Червленое	76	31	5.2		607	
Каргалинское	96.5	51.5	5.0		970	
Новогрозненское	77	32	3.41		411	
Остальные	87.5	42.5	20		3213	

По результатам оценки вероятная суммарная выработка тепла по месторождениям термальных подземных вод составляет 7.4 тыс. ГДж/сут, что подтверждает высокий ресурсный потенциал среднемиоценового караганчокракского комплекса на территории Чеченской Республики.

Характер расположения месторождений термальных подземных вод исследуемой области определяются следующими условиями: субширотное простирание складок Предкавказья, с наиболее глубокими прогибами на юге, субмеридиональное направление движения подземных вод, высокие температуры в депрессиях, достаточно активный гидродинамический режим. Особенности изменения характеристик продуктивных караганчокракских отложений в пределах исследуемой области – уменьшение толщины и песчаности в направлении с востока на запад и с юга на север [Вассоевич, 1959], предопределили расположение крупнейшего месторождения Чеченской Республики – Ханкальского.

Ханкальское месторождение термальных подземных вод представляет собой месторождение многопластового типа с ярко выраженным водонапорным режимом. Абсолютные отметки поверхности земли в пределах эксплуатационного участка составляют от +170 до +180 м, с северо-запада территория месторождения ограничена возвышенностью Сюир-Корт (наивысшая точка +396 м), с юго-востока – возвышенностью Сюиль-Корт (наивысшая точка +435 м). С северо-востока и

юго-востока границами являются два взброса, формирующие дислокацию типа горст, севернее и южнее которых продуктивные пласты погружаются на большие глубины, что делает экономически нецелесообразным их разработку (рис. 3).

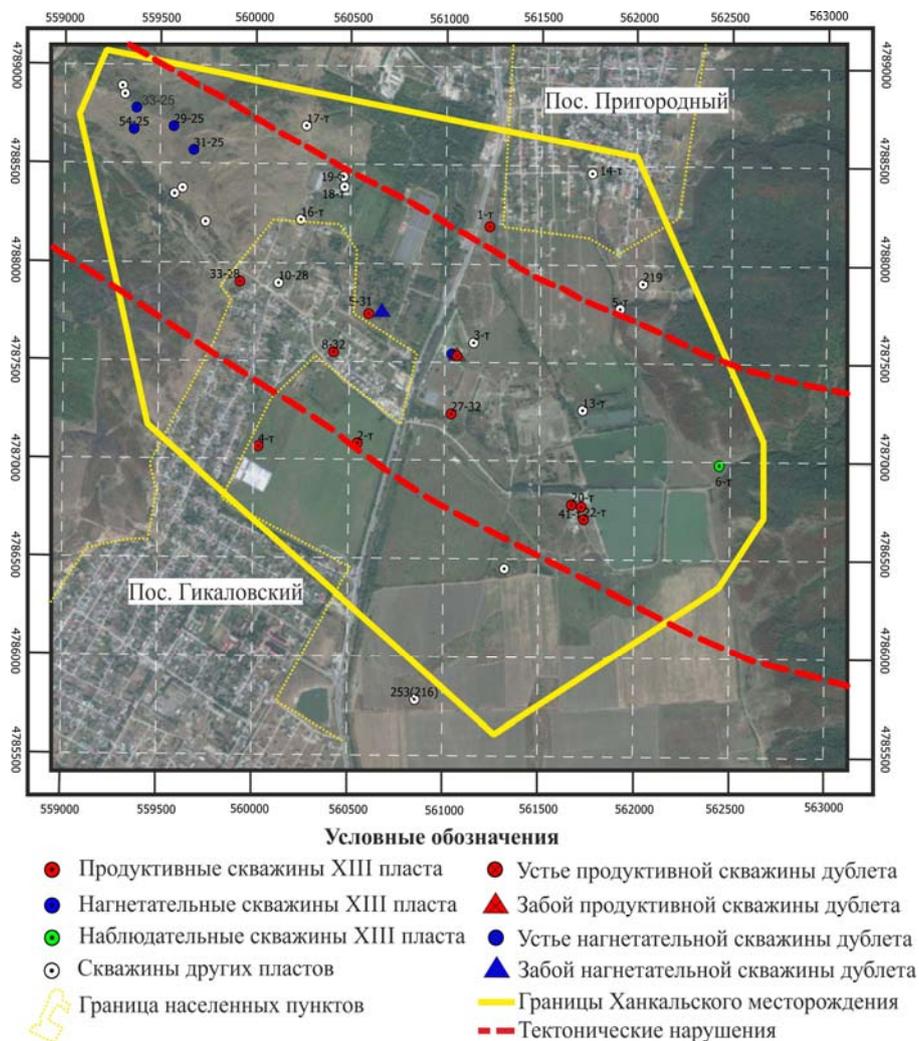


Рис. 3. Расположение скважин Ханкальского месторождения термальных подземных вод

Структура продуктивных пластов месторождения определяется антиклинальной складкой, погружающейся в юго-восточном направлении. В ходе работы с помощью современных методов геостатистики (универсальный кригинг) разработана дополненная структурная карта по кровле основного продуктивного пласта месторождения – XIII, выбранного в качестве ресурса геотермальной станции (рис. 4). Использовались данные более 100 термальных и нефтяных скважин, вскрывших продуктивный пласт Ханкальского месторождения термальных подземных вод и находящегося в непосредственной близости Октябрьского нефтяного месторождения.

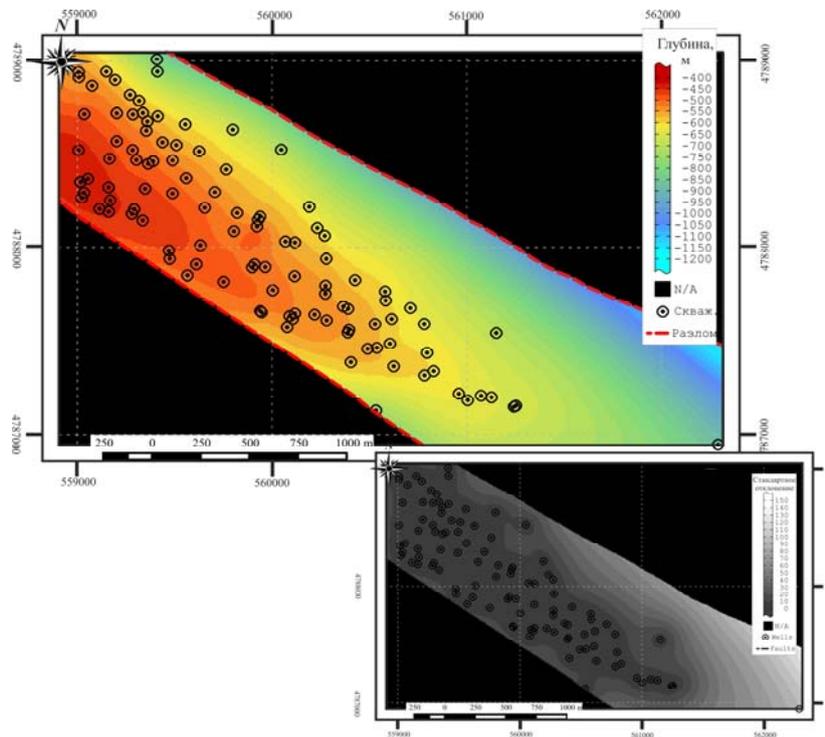


Рис. 4. Структурная карта XIII продуктивного пласта Ханкальского месторождения термальных подземных вод

В сравнении со структурной картой, построенной в 1967 г. методом триангуляции [Шпак, 1968ф], отмечается сходство в северо-западной части. Однако на юго-восточном погружении антиклинали наблюдаются расхождения, которые достигают 100 м, что является существенным. Современные методы геостатистики позволили уточнить структуру основного продуктивного пласта, оценка глубины залегания которого вошла в трехмерную геологическую модель Ханкальского месторождения термальных подземных вод [Черкасов и др., 2014], Результаты были использованы при определении месторасположения новых скважин Ханкальской геотермальной станции.

2. Второе защищаемое положение. *На Ханкальском месторождении термальных подземных вод установлена вертикальная и латеральная зональности распределения температур, определяющими для которых являются глубина залегания водоносного комплекса, структурно-тектонический фактор и направление движения подземных вод.*

Тепловой режим Восточно-Предкавказского артезианского бассейна формируется за счет теплового потока, структурно-тектонического фактора, движения подземных вод и литологического состава пород, которые в

совокупности обусловили развитие высокотермальных подземных вод в караган-чокракских отложениях. Преобладающее влияние на геотермический режим имеет глубинный тепловой поток, а остальные условия значимы при распределении глубинного тепла [Алхасов, 2010].

Влияние структурно-тектонического фактора и движения термальных подземных вод на формирование теплового режима караган-чокракских отложений было изучено на примере Ханкальского месторождения термальных подземных вод, для этой цели создавалась трехмерная карта распределения температур в его пределах. Более 100 измерений температур по стволам скважин (рис. 5) проанализированы с помощью методов геостатистики (универсальный кригинг).

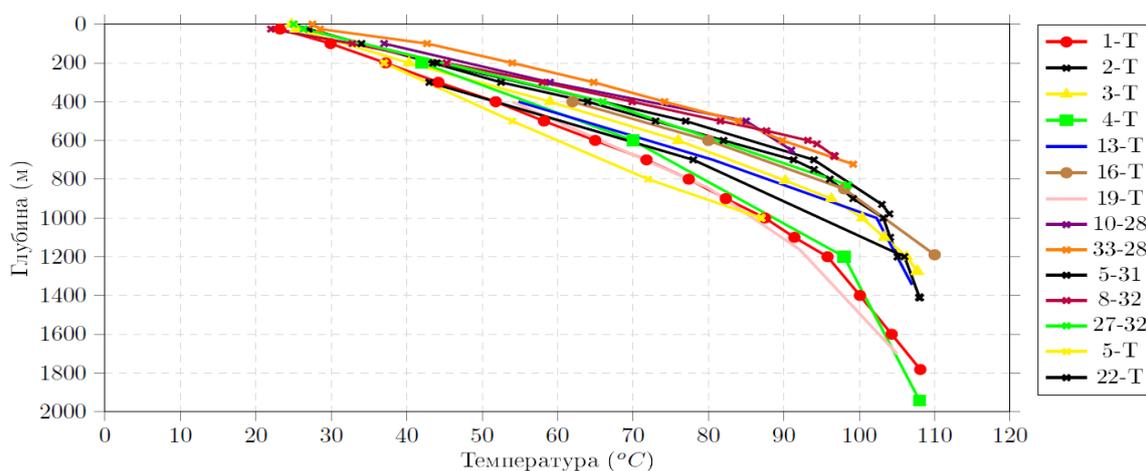


Рис. 5. Измерения температур по стволам скважин Ханкальского месторождения термальных подземных вод

Общей особенностью, заметной по термограммам скважин исследуемой территории (см. рис. 5), является замедление нарастания температуры с глубиной. Наряду с ростом кондуктивной теплопроводности вниз по разрезу это обусловлено изменением плотности кондуктивного теплопотока под влиянием конвективного теплопереноса [Курбанов, 2001]. Существуют две закономерности распределения температур – в пределах продуктивных пластов и на меньших глубинах. По этой причине использовались две системы координат: с основным продуктивным пластом в качестве начала координат для измерения температур на наибольших глубинах и в обычной системе координат ближе к поверхности земли.

После подбора моделей вариограмм производилась оценка распределения температур исследуемой области (рис. 6) и XIII продуктивного пласта в частности (рис. 7).

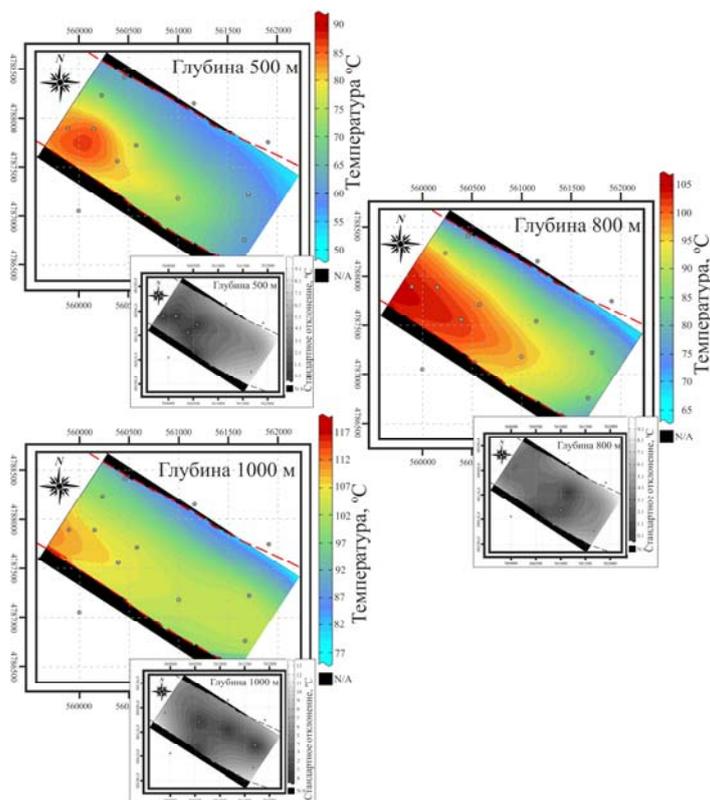


Рис. 6. Оценка распределения температуры в пределах Ханкальского месторождения термальных подземных вод

По результатам исследования выявлено, что характер распределения температур связан со структурой продуктивных пластов месторождения, слагающих антиклинальную складку, погружающуюся в юго-восточном направлении. Наивысшие значения на равной глубине приурочены к продуктивным горизонтам за счет содержащихся в них термальных вод, которые прогреваются на больших глубинах и затем поднимаются на поверхность.

Оценка температур в пределах основного продуктивного пласта показала приуроченность наиболее высоких значений к юго-восточной части. Возможным дополнительным источником тепла является тектоническое движение по главному южному разлому Ханкальского месторождения термальных подземных вод.

Данный факт, как и общая приуроченность термальных подземных вод к территории Северного Кавказа, объясняется в рамках шарьяжно-надвиговой

теории [Камалетдинов и др., 1981], рассматривающей данный регион в качестве мобильной тектонической зоны.

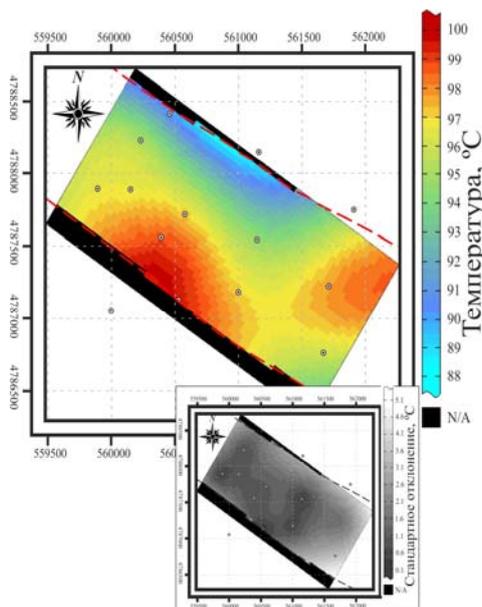


Рис. 7. Оценка распределения температуры в пределах XIII продуктивного пласта Ханкальского месторождения термальных подземных вод

Результаты оценки распределения температур свидетельствует о важности процесса движения подземных вод в формировании температурного режима среднемиоценового караган-чокракского комплекса.

3. Третье защищаемое положение. Эксплуатация Ханкальского месторождения термальных подземных вод с применением дублетной циркуляционной системы обратной закачки приведет к постепенному снижению температурного фона. При разработке необходимо учитывать расстояние между забоями нагнетательной и продуктивной скважин, направление движения подземных вод и влияние тектонических нарушений. Рекомендуется установка и периодическая эксплуатация нескольких дублетных циркуляционных систем различных продуктивных пластов.

На Ханкальском месторождении термальных подземных вод установлена дублетная циркуляционная система, представляющая собой единый контур нагнетательной и продуктивной скважин с обратной закачкой всей получаемой термальной воды в пласт после ее использования. Опыт эксплуатации месторождения фонтанным способом в 1970-е гг. выявил неэффективность

данного метода в гидрогеологических и экологических аспектах. Геотермальные циркуляционные системы в свою очередь позволяют добиться сразу нескольких целей [Крылов, 1984ф]: создание крупных, в десятки тысяч $\text{м}^3/\text{сутки}$, термоводозаборов, использование вод любого качества (потребительский и продуктивно-нагнетательный контур разведены), решение вопросов охраны окружающей среды, защита недр от истощения и уменьшение территории распространения воронки депрессии. В то же время основной проблемой при использовании термальных вод с обратной закачкой является возможное постепенное снижение температуры ресурса, для прогноза которого разработана математическая модель.

В ходе моделирования эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод автором использованы фондовые данные, карты температурного распределения и глубины кровли XIII продуктивного пласта, полученные после геостатистического анализа и оценки. Модель построена с применением программы Metis [Goblet, 1980], с помощью которой воспроизводится процесс потока жидкости, тепло- и массопереноса в пористых или трещиноватых водоносных горизонтах. Решение уравнений производится по методу конечных элементов, анализируемая область разбивается на части (элементы) и модель объекта задается системой дифференциальных уравнений в частных производных с определенными краевыми условиями (рис. 8).

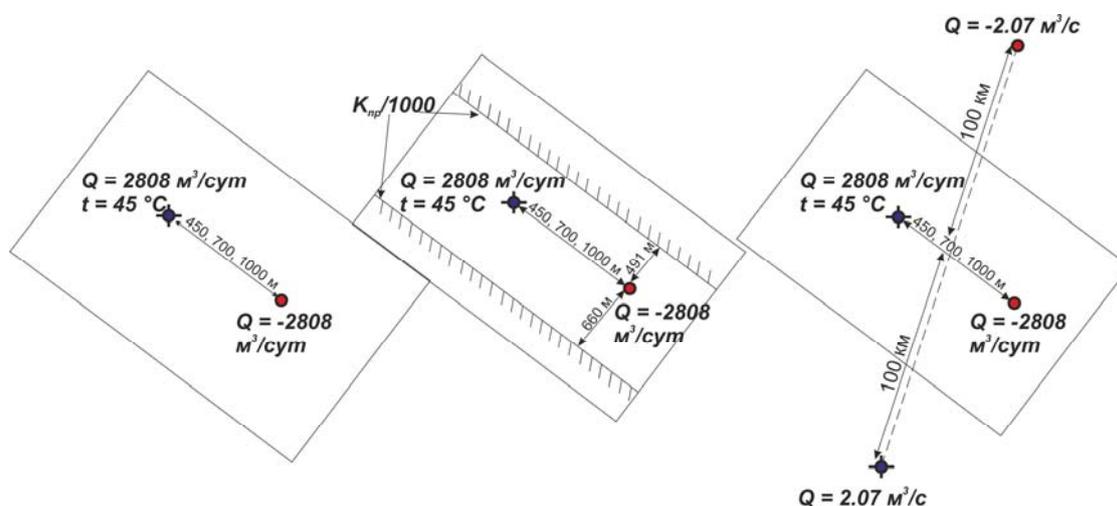


Рис. 8. Схема граничных условий моделирования эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод

В связи с тем, что в вопросе природы северного и южного разломов территории Ханкальского месторождения термальных подземных вод остаются неясности, в ходе выполнения моделирования производились 3 варианта симуляции: при непроницаемых тектонических нарушениях, с учетом естественного движения потока подземных вод (добавлены две фиктивные скважины) и без учета вышеперечисленных условий (рис. 9).

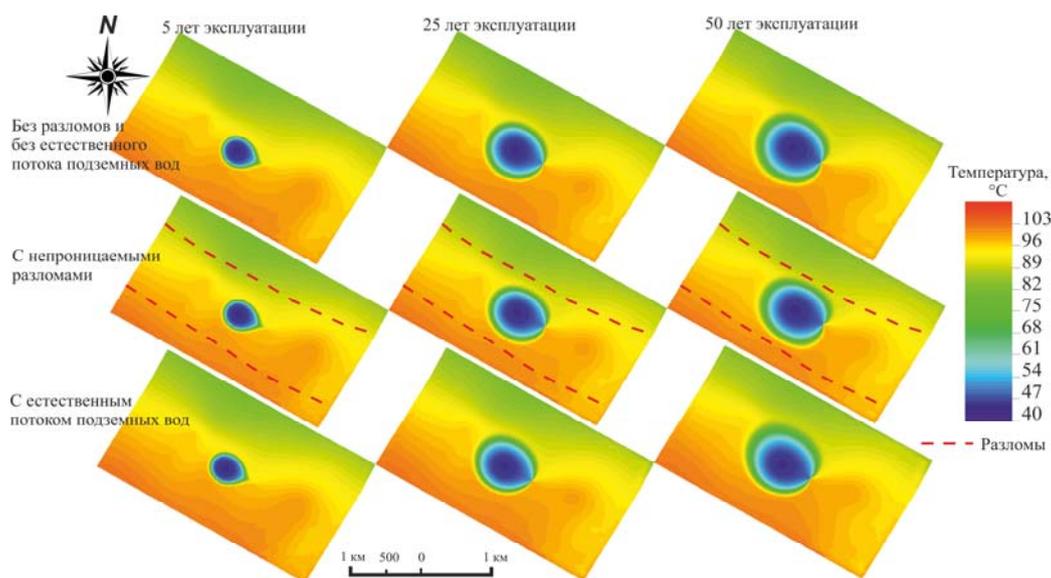


Рис. 9. Изменение температур XIII продуктивного пласта Ханкальского месторождения термальных подземных вод при эксплуатации: 5 лет, 25 лет и 50 лет (расстояние между забоями скважин «дублета» – 450 м)

Кривая температуры воды, получаемой в продуктивной скважине, показывает, что первое понижение температуры произойдет через 5–6 лет постоянного режима эксплуатации: забор воды $2808 \text{ м}^3/\text{сутки}$ и обратная закачка с тем же дебитом и с температурой 45°C (рис. 10).

В ходе моделирования эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод принималось также во внимание расстояние между забоями продуктивной и нагнетательной скважин (табл. 3).

Рекомендуемая дистанция между забоями нагнетательной и продуктивной скважин по результатам расчетов составляет более 750 м, что позволит избежать значимого снижения температуры в скважине через 25–30 лет – обычного периода эксплуатации скважинного оборудования, после чего, возможно, потребуется его замена.

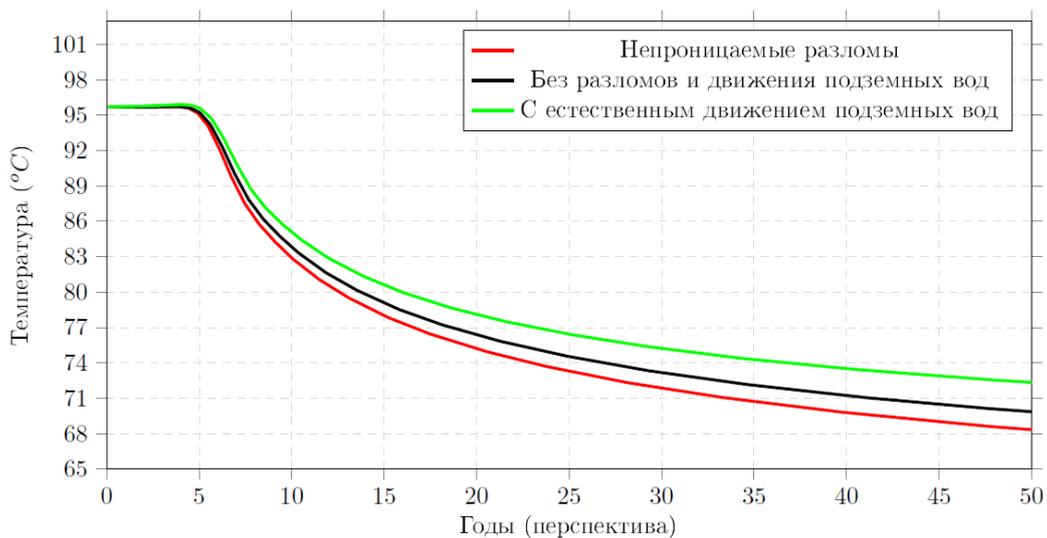


Рис. 10. Изменение температуры в продуктивной скважине при эксплуатации (расстояние между забоями скважин «дублета» – 450 м)

Табл. 3. Моделирование изменения температуры термальных подземных вод в продуктивной скважине

Условие	$\Delta T = 1^\circ C$, год	ΔT , °C через 50 лет
<i>Расстояние 450 м</i>		
Без естественного движения подземных вод, без учета влияния разломов	5.33	25.82
Непроницаемые разломы	5.25	27.35
С учетом естественного движения подземных вод	5.75	23.33
Аналитическое решение	6.3	24.07
<i>Расстояние 750 м</i>		
Без естественного движения подземных вод, без учета влияния разломов	16.5	14.61
Непроницаемые разломы	15.17	17.04
С учетом естественного движения подземных вод	18.42	11.76
Аналитическое решение	19.3	11.92
<i>Расстояние 1000 м</i>		
Без естественного движения подземных вод, без учета влияния разломов	31.33	6.43
Непроницаемые разломы	27.5	9.11
С учетом естественного движения подземных вод	38.25	3.63
Аналитическое решение	37.8	3.66

Для исследования скорости восстановления теплового ресурса XIII продуктивного пласта Ханкальского месторождения термальных подземных вод проведено математическое моделирование эксплуатации резервуара в течение 50 лет с последующей остановкой разработки (рис. 11).

По результатам моделирования с учетом естественного потока подземных

вод полное восстановление температуры в добывающей скважине произойдет через 113.5 лет после остановки эксплуатации, а без учета этого фактора температура восстановится на 56.4% через 150 лет после завершения разработки.

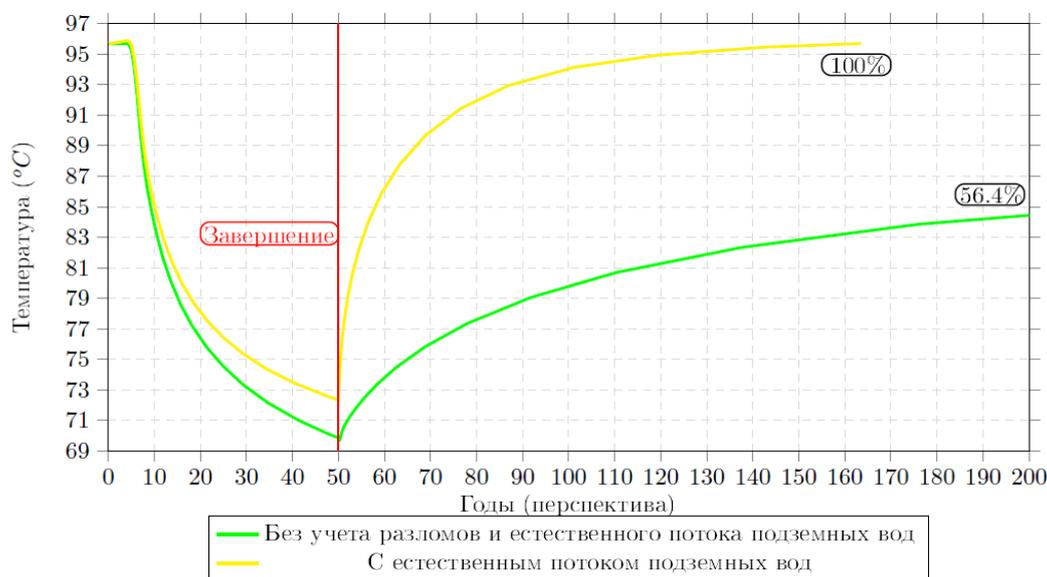


Рис. 11. Изменение температуры в продуктивной скважине в течение 50-летней эксплуатации и после завершения разработки (расстояние между забоями скважин «дублета» – 450 м)

Снижение температуры в процессе эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод по результатам моделирования и сравнительно быстрое восстановление температурного режима по завершению разработки благодаря геотермическим особенностям территории позволяют рекомендовать установку и периодическую эксплуатацию нескольких циркуляционных систем. Основные продуктивные пласты: IV-VII, XIII, XVI и XXII, отделены друг от друга серией непроницаемых пропластков и других продуктивных пластов общей мощностью около 340 м, что препятствует распространению снижения температурного фона в вертикальном направлении при закачке использованных термальных вод в один из них. В случае понижения температуры на устье продуктивной скважины до недопустимо низкой отметки в ходе эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод это позволит продолжить работу геотермальной станции и добиться устойчивости в разработке месторождения.

Заключение

По результатам диссертационного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Термальные воды среднемиоценовых караган-чокракских отложений Чеченской Республики обладают высоким тепловым потенциалом, что обосновывает перспективность их разработки путем строительства геотермальных циркуляционных систем.

2. На основании структурной карты основного продуктивного пласта и трехмерной карты распределения температур в пределах Ханкальского месторождения термальных подземных вод, разработанных с помощью методов геостатистики, показана значимость структурно-тектонического фактора и движения подземных вод в формировании температурного режима территории, установлена закономерность повышения температуры с северо-востока на юго-запад.

3. По результатам математического моделирования обратной закачки на Ханкальском месторождении термальных подземных вод прогнозируется постепенное снижение температуры в продуктивной скважине через 5–6 лет эксплуатации. Установлено, что оптимальная дистанция между забоями скважин дублетной циркуляционной системы для достижения устойчивости в эксплуатации ресурса составляет более 750 м. Показано, что выбор месторасположения забоев продуктивной и нагнетательной скважин на территории Ханкальского месторождения термальных подземных вод должен производиться с учетом двух главных тектонических нарушений и естественного движения вод от зоны питания к зоне разгрузки.

4. Восстановление температуры в добывающей скважине при непрерывной 50-летней эксплуатации Ханкальского месторождения термальных подземных вод (расстояние между забоями скважин дублетной циркуляционной системы – 450 м) с учетом естественного потока подземных вод прогнозируется через 113.5 лет после остановки разработки. Без естественного движения подземных вод температура восстанавливается на 56.4% через 150 лет.

5. С учетом различных вариантов эксплуатации, в случае снижения температуры в продуктивной скважине до недопустимо низкой отметки рекомендуется установка нескольких дублетных циркуляционных систем различных продуктивных пластов и периодическая их эксплуатация.

Благодарности

Большую помощь при проведении настоящего исследования оказали к.г.-м.н. С.В. Черкасов, Ph.D. Шанталь де Фуке, Ph.D. Эммануэль Леду. В ходе работы автор пользовался консультациями и всесторонней поддержкой д.г.-м.н., профессора М.А. Камалетдинова, главного геолога Центра МСНР ФГУГП «Гидроспецгеология» С.В. Святовца. Завершению диссертационного исследования способствовали постоянное внимание к работе научных руководителей д.г.н., профессора А.М. Гареева и Ph.D. Патрика Гобле. Всем названным ученым автор выражает глубокую признательность.

Список основных публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Фархутдинов, А. М.** История открытия и разработки Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод / **А. М. Фархутдинов**, И. М. Фархутдинов, Р. А. Исмагилов // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Том 19, № 1. – С. 93-96.
2. Гареев, А. М. Современное состояние и перспективы использования теплоэнергетических вод Российской Федерации (на примере Ханкальского месторождения) / А. М. Гареев, **А. М. Фархутдинов**, И. М. Фархутдинов, С. В. Черкасов // Вестник Башкирского университета. – 2014. – Том 19, № 3. – С. 887-892.
3. **Фархутдинов, А. М.** Применение геостатистики для анализа перспектив эксплуатации Ханкальского месторождения теплоэнергетических вод / **А. М. Фархутдинов**, Ш. де Фуке, М. Ш. Минцаев, С. В. Черкасов // Геоинформатика. – 2015. – № 1. – С. 60-68.
4. **Фархутдинов, А. М.** Перспективы использования теплоэнергетических вод Чеченской Республики на базе опыта аналогичных работ

во Франции (Парижский бассейн) / **А. М. Фархутдинов**, Р. А. Исмагилов, И. М. Фархутдинов, С. В. Черкасов, М. Ш. Минцаев // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 398. – С. 257-264.

5. **Фархутдинов, А. М.** Геотермальные воды: экологические аспекты эксплуатации Ханкальского месторождения (Предкавказская горная зона) / **А. М. Фархутдинов** // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Том 20, № 4. – С. 102-108.

Статьи в журналах, индексируемых базой данных Web of Science

6. **Farkhutdinov, A.** A case study of the modeling of a hydrothermal reservoir: Khankala deposit of geothermal waters / **A. Farkhutdinov**, P. Goblet, C. de Fouquet, S. Cherkasov // Geothermics. – 2016. – Vol. 59. – pp. 56-66.

Статьи в журналах, индексируемых базой данных Scopus

7. **Farkhutdinov, A. M.** Computer modelling in geothermal waters reservoirs exploitation on the example of the Khankala deposit / **A. M. Farkhutdinov**, P. Goblet, S. V. Cherkasov // Ecology, Environment and Conservation. – 2015. – Vol. 21, Suppl. Issue. – pp. 87-91.

8. Cherkasov, S. V. The state and prospects for the utilization of geothermal resources in the Russian Federation / S. V. Cherkasov, T. G. Churikova, L. R. Bekmurzaeva, B. N. Gordeichik, **A. M. Farkhutdinov** // Ecology, Environment and Conservation. – 2015. – Vol. 21, Suppl. Issue. – pp. 67-77.

9. **Farkhutdinov, A.** The Use of Computer Modelling to Forecast the Sustainability in the Development of Geothermal waters Resource: Khankala Deposit Example / **A. Farkhutdinov**, P. Goblet, C. de Fouquet, R. Ismagilov, I. Farkhutdinov, S. Cherkasov // International Journal of Renewable Energy Research. – 2015. – Vol. 5, № 4. – pp. 1062-1068.

Статьи в научных журналах и изданиях

10. **Фархутдинов, А. М.** Перспективы использования геотермальных вод в Предкавказской предгорной зоне (Ханкальское месторождение) / **А. М. Фархутдинов**, И. М. Фархутдинов, Р. А. Исмагилов, С. В. Черкасов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2014. – Том 19, № 4. – С. 34-

Статьи и тезисы докладов в научно-тематических сборниках

11. **Фархутдинов, А. М.** Компьютерное моделирование в освоении резервуаров теплоэнергетических вод на примере Ханкальского месторождения / **А. М. Фархутдинов**, П. Гоблет, С. В. Черкасов // Материалы международной научно-практической конференции: «GEOENERGY», Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Грозный, 19 - 21 июня 2015. – 2015. – С. 224-233.

12. Черкасов, С. В. Состояние и перспективы использования геотермальных ресурсов в Российской Федерации / С. В. Черкасов, Т. Г. Чурикова, Л. Р. Бекмурзаева, Б. Н. Гордейчик, **А. М. Фархутдинов** // Материалы международной научно-практической конференции: «GEOENERGY», Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова, Грозный, 19 - 21 июня 2015. – 2015. – С. 303-322.

13. Заурбеков, Ш. Ш. Результаты проекта строительства пилотной геотермальной станции с циркуляционной схемой отбора тепла на Ханкальском месторождении Чеченской Республики / Ш.Ш. Заурбеков, М. Ш. Минцаев, С. В. Черкасов, А. А. Шаипов, М. М. Лабазанов, **А. М. Фархутдинов** // Материалы третьего международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности», Крым, г. Ялта, 17 - 19 ноября 2015. – 2015. – С. 123-136.

Тираж 100 экз. Заказ 876.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018