

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА

Проект итогового отчета

Подготовлен для Всемирного банка и Правительства Республики Казахстан

Декабрь 2018 года



ПРОЕКТ №: 18163001 / 18-0115	ОТЧЕТ №:	Требуется подтверждение	РАССЫЛКА: <input type="checkbox"/> ОТКРЫТА <input type="checkbox"/> ЗАКРЫТА <input checked="" type="checkbox"/> ПОДЛЕЖИТ СОГЛАСОВАНИЮ С ЗАКАЗЧИКОМ
	ВЕРСИЯ №:	1	
	ДАТА:	2018-11-31	
	СТРАНИЦ:	72	
	ЭКЗЕМПЛЯР ОВ:	1	

НАЗВАНИЕ ОТЧЕТА:  
Предварительный обзор геотермальных ресурсов Казахстана, Итоговый отчет

АВТОРЫ: Торлейкур Йоуханнессон, Гвюдни Аксельссон, Стейнунн Хауксдоттир, Карин Чатенай, Давид Ерн Бенедиктссон, Тобиас Б. Вайзенбергер	РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА: Торлейкур Йоуханнессон
---	---

ЗАКАЗЧИК: Всемирный банк Контроль: Митсунори Мотохаши	ПАРТНЕРЫ: Правительство Республики Казахстан Исландское агентство международного развития
--	---

ВИД ОТЧЕТА/СТАТУС:  
Проект итогового отчета для обзора клиента

ВЫДЕРЖКА:  
Исследование проводилось осенью 2018 года. Его цель заключалась в оценке потенциального использования геотермальных ресурсов Казахстана. Имеющиеся результаты анализа и данные о геотермальном потенциале страны указывают на наличие потенциально пригодных для использования геотермальных ресурсов, в частности в южных и юго-восточных регионах страны. В отчете представлен обзор имеющейся информации о геотермальных ресурсах Казахстана. В дополнение к этому, в отчете предлагается провести обзор возможностей по использованию геотермальных ресурсов страны.  
Основываясь на результатах этих обзоров, авторы подготовили два тематических исследования: Геотермальная система центрального отопления в городе Жаркенте и Бинарная силовая установка мощностью 10 МВт в Жаркентском бассейне, чтобы получить представление о технической и экономической целесообразности такого применения.  
И, наконец, Правительству в отчете дается ряд рекомендаций по последующим шагам возможного использованию геотермальных ресурсов в стране.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА (НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ): ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, ОСАДОЧНЫЙ БАССЕЙН, ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СКВАЖИНЫ, ЦЕНТРАЛЬНОЕ ОТОПЛЕНИЕ, БИНАРНЫЙ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАГРУЗКИ, ЗАТРАТЫ, ВЫПОЛНИМОСТЬ	КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА (НА ИСЛАНДСКОМ ЯЗЫКЕ):
---	---------------------------------------



ПОДПИСЬ РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА ^	ПРОВЕРИЛ:
--------------------------------	-----------

© Содержание настоящего отчета может быть скопировано полностью или частично, но источники должны быть указаны.

## Содержание

<b>Содержание</b> .....	<b>2</b>
<b>Перечень рисунков</b> .....	<b>2</b>
<b>Перечень таблиц</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Введение</b> .....	<b>4</b>
1.1 Общая информация .....	4
1.2 Цель и сфера .....	6
1.3 Настоящий отчет .....	6
<b>2 Геотермальные ресурсы в мире и оценка их потенциала</b> .....	<b>8</b>
2.1 Природа и классификация .....	8
2.2 Осадочные геотермальные системы .....	12
2.3 Оценка мощности геотермальных систем .....	14
<b>3 Геотермальные ресурсы Казахстана</b> .....	<b>17</b>
3.1 Общая информация и данные .....	17
3.2 Изучение геотермальных ресурсов Казахстана .....	17
3.3 Обзор потенциальных геотермальных ресурсов .....	18
3.4 Предыдущие оценки геотермального потенциала .....	20
<b>4 Осадочные геотермальные ресурсы в южных и юго-восточных регионах Казахстана</b> .....	<b>22</b>
4.1 Краткий обзор .....	22
4.2 Арыский подбассейн / Сырдарьинский бассейн .....	22
4.3 Алматинский осадочный подбассейн .....	25
4.4 Жаркентский осадочный бассейн .....	27
4.5 Устойчивая эксплуатация и обратная закачка .....	36
<b>5 Эксплуатация геотермальных ресурсов</b> .....	<b>38</b>
5.1 Возможность использования геотермальных вод .....	38
5.2 Производство геотермальной энергии .....	39
5.3 Производство электроэнергии на установках бинарного цикла .....	44
5.4 Прямое использование геотермальных ресурсов .....	51
5.5 Каскадное и комплексное использование геотермальных ресурсов .....	59
5.6 Перспективы: концепция «Парка геотермальных ресурсов» <sup>TM</sup> в Рейкьянесе (Исландия).....	60
<b>6 Тематические исследования по использованию геотермальных ресурсов в Жаркентском бассейне</b> .....	<b>62</b>
6.1 Местные погодные условия .....	62
6.2 Центральное отопление в Жаркенте .....	64
6.3 Производство электроэнергии на установках бинарного цикла .....	68
<b>7 Рекомендации по способам использования геотермальных ресурсов</b> .....	<b>70</b>
7.1 Выгоды .....	70
7.2 Барьеры .....	70
7.3 Рекомендации .....	72
<b>8 Выводы</b> .....	<b>74</b>
<b>Список использованной литературы</b> .....	<b>75</b>

<b>Перечень рисунков</b>	
Рисунок 1 - Карта Казахстана .....	5
Рисунок 2 - Схематические рисунки трех основных видов геотермальных систем (А, В и С) вместе с их типичными температурными профилями. Обратите внимание на то, что вертикальный масштаб для вида С преувеличен. ....	11
Рисунок 3 - Типичные исторические данные по добыче и уровню воды в осадочной геотермальной системе в период эксплуатации без обратной закачки (Аксельссон Г.С., 2005 год). ....	14
Рисунок 4 - Основные глубокие осадочные бассейны Казахстана (Ассоциация KazEnergy, 2015 год) .....	19
Рисунок 5 - Геотермальный атлас Казахстана [А]. ....	20
Рисунок 6 - Карта Сырдарьинского бассейна и реки Арыс в Южном Казахстане. ....	23
Рисунок 7 - Границы геотермального артезианского бассейна в пределах Арысского подбассейна на юго-востоке Казахстана (Источник: (Касымбеков, 2006 год)) .....	24
Рисунок 8 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Арысского бассейна в юго-восточном Казахстане [Е]. ....	24
Рисунок 9 - Границы геотермального артезианского бассейна в пределах Алматинского и Жаркентского бассейнов на юго-востоке Казахстана (Источник: (Касымбеков, 2006 год)) .....	26
Рисунок 10 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Алматинского бассейна в юго-восточном Казахстане [Е]. ....	27
Рисунок 11 - Структурная карта Жаркентского бассейна .....	29
Рисунок 12 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии I с Рисунка 11. ....	30
Рисунок 13 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии II с Рисунка 11. ....	30
Рисунок 14 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии II с Рисунка 11. ....	31
Рисунок 15 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Алматинского бассейна в юго-восточном Казахстане [Е]. ....	32
Рисунок 16 - Результаты температурного каротажа и геотермический градиент, рассчитанный для скважин 1-Г, 3-Ги 6-Г в Жаркентском подбассейне (Источник: (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год)) .....	33
Рисунок 17 - Результаты температурного каротажа и геотермический градиент, рассчитанный для скважин 1-ТП, 1-Т и 5-Т в Жаркентском подбассейне (Источник: (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год)) .....	34
Рисунок 18 - Визуализация температурных условий скважин в Жаркентском подбассейне на графике зависимости температуры в устье скважины от глубины скважины. ....	35
Рисунок 19 - Извлекаемая тепловая энергия с км <sup>2</sup> , представленная как функция пластовой температуры .....	36
Рисунок 20 - Эксплуатация геотермальных ресурсов (адаптировано из диаграммы Линдала) .....	38
Рисунок 21 - Добыча геотермальной жидкости из коллектора .....	40
Рисунок 22 - Блок-схема типичного органического цикла Ренкина .....	46
Рисунок 23 - Бинарная установка и геотермальная система производства электроэнергии .....	47
Рисунок 24 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 150°C .....	48
Рисунок 25 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 125°C .....	48
Рисунок 26 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 100°C .....	49
Рисунок 27 - Основные компоненты системы геотермального центрального отопления .....	52



Рисунок 28- Затраты на монтаж, массовый расход и рациональное расстояние транспортировки для магистральной двухтрубной системы.....	53
Рисунок 29 - Вид улицы в центре города Жаркента .....	54
Рисунок 30- Рыбоводство в Жаркентском Бассейне.....	58
Рисунок 31 - Температурный профиль Жаркента .....	62
Рисунок 32 - Температурный профиль Жаркента .....	63
Рисунок 33 - График нагрузки системы отопления по продолжительности .....	64
Рисунок 34 - Центральный тепловой пункт системы центрального отопления в Жаркенте .....	65

## Перечень таблиц

Таблица 1 - Классификации геотермальных систем по температуре, энтальпии и физическому состоянию.....	8
Таблица 2 - Оценки энергосодержания в осадочных бассейнах Казахстана для диапазона температур ресурсов выше 40°C по данным (Богуславский, 1999 год). .....	21
Таблица 3 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Арыском подбассейне.....	25
Таблица 4 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Алматинском подбассейне.....	27
Таблица 5 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Жаркентском бассейне .....	32
Таблица 6 - Геотермальные скважины .....	41
Таблица 7- Обзор затрат на бурение.....	43
Таблица 8 - Капитальные затраты на освоение месторождения в осадочном бассейне. Стандартная стоимость дублета .....	43
Таблица 9 - Температура геотермальных вод, подводимое количество тепла и чистая выходная мощность .....	47
Таблица 10 - Тепло и энергия на центральном тепловом пункте в Жаркенте .....	66
Таблица 11 - Предварительные капитальные затраты на предлагаемую геотермальную систему центрального отопления в Жаркенте .....	66
Таблица 12 - Ежегодные эксплуатационные затраты предлагаемой геотермальной системы центрального отопления в Жаркенте.....	67
Таблица 13- Предварительные капитальные затраты на предлагаемую геотермальную силовую установку мощностью 10 МВт в Жаркентском бассейне .....	68
Таблица 14 - Ежегодные эксплуатационные затраты геотермальной силовой установки мощностью 10 МВт в Жаркентском бассейне .....	69



# 1 Введение

Настоящий документ является итоговым отчетом по «Предварительному обзору геотермальных ресурсов Казахстана» («Исследование»). Проведение проекта было поручено проектной группе из Исландии («Консультанты») под руководством старших научных сотрудников и инженеров из проектной фирмы «Verkís» и научно-исследовательского института «Iceland GeoSurvey» (ÍSOR). При выполнении своей работы эти старшие консультанты привлекали экспертов из компаний, специализирующихся на конкретных вопросах, связанных с тематикой Исследования.

Исследование проводилось для Всемирного банка (ВБ) при посредничестве Управления международного сотрудничества в области развития (ICEIDA) Министерства иностранных дел Исландии (IMFA) в рамках технической поддержки IMFA, оказываемой Всемирному банку и его клиентам по требованию. В данном случае клиентом ВБ является Правительство Республики Казахстан (ПРК).

Основные цели Исследования заключались в:

- I. проведении анализа имеющейся информации о геотермальных ресурсах Казахстана;
- II. оценке технически и экономически целесообразных вариантов их использования; и
- III. подготовке рекомендаций для Правительства по последующим шагам, направленным на возможное использование геотермальных ресурсов в будущем, насколько это может быть применимо.

## 1.1 Общая информация

Казахстан входит в число 10 наиболее энергоемких экономических систем в мире, главным образом вследствие:

- I. высокого вклада энергоемких отраслей в ВВП, включая энергетический и добывающий сектор;
- II. низкой энергоэффективности в ключевых энергопотребляющих секторах; и
- III. неблагоприятных климатических условий.

Сектор централизованного теплоснабжения является основным потребителем энергии в Казахстане, а отсутствие инвестиций сделало этот сектор одним из самых энергоемких в стране.

Энергетическая бедность остается проблемой для Казахстана, где 67% домохозяйств в сельских районах все еще используют уголь в качестве основного вида топлива для отопления. Несмотря на относительно низкие цены на энергоносители и изобилие энергетических ресурсов многие домохозяйства не могут позволить себе воспользоваться соответствующими энергетическими услугами вследствие неравенства доходов, высокого спроса на услуги теплоснабжения и энергетической неэффективности. Кроме того, уголь и твердое топливо, используемые для отопления, загрязняют воздух в помещениях и создают серьезную угрозу для здоровья.

Руководство Казахстана поставило амбициозные цели и приняло политические меры, направленные на развитие возобновляемых источников энергии с акцентом на расширении использования возобновляемой энергии. Они включают целевые показатели, которые предусматривают доведение доли возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии до:

- 3% к 2020 году;
- 30% к 2030 году; и
- 50% к 2050 году.

Целевые показатели и политика в отношении отопления жилых домов имеют не меньшее значение (Всемирный банк, 2018 год). Кроме того, в Казахстане принято несколько

политических мер, направленных на поддержку инвестиций в проекты производства возобновляемой энергии.

Известно, что Казахстан располагает значительными низкотемпературными геотермальными ресурсами, которые находятся главным образом в слоях осадочных пород. Эта информация была получена при исследовании глубоких скважин, пробуренных в основном при разведке на нефть и/или газ, но выкрывших термальные воды. Проявления на поверхности (горячие источники) также являются свидетельством наличия таких ресурсов. Кроме того, имеются параллели между геологическими условиями (глубокие осадочные бассейны) в некоторых регионах Казахстана и геологическим строением осадочных бассейнов в других частях мира, где широко используются низкотемпературные геотермальные воды, например, в Восточной Европе и Китае. Информация о геотермальных ресурсах Казахстана в международной научно-технической литературе очень ограничена, но имеется гораздо больше публикаций на казахском и, главным образом на русском языке.

Низкотемпературные геотермальные ресурсы пригодны для центрального теплоснабжения и других видов прямого применения, таких как использование в промышленности, бальнеологии и т.д. Учитывая тот факт, что население Казахстана испытывает высокую потребность в надлежащих и стабильных услугах теплоснабжения, имеется возможность оценить потенциал и характеристики геотермальных энергетических ресурсов Казахстана и определить, можно ли их использовать, а если да, то выяснить, каким образом они могут использоваться для удовлетворения некоторых энергетических потребностей домохозяйств. Горячие источники и горячая вода из скважин уже используются в некоторых областях Казахстана в прямых целях, однако в очень ограниченных масштабах.

В Казахстане геотермальные системы были открыты на западе, юге и в центральных регионах страны. Обычно они располагаются в осадочных бассейнах, возраст которых находится в диапазоне от мезозоя до кайнозоя. Часть имеющейся информации была получена в результате изучения скважин, пробуренных в целях изучения геотермальных вод, при этом, как было сказано выше, нефтегазопоисковые работы также являются хорошим источником информации о геотермальных ресурсах.

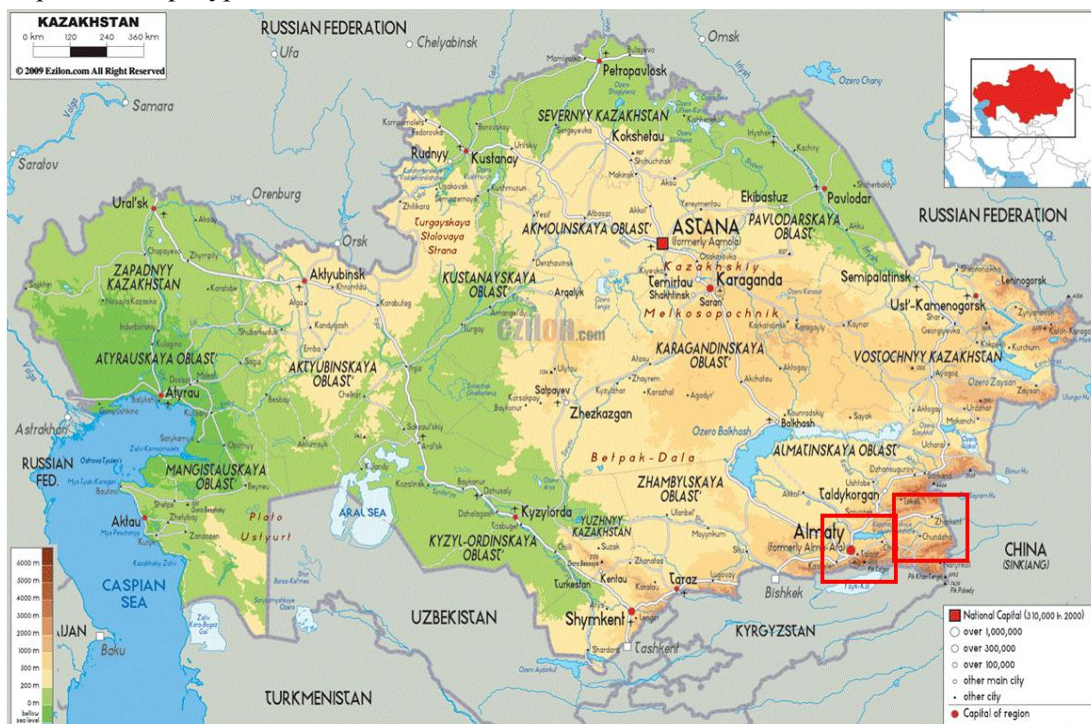


Рисунок 1 - Карта Казахстана

На Рисунке 1 показаны Алматинский и Жаркентский подбассейны Илийского бассейна в юго-восточной части страны. Эти геотермальные зоны находятся в центре внимания Исследования.

В некоторых системах температуры находятся в диапазоне от температуры окружающего воздуха до 150°C на глубинах до 4 500 м. В некоторых местах скважины фонтанируют, тогда как в других местах воду для использования требуется откачивать. Соленость (содержание растворенных химических веществ) геотермальных жидкостей в Казахстане высоко вариабельна и находится в диапазоне от гипергалинных рассолов с содержанием растворенных веществ до 200 000 мг/кг до довольно разбавленных жидкостей с содержанием растворенных веществ приблизительно 1 000 мг/кг. Самые мягкие геотермальные жидкости в плане содержания химических веществ находятся в залежах Илийского бассейна и его подбассейнов, Алматинского и Жаркентского бассейнов, которые являются основными объектами настоящего Исследования.

## 1.2 Цель и сфера

Сфера Исследования включает анализ имеющейся информации о геотермальных ресурсах Казахстана с акцентом на Илийском бассейне и его подбассейнах, Алматинском и Жаркентском бассейнах, в Южном Казахстане. С учетом ограничений, связанных с наличием соответствующих данных, Исследование направлено на проведение оценки: температуры воды, характеристик коллектора (размер, форма, производительность, уровень воды), технико-экономической целесообразности использования ресурсов для отопления и других видов прямого использования или производства электроэнергии.

Поэтому перед Исследованием было поставлено три основные цели:

- анализ имеющейся информации о геотермальных ресурсах Казахстана;
- оценка технически и экономически выполнимых вариантов их использования; и
- выработка рекомендаций для Правительства в отношении соответствующих последующих шагов.

Таким образом, в сферу Исследования входят Алматинский и Жаркентский подбассейны Илийского бассейна, которые упоминались выше. После выезда на места в Казахстане, который проходил 15 - 19 октября 2018 года, было решено сконцентрировать усилия на Жаркентском подбассейне, который планируется использовать в качестве пилотного примера или объекта учебного исследования.

Особое внимание также уделялось прямому использованию низкотемпературных вод, например, для отопления жилых домов, тогда как высокотемпературные ресурсы рассматривались на предмет маломасштабного производства электроэнергии.

Дополнительная информация относительно цели и проведения Исследования представлена в первоначальном отчете (Verkís, ÍSOR, 2018 год).

## 1.3 Настоящий отчет

В настоящем отчете представлены основные результаты Исследования. Сначала в нем приводится общая информация о геотермальных ресурсах во всем мире, а затем анализируется имеющаяся информация о геотермальных ресурсах Казахстана. В следующей главе более конкретно рассматриваются геотермальные ресурсы Южного и Юго-Восточного Казахстана, при этом особое внимание уделяется Жаркентскому подбассейну. Затем в отчете рассматриваются общие аспекты использования геотермальных вод с акцентом на прямом использовании и связанных технологиях наземных работ. После этого общего введения представлен базовый технологический и финансовый анализ гипотетического использования ресурсов Жаркентского подбассейна, за которым следует рассмотрение других аспектов реализации вариантов использования геотермальных вод, включая экологическое и социально-экономическое воздействие. Отчет завершается кратким изложением результатов





Исследования, а также комплексными рекомендациями по предстоящим мероприятиям, направленным на успешное крупномасштабное использование геотермальных ресурсов Казахстана.

## 2 Геотермальные ресурсы в мире и оценка их потенциала

### 2.1 Природа и классификация

Геотермальная энергия происходит от восходящего теплового потока Земли, который порождается внутренним теплом Земного, оставшимся после ее создания, а также распадом радиоактивных изотопов в мантии и коре Земли. Геотермальные системы - это зоны в земной коре, в которых этот поток и связанное с ним накопление энергии являются аномально большими. В большинстве случаев теплоносителем является вода, и поэтому такие системы называются гидротермальными системами. Такие геотермальные ресурсы встречаются на планете повсюду.

Даже притом, что большинство геотермальных систем и наиболее высокая концентрация геотермальной энергии приурочены к границам тектонических плит, геотермальная энергия встречается в большинстве стран. Она концентрируется в вулканических регионах, но также встречается в виде теплых грунтовых вод в осадочных образованиях во многих местах по всему миру. В ряде случаев геотермальная энергия встречается в населенных или легкодоступных районах. Но геотермальная активность также наблюдается на больших глубинах на дне океанов, в горных регионах, под ледниками и шапками полярного льда. Многие геотермальные системы, вероятно, пока не открыты, поскольку большинство систем никак не проявляются на поверхности. Однако некоторые из них постепенно открываются. Повсеместно используются следующие основные определения (Аксельссон Г., Природа и оценка геотермальных ресурсов, 2016 год):

- Геотермальное месторождение - географическое определение, обычно указывающее на зону геотермальной активности на поверхности земли. В случае отсутствия поверхностных проявлений этот термин может использоваться для обозначения зон на поверхности, соответствующих геотермальным коллекторам, расположенным под ними.
- Геотермальная система относится ко всем частям рассматриваемой гидрологической системы, включая зону подпитки, все подземные части и зону оттока из системы.
- Геотермальный коллектор обозначает горячую и водопроницаемую часть геотермальной системы, которая может непосредственно эксплуатироваться. Для самопроизвольного излива геотермальный коллектор также должен находиться под давлением.

Геотермальные системы и коллекторы классифицируются по различным аспектам, таким как температура водоносного горизонта или энтальпия, физическое состояние, их природа и геологическое строение. В Таблице 1 (из работы Аксельссона Г., Природа и оценка геотермальных ресурсов, 2016 год) представлена классификация по первым трем аспектам.

Таблица 1 - Классификации геотермальных систем по температуре, энтальпии и физическому состоянию

<b>Низкотемпературные (НТ)</b> системы с температурой водоносного горизонта на глубине 1 км ниже 150°C. Часто характеризуются наличием источников с горячей или кипящей водой.	<b>Низкоэнтальпийные</b> геотермальные системы с энтальпией жидкости коллектора менее 800 кДж/кг, соответствующей температурам ниже 190°C.	Геотермальные коллекторы с <b>преобладанием жидкой фазы</b> и температурой воды, которая равна или ниже точки кипения, при преобладающем давлении и жидкой фазе, определяющих давление в коллекторе. Может присутствовать некоторое количество пара.
<b>Среднетемпературные (СТ)</b> системы		

**Высокотемпературные (НТ) системы с**

температурой водоносного горизонта на глубине 1 км более 200°C.

Характеризуются присутствием фумаролов, выбросов пара, грязевых луж и сильно измененных пород.

**Высокоэнthalпийные**

геотермальные системы с энтальпией жидкости коллектора более 800 кДж/кг

**Двухфазные** геотермальные коллекторы, в которых сосуществуют пар и вода, а температура и давление, следуют за кривой кипения.

Геотермальные коллекторы с **преобладанием паровой фазы** и температурой воды, равной или выше точки кипения, при преобладающем давлении и паровой фазе, определяющих давление в коллекторе. Может присутствовать некоторое количество жидкой воды.

Следует отметить, что в доступной литературе по геотермальным ресурсам никакая общая классификация не описывается, даже притом, что часто используется классификация, основанная на энтальпии. Кроме того, различные части геотермальных систем могут находиться в различных физических состояниях, а геотермальные коллекторы также могут переходить из одного состояния в другое. Например, коллектор с преобладанием жидкой фазы может превратиться в двухфазный коллектор, когда давление в системе понизится в результате эксплуатации. Паровые шапки в геотермальных системах также могут переходить в другое состояние вследствие снижения давления. В низкотемпературных системах всегда преобладает жидкость, а в высокотемпературных системах может преобладать жидкость или пар, или они могут быть двухфазными.

Геотермальные системы также классифицируются по природе и геологическому строению (взято из работы Аксельссона Г., Природа и оценка геотермальных ресурсов, 2016 год):

- A. В **конвективных трещинных системах** источником тепла является горячая кора на глубине в тектонически активных зонах с вышеупомянутым средним тепловым потоком. Здесь геотермальные воды циркулируют на значительных глубинах (> 1 км) главным образом по вертикальным трещинам и переносят тепло, отобранное у горной породы.
- B. **Вулканические системы** так или иначе связаны с вулканической деятельностью. Источниками тепла для таких систем являются горячие интрузии или магма. Они чаще всего расположены внутри или близко к вулканическим комплексам, таким как кальдеры и/или спрединговые центры. Водопроницаемые трещины и зоны сбросов в основном управляют потоком воды в вулканических системах.
- C. **Осадочные системы** встречаются во многих крупных осадочных бассейнах мира. Своим существованием эти системы обязаны водопроницаемым слоям осадочных пород, залегающим на больших глубинах (> 1 км), и геотермальным градиентам выше средних (> 30°C/км). По своей природе эти системы являются больше кондуктивными, чем конвективными, даже притом, что в некоторых случаях трещины и сбросы играют определенную роль. Однако некоторые конвективные системы (B) могут размещаться в осадочных породах.
- D. **Системы, находящиеся под аномально высоким пластовым давлением**, - это системы осадочных пород, аналогичные нефтегазоносным пластам, находящимся под аномально высоким давлением, где давление жидкости, запертой в стратиграфических ловушках, может достигать значений близких к литостатическому давлению. Такие системы обычно находятся довольно глубоко, следовательно, они относятся к категории геотермальных.

- Е. Системы на основе геотермальных пород (ГП) или усовершенствованные (спроектированные) геотермальные системы (УГС)** включают массивы породы, которые нагреваются до эксплуатационных температур за счет вулканической деятельности или аномально высокого теплового потока, но имеют низкую проницаемость или фактически непроницаемы. Поэтому их нельзя эксплуатировать обычным способом. Однако во многих местах были проведены эксперименты по использованию гидравлического разрыва пласта для создания искусственных коллекторов в таких системах или улучшения существующих сетей трещин. Такие системы будут применяться в основном с использованием эксплуатационных/нагнетательных дублетов.
- Ф. Подповерхностные ресурсы** относятся к тепловой энергии, аккумулированной близко к поверхности земной коры, которая частично образовалась за счет солнечного излучения. Недавние разработки в области применения геотермальных тепловых насосов привели к открытию нового измерения в использовании этих ресурсов.

См. Рисунок 2, на котором представлены эскизы трех основных видов: А, В и С.

Геотермальные системы конвективного типа (А) располагаются за пределами вулканической зоны в Исландии, на юго-западе Соединенных Штатов и на юго-востоке Китая, а также в некоторых других странах. Многочисленные вулканические геотермальные системы (В) встречаются, например, в Тихоокеанском вулканическом огненном кольце, в таких странах, как Новая Зеландия, Индонезия, Филиппины, Япония, Мексика и в Центральной Америке, а также в Восточно-Африканской зоне разломов и в Исландии. Осадочные геотермальные системы (С) встречаются, например, во Франции, Германии, Центральной и Восточной Европе и по всему Китаю. Типичные примеры систем, находящихся под аномально высоким пластовым давлением, (D) встречаются в северной части бассейна Мексиканского залива в США и на юго-востоке Венгрии. Ранний проект Фентона Хилла в Нью-Мексико (США) и проект Шульца на северо-востоке Франции, который в настоящее время находится на этапе пилотной демонстрации после двух десятилетий интенсивных исследований и тестирования, являются известными проектами систем с использованием геотермальных пород (ГП) или усовершенствованных (спроектированных) геотермальных систем (УГС) (Е). Подповерхностные ресурсы (F) встречаются по всему миру.

(Саемундссоон, 2009 год) рассматривает классификацию и геологическое строение геотермальных систем более подробно, чем это сделано здесь. Он предлагает дальнейшее деление, преимущественно на основе тектонического строения, вулканической ассоциации и геологических формаций. Например, вулканические геотермальные системы (А) подразделяются на системы, ассоциированные с вулканизмом в рифтовых зонах (на границе расхождения плит), с вулканизмом горячей точки и вулканизмом зоны субдукции (на границе схождения плит). Читатель отсылается к этому источнику для получения более подробной информации.

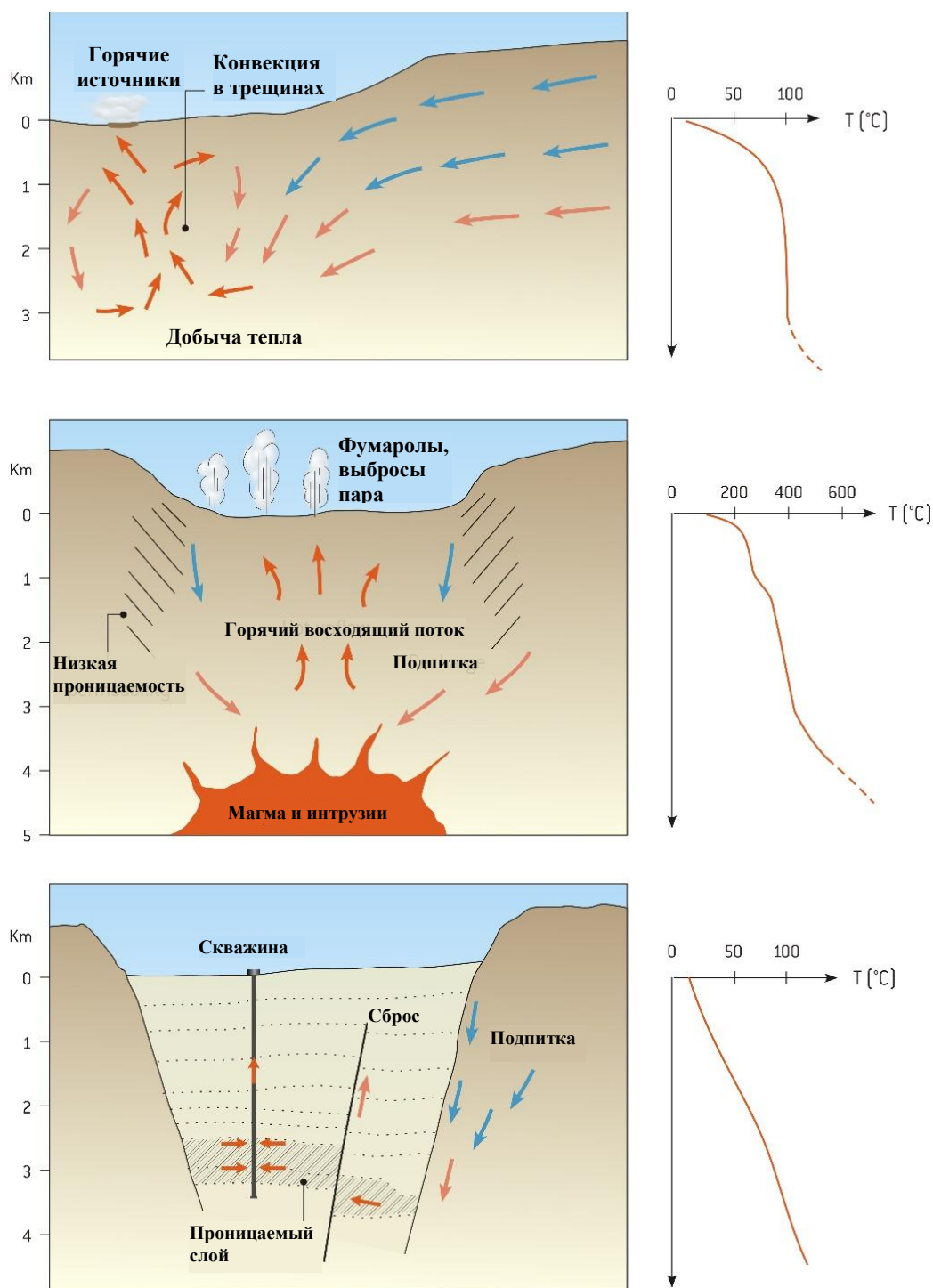


Рисунок 2 - Схематические рисунки трех основных видов геотермальных систем (А, В и С) вместе с их типичными температурными профилями. Обратите внимание на то, что вертикальный масштаб для вида С преувеличен.

Потенциал геотермальных ресурсов Земли огромен по сравнению с его нынешним использованием и с будущими потребностями человечества в энергии. Согласно оценке (Стефанссона, 2005 год), технически реализуемый потенциал установленных геотермальных ресурсов по генерированию электрической энергии составляет 240 ГВт (1 ГВт = 109 Вт), которые, вероятно, составляют только небольшую часть скрытых или пока еще неустановленных ресурсов. Он также отмечает, что наиболее вероятный потенциал прямого использования более низкотемпературных ресурсов (<150°C) составляет 140 ЭДж/год (1 ЭДж = 10<sup>18</sup> Дж). Однако на данном этапе развития знаний и технологий полный геотермический

потенциал Земли точно оценить невозможно. Даже притом, что в последние годы использование геотермальной энергии растет быстрыми темпами, оно пока ничтожно по сравнению с потенциалом Земли. Согласно оценкам Бертани [4], в 2010 году мировая установленная геотермальная электрогенерирующая мощность составляла около 10,7 ГВт, а согласно оценкам (Лунда, 2010 год) в 2009 году прямое использование геотермальных ресурсов составило 438 ПДж/год (1 ПДж =  $10^{15}$  Дж). (Фридлейфссон, 2008 год) рассчитал, что к 2050 году электрогенерирующая мощность может достичь 70 ГВт, а прямое использование составит 5,1 ЭДж/год. Поэтому на ближайшее будущее имеются достаточные резервы для более широкого использования геотермальных ресурсов во всем мире.

Ключом к успешной разведке, разработке (включая бурение) и эксплуатации любого вида геотермальных систем является четкое определение и понимание природы и характеристик рассматриваемой системы. Это может быть достигнуто посредством разработки концептуальной модели системы, которая является описательной или качественной моделью, включающей и объединяющей существенные физические свойства системы (Аксельссон Г. Концептуальные модели геотермальных систем - Введение., 2013 год). Концептуальные модели основаны главным образом на анализе геологической и геофизической информации, температуры и данных о давлении, информации о свойствах коллектора, а также информации о химическом составе пластовых флюидов. Кроме того, данные мониторинга, отражающие изменения в коллекторе во время долгосрочной эксплуатации, помогают при пересмотре концептуальных моделей после их разработки.

Концептуальные модели должны объяснять природу источника тепла для рассматриваемого коллектора и местоположение зон пополнения и основных каналов потока, общую схему потока в коллекторе, а также температуру и давление в пласте. Кроме того, комплексная концептуальная модель должна давать оценку размера рассматриваемого коллектора. Особое значение имеет сотрудничество специалистов различных направлений, участвующих в геотермальных научных исследованиях и разработках.

Концептуальные модели являются необходимой основой планов освоения месторождений, т.е. выбора мест размещения и целевых показателей скважин, которые планируется пробурить, и в конечном счете основой для всех оценок геотермальных ресурсов, в частности объеметрических оценок и геотермального моделирования коллекторов, используемого для оценки мощности по выработке электроэнергии геотермальной системой. Первоначально в концептуальной модели используются главным образом данные наземных исследований, но после бурения первых скважин будут получены системные геологические данные, что расширит знания о геотермальной системе. Наиболее важными являются данные о зоне питания, данные термометрии и данные по испытанию скважин. По мере получения дополнительных данных и информации во время разведки, разработки и использования геотермальной системы следует непрерывно пересматривать и дорабатывать концептуальные модели.

## 2.2 Осадочные геотермальные системы

Геотермальные ресурсы и связанные коллекторы в Казахстане относятся главным образом к категории осадочных (С). Глубокие осадочные бассейны, в которых размещаются такие системы, широко распространены в континентальных регионах мира. В некоторых случаях они используются в течение ряда десятилетий, поэтому накоплен значительный опыт их разведки, применения соответствующей технологии бурения и долгосрочной устойчивой эксплуатации. Наиболее известными осадочными геотермальными ресурсами в мире являются следующие:

- Парижский бассейн во Франции, который используется приблизительно с 1970 года [Лопес, 2010 год].
- Северно-германский бассейн наряду с осадочными геотермальными ресурсами в Бельгии, Нидерландах и Дании.

- Моласский бассейн в Южной Германии.
- Очень обширный Паннонский бассейн, который охватывает большую часть Венгрии и простирается на соседние страны, включая Словакию, Польшу, Румынию и Хорватию.
- Они широко распространены в обширных осадочных бассейнах Китая, в частности на северо-востоке Китая.

Этот перечень не является исчерпывающим, поскольку он включает регионы, где уже происходит крупномасштабное использование геотермальных ресурсов. Несомненно, осадочные геотермальные ресурсы имеются и в других континентальных регионах, например, в Центрально-Азиатском, Северо-Американском и Южно-Американском.

В осадочных бассейнах температура повышается приблизительно линейно с глубиной в соответствии с местным температурным градиентом, поскольку теплопередача происходит главным образом за счет теплопроводности. Поэтому эксплуатационно-пригодные осадочные ресурсы обязаны своим существованием достаточной проницаемостью пород пласта на глубине, где температура достаточно высокая.

Водопроницаемые осадочные слои обычно состоят из песчаника или карбонатных пород и известняка или доломита. Характер проницаемости этих двух видов горных пород очень различается. Проницаемость песчаника обеспечивается интергранулярными линиями тока в промежутках между частицами песка, тогда как проницаемость карбонатных пород связана с наличием трещин (довольно сильно различающихся по размерам), часто окаристованных в различной степени. Толщина слоев осадочных пород в осадочных бассейнах довольно сильно различается и может находиться в диапазоне от нескольких километров или меньше до более чем 10 км. Часто слои песчаника залегают над более глубокими слоями карбонатных пород. Слои песчаника обычно разделяются многочисленными маловодопроницаемыми слоями глины.

Температура осадочного геотермального коллектора определяется главным образом его глубиной в силу его кондуктивного характера. Средний температурный градиент в осадочных регионах составляет около 20 - 40°C/км, но в некоторых регионах аномалии теплового потока в коре (вызванные тектонической активностью, утончением коры и т.д.) могут привести к повышению градиента и, следовательно, пластовой температуры. В подповерхностных (~ 500 - 1 000 м) осадочных слоях температура воды может составлять всего 20 - 30°C, чего достаточно для использования геотермального теплового насоса (ГТН), тогда как в более глубоких (~2 - 4 км) слоях температура воды может даже превышать 100°C. Такая вода может использоваться для прямого обогрева помещений.

Осадочные геотермальные системы обычно простираются на очень больших площадях (тысячи или десятки тысяч км<sup>2</sup>), что намного больше площадного распространения других геотермальных систем. Вследствие этого, а также по причине часто большой глубины залегания естественное пополнение запасов воды ограничено. Таким образом, их можно отнести к категории закрытых геотермальных системы, в которых уровень воды в фазе непрерывно уменьшается при чистом оттоке массы, поскольку полный отбор из рассматриваемой системы намного превышает ограниченное пополнение (Аксельссон Г.С., 2005 год). Это хорошо видно на примере, представленном на Рисунке 3. Несмотря на недостаток воды слои осадочных пород содержат огромное количество тепловой энергии, которая может быть извлечена посредством обратной закачки отработанной воды. Исключениями из этих закрытых систем являются некоторые карбонатные водоносные коллекторы, включенные в слои, которые связаны с площадями инфильтрации (выходом на поверхность) на близлежащих холмах или горах.

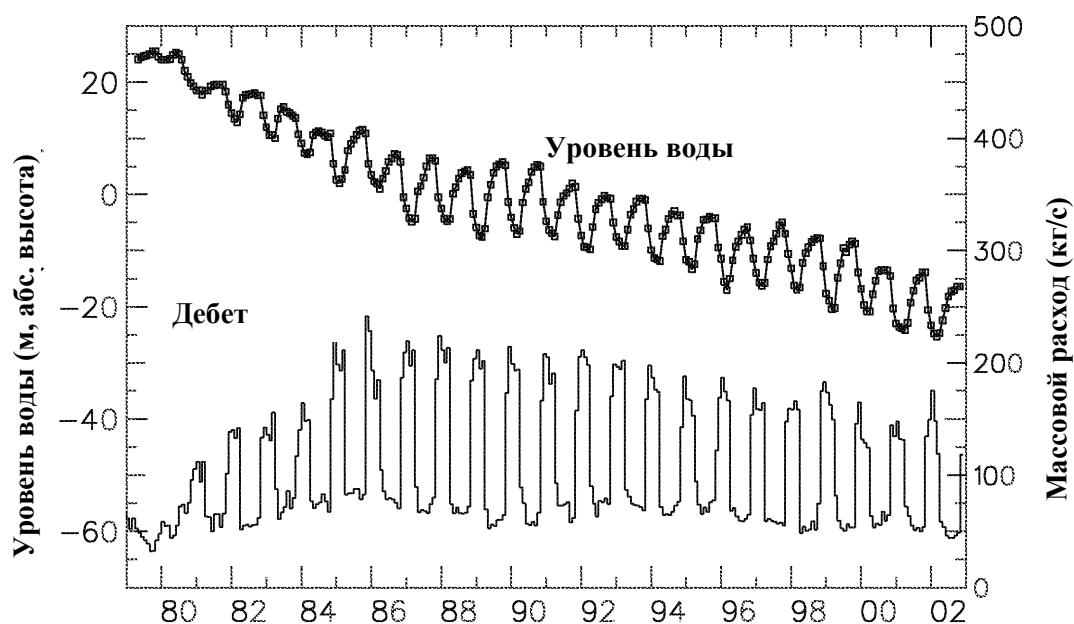


Рисунок 3 - Типичные исторические данные по добыче и уровню воды в осадочной геотермальной системе в период эксплуатации без обратной закачки (Аксельссон Г.С., 2005 год).

Вследствие большого площадного распространения большинства осадочных геотермальных ресурсов в одной геотермальной системе различным разработчикам может быть предоставлено несколько концессий на эксплуатацию. Это в конечном счете создаст проблемы, поскольку добыча по одной концессии приведет к снижению уровня воды в зонах других концессий, расположенных поблизости, и наоборот. В таких ситуациях для обеспечения долгосрочного устойчивого использования геотермальных ресурсов следует применять комплексное управление ресурсами. Его наиболее значимые аспекты включают:

- улучшенный мониторинг извлечения массы и изменения пластового давления (изменения уровня воды и температуры);
- ограничение добычи посредством инициатив и нормативно-правовых актов правительства;
- предоставление исключительных прав опытным и ответственным компаниям;
- применение обратной закачки (которая ограничивает взаимное воздействие концессий, если она приближается к 100%).

### 2.3 Оценка мощности геотермальных систем

Мощность гидротермальных систем по производству энергии определяется главным образом падением пластового давления, связанным с добычей горячей воды и производством пара, которые в свою очередь определяются размером геотермального коллектора, его проницаемостью, вместимостью коллектора, пополнением жидкости и геологической структурой. В более общем смысле мощность геотермальных систем также определяется энергосодержанием, которое определяется размером и температурными условиями (энтальпией в случае двухфазового состояния). Моделирование играет ключевую роль в понимании природы геотермальных систем и является самым мощным инструментом для прогнозирования их реакции на будущую добычу, которая используется для оценки их производственной мощности (Аксельссон Г.С., 2005 год). Также модели являются обязательной частью системы управления геотермальными ресурсами во время их эксплуатации.



В дополнение к объемметрическому методу оценки (статическому моделированию) используются различные методы динамического моделирования, которые являются основными методами моделирования геотермальных коллекторов и оценки ресурсов, включая простое аналитическое моделирование, моделирование с сосредоточенными параметрами или детальное численное моделирование. Полное понимание природы и свойств геотермальных ресурсов, достигаемое в результате проведения комплексных междисциплинарных исследований, а также надежной и точной оценки их производственной мощности при помощи моделирования являются абсолютно необходимым предварительным условием для устойчивого использования геотермальных ресурсов.

Как уже было сказано, объемметрический метод является основным методом статического моделирования. Он представлен и подробно рассмотрен (Сармьенто, 2013 год). Он часто используется на первом этапе оценки, когда данные ограничены, и обычно использовался в прошлом, но в некоторых странах пока остается основным методом оценки. Он используется все более широко, хотя и совместно с методом Монте-Карло, который позволяет включить общую неопределенность в результаты. Главный недостаток объемметрического метода заключается в том, что не учитывает динамическую реакцию коллектора на добычу, например, изменение давления и эффект пополнения жидкости. У коллекторов с одинаковым теплосодержанием может быть различная проницаемость и пополнение и, следовательно, совсем другой потенциал производственной мощности.

Объемметрический метод основан на оценке общего количества тепла, аккумулированного в некотором объеме горных пород (относительно некоторой базовой температуры), как тепловой энергии в материнской породе, так и в воде/паре, находящейся в порах. При использовании объемметрического метода вероятная площадь поверхности и толщина геотермального ресурса первоначально оцениваются на основе геофизических и геологических данных, а затем также с использованием данных по скважинам. Следовательно, вероятные температурные условия принимаются на основе химических исследований и температурных данных по скважинам, при их наличии. На их основе этих данных, оценок пористости коллектора и тепловых свойств воды и породы рассчитывается полное энергосодержание. В расчетах можно предположить, что температура коллектора является примерно постоянной, различается в разных частях коллектора или составляет определенную часть кривой кипения при преобладающем давлении. Используемая номинальная температура является базовой температурой процесса выработки энергии (обогрев помещений, производство электроэнергии и т.д.).

Можно ожидать, что только относительно небольшая часть полного энергосодержания в системе, будет извлечена или получена в течение периода эксплуатации продолжительностью в несколько десятилетий. Эта часть рассчитывается при помощи двух коэффициентов. Первый, так называемая доступность с поверхности (A), определяет долю объема пласта, к которой можно получить доступ посредством бурения с поверхности. Второй, коэффициент отдачи (R), указывает, какая часть доступной энергии может быть технически извлечена. Коэффициент отдачи является параметром, используемым в объемметрическом методе, который наиболее сложно рассчитать. Результаты объемметрической оценки также сильно зависят от этого коэффициента. Он зависит от природы системы; проницаемости, пористости, размеров трещин, пополнения, а также способа добычи, т.е. применяется ли обратная закачка. Он также в некоторой степени зависит и от продолжительности эксплуатации. (Уильямс, 2007 год) представил хороший анализ расчета коэффициента отдачи, который, как часто считается, находится в диапазоне от 0,05 до 0,25. В последние годы исследователи стали более консервативными при выборе коэффициента отдачи, чем в прошлом на основе опыта долгосрочной эксплуатации многочисленных геотермальных систем по всему миру.

Для прямого использования тепловая мощность рассчитывается посредством деления расчетной извлекаемой тепловой энергии на рассматриваемый период эксплуатации. Для расчета электрогенерирующей мощности (полного энергосодержания или энергетического потенциала) на основе извлекаемой энергии используется соответствующий коэффициент



преобразования. Он должен включать преобразование тепловой энергии в механическую энергию, а затем механической энергии в электрическую энергию. КПД зависит от температуры ресурса, используемого процесса генерирования (обычная паровая турбина, генерирование с бинарным циклом и т.д.) и исходной температуры.

Объемометрический метод может применяться для расчета отдельных геотермальных коллекторов, целых геотермальных систем или на региональном уровне, т.е. для целой страны. В различных отчетах и документах объемометрический метод или его варианты использовались в той или иной мере для общей оценки потенциала геотермальных ресурсов Казахстана. Он также использовался Консультантами в этой работе, в частности для Жаркентского подбассейна. Для отдельных систем обычно применяется метод Монте-Карло. Он заключается в распределении вероятностей между различными параметрами уравнений, представленных выше, и оценке потенциала системы с вероятностью.

Следует подчеркнуть, что объемометрический метод не применим для расчета долгосрочной (устойчивой) производственной мощности геотермальных систем. Это связано с ограничениями, упомянутыми выше, главным из которых является то, что этот метод не учитывает динамическую реакцию геотермальных систем в период эксплуатации. Таким образом, результаты объемометрической оценки следует считать лишь ориентировочными. Также следует обратить внимание на нижний предел результатов метода Монте-Карло, который часто называется значением P95 или P90, а не средним результатом или верхним пределом.

Поскольку объемометрический метод не достаточен для расчета полной мощности геотермального ресурса, результаты следует объединить с суммарной производительностью уже пробуренных скважин, чтобы спланировать первый этап освоения. Детальное численное моделирование обеспечит намного более точные расчеты производственной мощности.

## 3 Геотермальные ресурсы Казахстана

### 3.1 Общая информация и данные

Ключевая часть сферы данного Исследования заключается в проведении анализа имеющейся информации о геотермальных ресурсах Казахстана и соответствующих характеристиках и потенциале ресурсов. Считается, что Казахстан располагает значительными низкотемпературными геотермальными ресурсами, которые до настоящего времени используются лишь в очень ограниченной мере. Информация о геотермальных ресурсах Казахстана в международной научно-технической литературе очень ограничена, но имеется гораздо больше публикаций на казахском и, главным образом на русском языке.

Следующая информация и данные были предоставлены для этой работы или были найдены самими Консультантами:

- 1) Два больших отчета о геотермальном потенциале и его использовании в Казахстане, которые были опубликованы соответственно в 2006 и 2016 годах и предоставлены Министерством энергетики Республики Казахстан (МЭ). Перевод этих отчетов на английский язык был организован Всемирным банком.
- 2) Было предоставлено несколько более коротких документов, часть из которых неизвестного происхождения (главным образом через МЭ), после перевода с русского на английский язык.
- 3) Подробная информация о ряде скважин, включенных в отчеты 2006 и 2016 годов, которые указаны в 1). Эта информация была предоставлена на рабочих листах Excel, настроенных Консультантами и заполненных казахстанскими коллегами.
- 4) Международные документы и отчеты в литературе, которые были найдены в Интернете. Самой известной международной публикацией по геотермальному потенциалу Казахстана является работа (Богуславского, 1999 года), в которой описаны и количественно определены геотермальные ресурсы Казахстана (см. Раздел 3.2, в котором представлена дополнительная информация).

В Приложении А представлена информация об отчетах и документах, указанных в пунктах 1) и 2). И, наконец, некоторая дополнительная информация была взята из общедоступных отчетов по энергетическому потенциалу и производству в Казахстане, но, естественно, в них основное внимание уделялось нефтегазовой и угольной отраслям.

Только небольшая часть имеющейся геотермальной информации была получена в результате изучения скважин, пробуренных в целях изучения геотермальных вод, при этом, нефтегазопроисковые скважины могут быть хорошим источником информации о геотермальных ресурсах.

### 3.2 Изучение геотермальных ресурсов Казахстана

В Казахстане геотермальные воды были вскрыты в ходе региональных геологических изысканий, во время бурения глубоких скважин на углеводороды и других работ/исследований. Консультанты выяснили, что некоторые геотермальные исследования проводилось в Казахстане в советский период, тогда как после обретения независимости геотермальные исследования носили ограниченный характер. Однако в последнее время были проведены некоторые исследования, результаты которых будут вкратце рассмотрены ниже. Некоторые геотермальные исследования также проводились в рамках более общих гидрогеологических изысканий.

Согласно информации, предоставленной Консультантам, комплексные исследования геотермальных ресурсов Казахстана проводились в 1980-х годах в наиболее перспективных

регионах Южного Казахстана. Они включали поисково-оценочные работы, проведенные в период с 1982 по 1991 год в целях организации теплоснабжения и обеспечения горячей водой населения городов Туркестан и Арыс, а также некоторых городов в Алматинской области (Или и Усек). Результаты свидетельствуют о наличии достаточных геотермальных ресурсов.

В 2006 году в южных и юго-восточных регионах страны были проинспектированы 40 существующих глубоких скважин, по результатам этих работ было подготовлено технико-экономическое обоснование. В этом документе указаны выявлены наиболее перспективные районы для дальнейших поисковых и разведочных работ (Касымбеков, 2006).

В 2008 году в Жаркентском подбассейне в юго-восточном Казахстане проводились поисковые и разведочные работы для оценки пригодных для использования запасов геотермальных вод. Они включали оценку глубоких скважин (2 800 м), которые дают воду с температурой 90°C, используемую для обеспечения крупного тепличного комплекса тепловой энергией.

В 2015-2016 годах на участке Жаркунак Жаркентского бассейна было проведено поисковое и глубокое разведочное бурение на геотермальные ресурсы с целью оценки достаточности геотермальных ресурсов для прямого использования в этом районе (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год). Этот проект был успешным, и горячая вода из 2 - 3 скважин в настоящее время используется для отопления домов, горячего водоснабжения, отопления теплиц, рыбоводства и других нужд.

### 3.3 Обзор потенциальных геотермальных ресурсов

Как уже упоминалось, Казахстан располагает большими запасами низкотемпературных геотермальных ресурсов. Они относятся главным образом к осадочному виду (см. Главу 2). Это утверждение основывается на информации, полученной при исследовании глубоких скважин, пробуренных главным образом на нефть и/или газ в слоях осадочных пород. Некоторые из них дают горячую воду из водопроницаемых осадочных слоев, залегающих на большой глубине, где температура достаточно высокая вследствие наличия геотермического градиента в регионе. В стране также имеются некоторые поверхностные проявления (горячие источники). Это утверждение также подтверждается очевидными параллелями между геологическими условиями (глубокие осадочные бассейны) в некоторых регионах Казахстана и геологическим строением осадочных бассейнов в других частях мира, где широко используются низкотемпературные геотермальные воды, например, в Восточной Европе и Китае.

На Рисунке 4 ниже представлены пятнадцать осадочных бассейнов Казахстана, в которых были обнаружены нефтегазоносные пласты или имеются перспективы их обнаружения. Также ожидается, что вследствие их природы в них в той или иной степени могут содержаться геотермальные воды. Осадочные бассейны, которые, как считается, имеют наиболее высокий потенциал для использования геотермальных ресурсов, включают: Мангышлакский бассейн на западе, Сырдарьинский бассейн на юге и Илийский бассейн на юго-востоке. На Рисунке 5, на котором представлен геотермальный атлас Казахстана, указана дополнительная информация о прогнозных геотермальных ресурсах страны. Обычно геологические формации ресурсов состоят из песчаника или карбонатных пород, которые сильно различаются по своей природе, как описано в разделе 2.2.

В настоящем отчете основное внимание уделяется геотермальному потенциалу Илийского бассейна, который подразделяется на Алматинский подбассейн (Западно-Илийский) и Жаркентский подбассейн (Восточно-Илийский) [А]. Также представлен краткий обзор Арысского подбассейна Сырдарьинского бассейна, хотя основное внимание будет уделяться Жаркентскому подбассейну.

По данным Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан, имеется шесть крупных исследованных геотермальных районов в районе городов Шымкент и Кызылорда, в северной части пустыни Кызылкум, в районе Алматы, а также на плато Устюрт

на побережье Каспийского моря. Таким образом, считается, что в регионах Южного Казахстана имеются благоприятные условия для развития геотермальной энергетики (Уызбаева, 2015 год).

В уже упомянутом обзорном отчете за 2016 год перечислены предыдущие исследования термальных источников и геотермального потенциала Казахстана (Ассоциация KazEnergy, 2015 год). Как уже упоминалось, данные по геотермальным ресурсам обычно являются результатом изучения скважин, пробуренных на нефть и газ. Из исследований, проведенных в конце 1960-х и в начале 1970-х годов, стало ясно, что районы, обладающие наибольшим геотермальным потенциалом, находятся в Арыском и Илийском бассейнах, и с тех пор основные усилия были направлены на оценку потенциала этих ресурсов.

В Казахстане кроме осадочных встречаются другие виды геотермальных систем. Они включают трещинные геотермальные системы, в которых теплопередача происходит посредством конвекции с больших глубин (в несколько километров), по почти вертикальным трещинам в тектонически активных зонах (см. Главу 2). Во время текущих исследований они не были изучены, поскольку осадочные ресурсы считаются сравнительно намного большими вследствие обширного площадного распространения осадочных бассейнов. Например, считается, что трещинные системы имеются в тектонически активных зонах на юге и юго-востоке Казахстана. Еще одним видом являются высокотемпературные ( $> 200^{\circ}\text{C}$ ) вулканические геотермальные системы, в которых источник тепла представлен внедрением магмы на больших глубинах. Такие системы пока не были обнаружены в Казахстане.

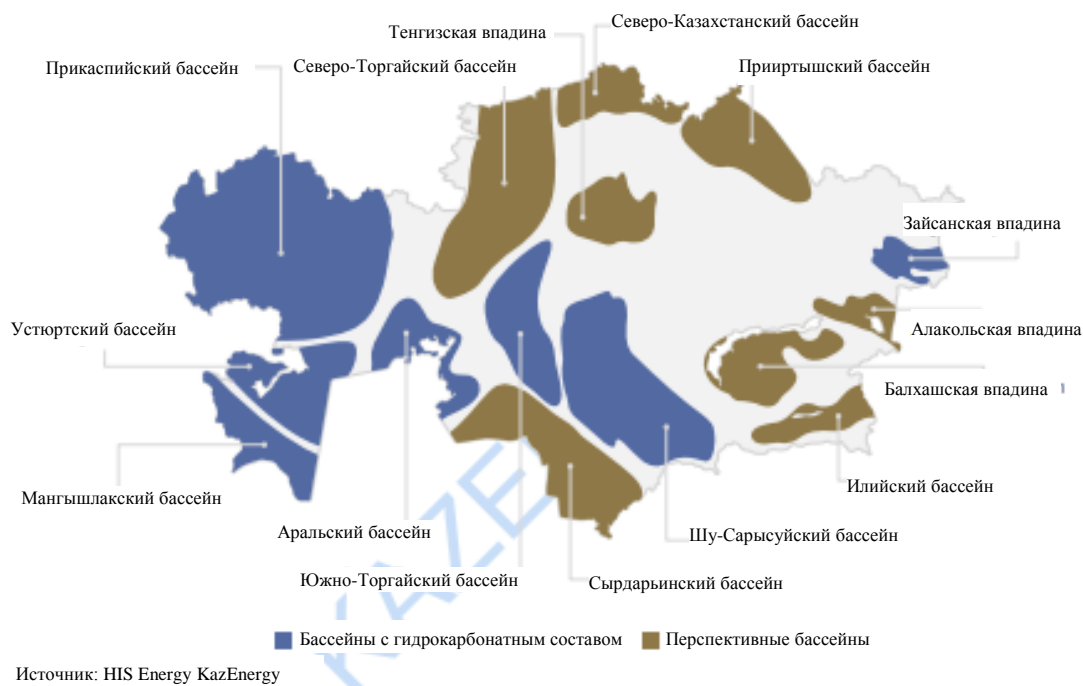


Рисунок 4 - Основные глубокие осадочные бассейны Казахстана (Ассоциация KazEnergy, 2015 год)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> См. также Таблицу 2.



Рисунок 5 - Геотермальный атлас Казахстана [А].

### 3.4 Предыдущие оценки геотермального потенциала

Некоторые оценки потенциала различных элементов осадочных геотермальных ресурсов Казахстана имеются в местной литературе (см. некоторые документы, указанные в Приложении А). Во всех документах используется объемметрический метод оценки (см. Главу 2.4) или его варианты. В них представлены различные результаты, что трудно объяснить. Скорее всего это является следствием различий в исходных параметрах, таких как площадь поверхности и толщина (а, следовательно, объем), а также температурные условия и коэффициент отдачи. Все эти оценки демонстрируют большой производственный потенциал основных осадочных бассейнов страны, даже притом, что результаты оценок различаются.

Наиболее всесторонняя оценка территории всей страны представлена (Богуславским в 1999 году). Его работа представляет собой оценку тепловой энергии в осадочных слоях всех 15 осадочных бассейнов Казахстана до глубины 5 000 м (в зависимости от бассейна). Он оценивает энергосодержание для различных температурных диапазонов. Кроме того, Богуславский и др., представляют свои результаты как размерности энергия на км<sup>2</sup>.

В Таблице 2 представлены результаты (Богуславский, 1999 год) с оценками суммарной температуры ресурсов выше 40°C во втором столбце таблицы (плотность энергии). Консультанты расширили свои результаты, чтобы рассчитать извлекаемую энергию на км<sup>2</sup>. В расчетах мы приняли коэффициент отдачи, равный всего 1%, поскольку водопроницаемые слои коллектора составляют только небольшую часть общей толщины, и только небольшая часть энергии в этих конкретных слоях может быть извлечена. В таблице также представлена оценка Консультанта полной извлекаемой энергии для нескольких бассейнов (площадь x извлекаемая энергия на км<sup>2</sup>) и соответствующее значение за год.

Таблица 2 - Оценки энергосодержания в осадочных бассейнах Казахстана для диапазона температур ресурсов выше 40°C по данным (Богуславский, 1999 год).<sup>2</sup>

Бассейн	Плотность энергии, ПДЖ /км <sup>2</sup>	Извлекаемая энергия на км <sup>2</sup> в год ТДЖ/км <sup>2</sup> /год	Площадь км <sup>2</sup>	Полное энерго-содержание ЭДЖ	Извлекаемая энергия в год ПДЖ/год
Прикаспийский	184	18			
Устюрт-Бузашинский	475	48			
Мангышлакский	509	51			
Аральский	264	26			
Сырдарьинский	86	8.6	192 000	16 500	1 700
Южно-Торгайский	68	6.8			
Северо-Торгайский	-				
Северо-Казахстанский	-				
Тенгизский	-				
Шу-Сарысуйский	213	21			
Западно-Илийский	382	38	(14 000)	(5 350)	(540)
Восточно-Илийский	577	58	(14 000)	(8 080)	(810)
Балхашский	26	2,6			
Алакольский	56	5,6			
Зайсанский	54	5,4			
Прииртышский	155	16	86 000	13 300	1 300

Результаты, представленные в таблице, свидетельствуют о следующем:

- Согласно расчетам, наибольшая извлекаемая энергия на км<sup>2</sup> имеется в Устюрт-Бузашинском и Мангышлакском бассейнах в юго-западном Казахстане и в Западно-Илийском (Алматинском) и Восточно-Илийском (Жаркентском) бассейнах в юго-восточном Казахстане. Это связано главным образом с наличием в этих бассейнах более высокотемпературных ресурсов по сравнению с другими бассейнами.
- Однако наибольшая извлекаемая энергия на бассейн имеется в Сырдарьинском и Прииртышском бассейнах соответственно в Южном и Северном Казахстане. Это связано с относительно большой площадью поверхности этих бассейнов.

Здесь следует отметить, что бассейны с высокой плотностью извлекаемой энергии (на км<sup>2</sup>) обычно являются наиболее интересными в плане геотермального потенциала, поскольку там требуется бурить меньшее количество эксплуатационных скважин.

<sup>2</sup> Представлены как плотность энергии (столбец 2). Также показана извлекаемая энергия на км<sup>2</sup>, рассчитанная с использованием коэффициента отдачи, равного 1%, за 100-летний период эксплуатации (столбец 3). В столбце 4 показана расчетная площадь поверхности нескольких наиболее значимых осадочных бассейнов, а в столбце 5 представлена расчетная общая извлекаемая энергия для тех же бассейнов. И, наконец, в столбце 5 показана расчетная извлекаемая энергия за год для тех же бассейнов. Заметьте, что ЭДЖ = 10<sup>18</sup> Дж, ПДЖ = 10<sup>15</sup> Дж и ТДЖ = 10<sup>12</sup> Дж.

## **4 Осадочные геотермальные ресурсы в южных и юго-восточных регионах Казахстана**

### **4.1 Краткий обзор**

Геотермальные ресурсы с перспективным потенциалом были выявлены в южных регионах Казахстана. Они находятся в осадочных бассейнах, включая Арысский подбассейн Сырдарьинского бассейна в Южном Казахстане, а также Алматинский и Жаркентский подбассейны Илийского бассейна на юго-востоке Казахстана.

Осадочные образования Илийского бассейна обычно относятся мезозойскому - кайнозойскому периоду и состоят из комплексов песчаника с незначительными прослойками карбонатных пород (2016 год). Формации мелового периода и раннего палеогена считаются лучшими коллекторными водоносными слоями в Илийском бассейне (Алматинском и Жаркентском подбассейнах), где горячая вода с температурой 40-165°C может добываться с глубины 1 200 - 4 600 м.

В некоторых местах скважины фонтанируют, тогда как в других местах воду для использования требуется откачивать. Соленость (содержание растворенных химических веществ) геотермальных жидкостей в Казахстане высоко вариабельна и находится в диапазоне от гипергалинных рассолов с содержанием растворенных веществ до 200 000 мг/кг до довольно разбавленных жидкостей с содержанием растворенных веществ приблизительно 1 000 мг/кг. Наиболее мягкие геотермальные жидкости в Казахстане в плане содержания химических веществ находятся в залежах Илийского бассейна и его подбассейнов, Алматинского и Жаркентского.

Геологическое строение и геотермальный потенциал каждого подбассейна будут рассматриваться в следующих главах, в которых представлен обзор Арысского и Алматинского подбассейнов, но основное внимание будет уделяться Жаркентскому подбассейну.

### **4.2 Арысский подбассейн / Сырдарьинский бассейн**

Бассейн реки Арыс является частью Сырдарьинского осадочного бассейна (Рисунок 6). Сырдарьинский артезианский бассейн расположен в северо-восточной части Иранской плиты и приурочен к горному хребту Большого Каратау, срединным дугам Западного Тянь-Шаня и возвышенностям Центральных Кызылкумов. [В].

Одним из аспектов, который придает этому району большую значимость, является близость геотермальной зоны к крупному городу (Шымкенту) и наличие потенциальных пользователей извлеченной энергии.





Рисунок 6 - Карта Сырдарьинского бассейна и реки Арыс в Южном Казахстане<sup>3</sup>.

Согласно литературным источникам, которые использовались при подготовке этого Исследования [A], геотермальные коллекторы Сырдарьинского бассейна обычно ассоциированы с водоносными слоями в меловых образованиях на глубине 2000 м. Предполагаемый потенциал геотермальных вод всего Сырдарьинского бассейна составляет 171 000 м<sup>3</sup>/день при артезианском самоизливе и почти 5 миллионов м<sup>3</sup>/день при откачке из скважин.

Арысский артезианский бассейн приурочен к юго-восточной части Сырдарьинской впадины. Температура воды в коллекторе Арысского бассейна достигает 90°C, а температура горячей воды, фонтанирующей из скважин, равна 75°C. Текущая коммерческая добыча геотермальных вод в Арысском бассейне составляет 17 300 м<sup>3</sup>/день [A]. Некоторые скважины являются фонтанирующими артезианскими скважинами с дебитом до 35 л/с, но никакой информации о глубине этих скважин найдено не было.

На Рисунке 7 представлена часть геотермальной карты Казахстана, на которой показано местоположение Арысского артезианского подбассейна, обозначенного температурными границами у основания артезианского слоя, а также изотермами и глубинами водоносного комплекса (18). На карте также показано местоположение скважин и различные данные измерений, таких как геотермический градиент. Обзор имеющихся данных о скважинах Арысского бассейна представлен в Таблице 3. Температура, измеренная в устье скважин, варьируется от 26,3 до 75°C, а минерализация воды низкая и обычно составляет от 400 до 1 200 мг/л.

Как уже отмечалось, геотермальные ресурсы Арысского подбассейна пригодны для прямого использования, например, для отопления домов, других видов прямого использования и промышленного использования, а также для применения тепловых насосов [B].

<sup>3</sup> Из Википедии.

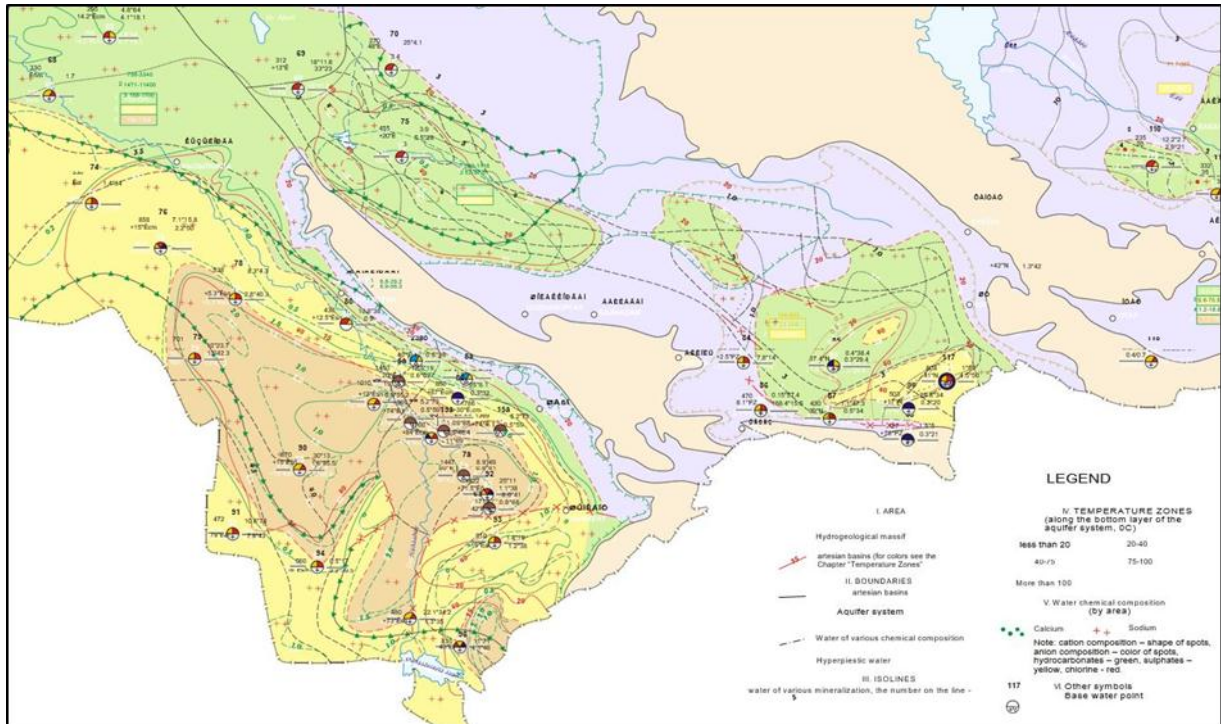


Рисунок 7 - Границы геотермального артезианского бассейна в пределах Арыского подбассейна на юго-востоке Казахстана (Источник: (Касымбеков, 2006 год))

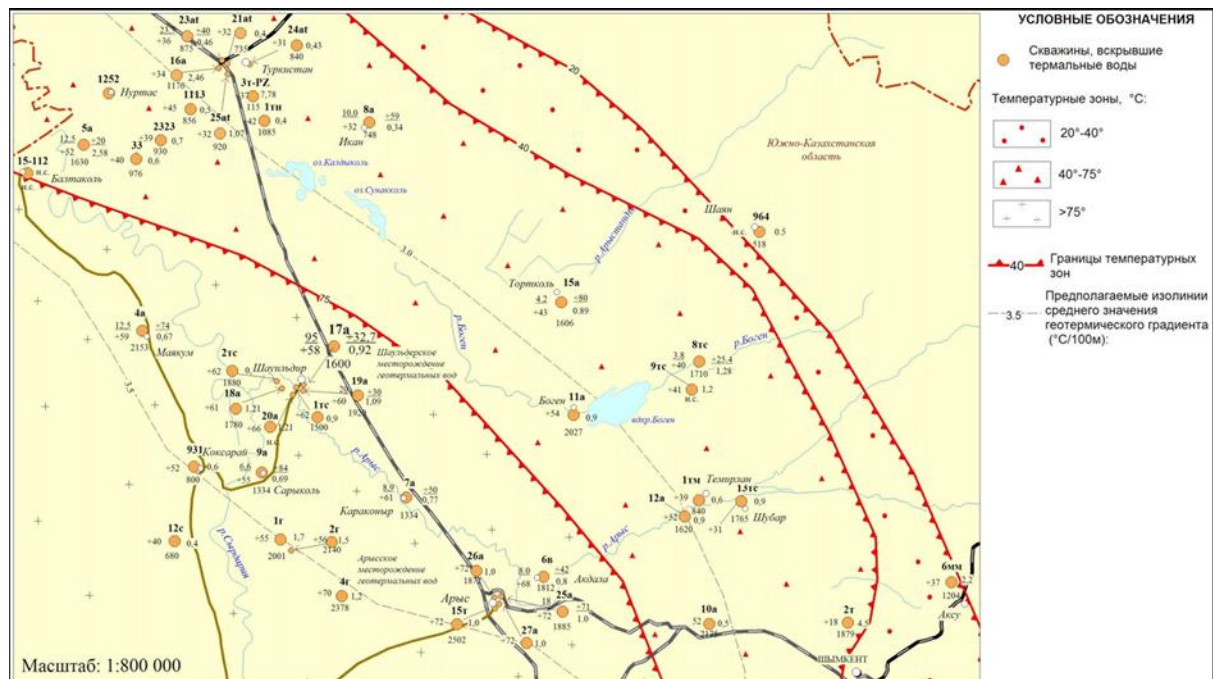


Рисунок 8 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Арыского бассейна в юго-восточном Казахстане [E].

Таблица 3 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Арыском подбассейне

Название или номер скважины	Температура в устье скважины (°С)	Дебит (л/с)	Минерализация воды (мг/л)
13к (контр) 12а			983
15а	36,6		888
15т			1345
16а	37	17,2	456
17а	59	22,2/1918 м <sup>3</sup> в день	919
18а	68	1494	1213
19а	62,8	33,3/2877 м <sup>3</sup> в день	1090
1ТС	63	12,7	1211
20а	62,9	1564 м <sup>3</sup> в день	1212
21аГ	30,9	35,0	429
23а	35	35,0	474
23ат	30,1		460
24ат	26,3		433
25а	44,9	18,0	436
25ат			1068
26а	65,6	25,0	1117
27а	72-75	25,0	1000
2ТС	68	17,3	1117
4а	54		669
5а	49,2		582
6б	72,2	8,0	801
7а	55,7/52,1	8,9	770
8а	29,8		342
8тс	38,3		1283
9а	56		686

### 4.3 Алматинский осадочный подбассейн

Алматинский подбассейн располагается в западной части Илийского бассейна. Илийский бассейн находится между горными хребтами Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау и включает два перспективных артезианских подбассейна (Алматинский и Жаркентский) с геотермальными водоносными слоями в пределах формаций кайнозойского возраста.

На Рисунке 9 показана часть геотермальной карты из работы (Касымбеков, 2006 год), на которой отображены температурные зоны, границы артезианских бассейнов и местоположение скважин в Илийском бассейне. На карте видно, что температура повышается в северо-восточном направлении в пределах бассейна от Алматы на юго-западе до Жаркента на северо-востоке.

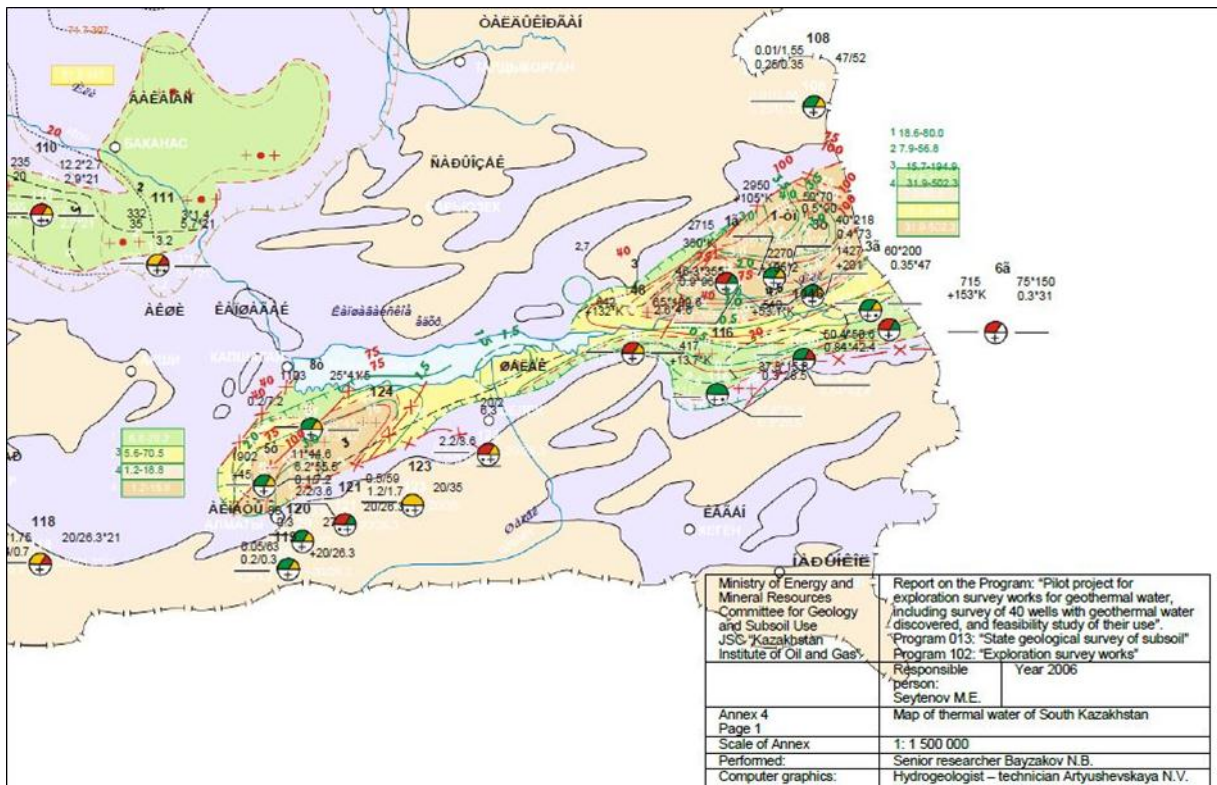


Рисунок 9 - Границы геотермального артезианского бассейна в пределах Алматинского и Жаркентского бассейнов на юго-востоке Казахстана (Источник: (Касымбеков, 2006 год))

В Алматинском осадочном бассейне было пробурено несколько глубоких скважин. Они указаны в Таблице 4 с такими параметрами, как глубина и температура воды в устье скважины. Относительное местоположение части скважин, указанных в таблице, представлено на Рисунке 10 с зоной, где были получены температуры выше 75°C.

Геотермальные воды из водоносных слоев на глубине 7-800 м имеют температуру до 40°C, но вода из водоносных слоев с глубин 2 600 - 3 000 м достигает 84°C в устье скважины [А].

Дебиты артезианских скважин в Алматинском бассейне находятся в пределах от 10-500 до 800-2 200 м<sup>3</sup>/день и от 0,1 до 25 л/с на одну скважину. Вода обычно имеет низкую минерализацию от 500 до 15 000 мг/л (0,5 - 15 г/дм<sup>3</sup>). В нескольких местах добывается более минерализованная вода, в которой концентрация растворенных веществ достигает 120 000 г/л.

Расчетная емкость коллектора в Алматинском подбассейне составляет 62 000 м<sup>3</sup>/день при использовании насосов. Состав воды от сульфатно-хлоридного до хлоридно-натриевого [А].

Таблица 4 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Алматинском подбассейне

Название или номер скважины	Глубина скважины (м)	Температура в устье скважины (°С)	Дебит (л/с)	Минерализация воды (мг/л)
1/78				2356
1/83	2430 м	45	5,5	600-700
14/78				53900
14/86		42	2,0	2400
17/87	2500 м	45-50	20,0	115000-120000
2/80	2400 м	52	10,3	5664
2/83	1850 м	34,5	6,2	661
23/89	2400 м	50	3,0	562
3/82	2400 м	55	7,7	6819
3-Т		60	12,0	14274
5-Т	2200 м	45,5	6,2	6179
8/85	2320 м	55	2,8	580
8-Т		42	25,0	1076

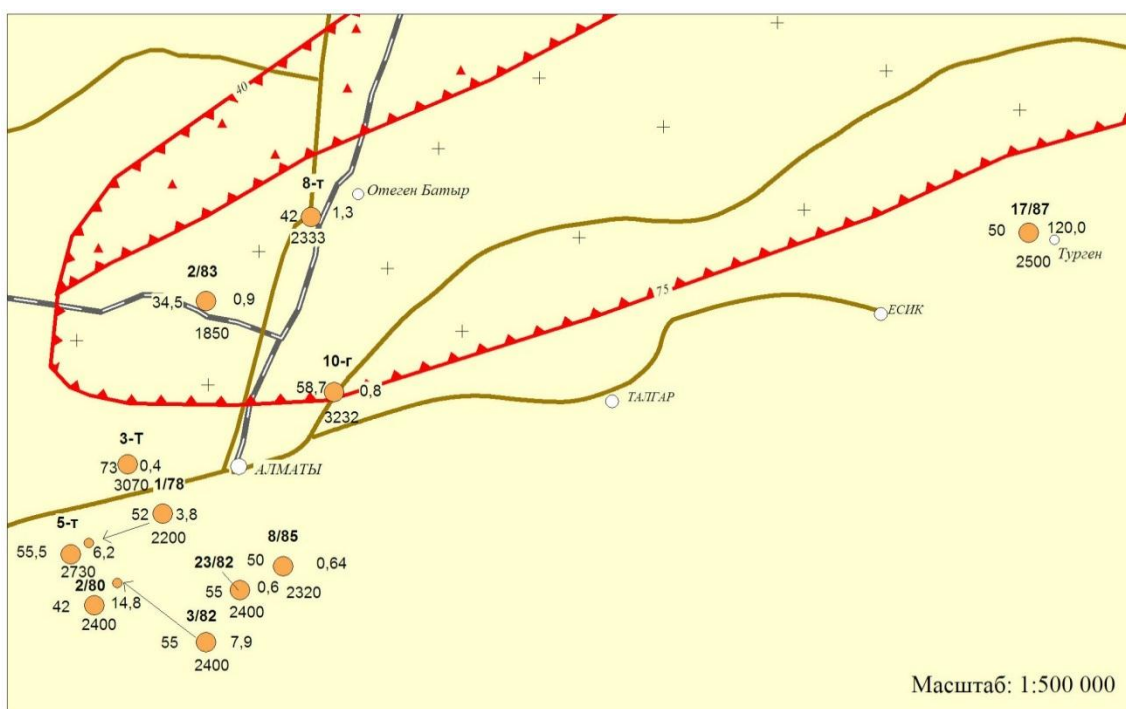


Рисунок 10 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Алматинского бассейна в юго-восточном Казахстане [Е].

Условные обозначения: См. Рисунок 8.

#### 4.4 Жаркентский осадочный бассейн

Информация о геологических характеристиках Жаркентского бассейна с некоторой степенью детализации приводится в отчете 2016 года (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год). Геологические образования различных возрастов описаны на

основе информации по разведочным скважинам, которые были пробурены на нефть, а позднее на основе результатов геотермальных исследований.

Ранние образования Жаркентского подбассейна относятся к середине нижнепермского периода, который характеризуется высокой тектонической активностью. На протяжении мезозоя и раннего кайнозоя процессы включали общее активное поднятие осадочных пород, сформировавшее Жаркентский (Илийский) бассейн. Формации в возрасте от триаса до неогена состоят из ряда различных литологических отложений, обычно описываемых как песчаник. Песчаник со слоями алевролита и обломочных пород является преобладающим образованием в бассейне. Пласты известняка мелового периода встречаются в глубоких скважинах в южной части Жаркентского бассейна (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год).

Гидрогеологические условия в центральной и северной частях Жаркентского подбассейна характеризуются более сложным геологическим строением, чем в южной части (левый берег реки Или). Оно включает основание из пород палеозойской эры, сеть тектонических трещин, глубоко залегающие мезозойские отложения и покрывающие породы эпохи от мезозоя до кайнозоя (Кан, 2017 год).

#### 4.4.1 Геотермальные условия

В Жаркентском бассейне геотермальные воды были вскрыты в отложениях неогенового, палеогенового, мелового, триасового и юрского комплексов, см. Рисунок 9.

Геотермальные воды в меловом комплексе являются наиболее перспективными и широко распространенными в бассейне, а расчетная температура у основания термальных водоносных комплексов в зависимости от глубины варьируется от 40-75 до 155-165 °С [А]. Потенциальные природные запасы геотермальных вод в Жаркентском бассейне оцениваются в 216 миллиардов м<sup>3</sup>, но промышленные запасы термальных вод на двух участках (Илийском и Усемском) в центральной части бассейна оцениваются в 4 500 м<sup>3</sup>/день.

В 2006 году в южных и юго-восточных регионах страны (Арысский, Алматинский и Жаркентский подбассейны) были проинспектированы 40 скважин и разработаны технико-экономические обоснования. В этих технико-экономических обоснованиях были определены площади для поисково-разведочных работ, при этом Жаркентский бассейн был назван одним из наиболее перспективных участков (Касымбеков, 2006 года). В 2008 году на Жаркунакском участке Жаркентского подбассейна проводилась доразведка для оценки пригодных для использования запасов геотермальных ресурсов [Е]. Впоследствии в 2015-2016 годах было пробурено 11 глубоких разведочных скважин для определения достаточности геотермальных резервов для прямого использования в этом районе (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год).

В целом, в Жаркентском подбассейне геотермальные воды вскрыты на глубинах 250-400 м в предгорьях и на глубинах 4 000-4 500 м в центральной части. Обычно они приурочены к верхним границам меловых формаций (Рисунок 11). Дебит скважин находится в пределах от 120 до 12 000 м<sup>3</sup>/день, минерализация воды варьируется в диапазоне 1 000 - 15 000 мг/л, температура воды в устье скважины составляет от 35 до 90 °С.

На Рисунках 12, 13 и 14 представлены поперечные сечения Жаркентского осадочного бассейна, на которых видны геологические формации, температурный градиент, пробуренные скважины, а также температурные изотермы, построенные на основе данных температурного каротажа скважин (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год).

В центральной части Жаркентского артезианского бассейна термальные водоносные комплексы были протестированы на глубинах до 1 400 - 2 900 м [А]. Воды являются напорными, пьезометрические уровни устанавливаются на отметках 70-240 м над поверхностью, дебит скважин на самоизливе составляет 1 900 - 5 200 м<sup>3</sup>/день. Вода имеет минерализацию менее 1 000 мг/л и гидрокарбонатно-сульфатный и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый состав [А].

Здесь температура в устье скважины составляет 100-120°C в наиболее погруженных частях Жаркентской впадины.

Расчетный потенциал геотермального коллектора в центральной части Жаркентского бассейна составляет около 51 000 м<sup>3</sup>/день. Для сравнения, два эксплуатационных участка, на которых используются термальные воды, имеют утвержденные эксплуатационные коммерческие запасы, обеспечивающие добычу 4 500 м<sup>3</sup>/день.

В южной части Жаркентского артезианского бассейна триасовые и юрские геотермальные водоносные комплексы дают от 110 до 4 700 м<sup>3</sup>/день из каждой скважины. Вода имеет низкую минерализацию, равную около 1 000 - 3 000 мг/л.

В этой части бассейна расположены «Горячие источники Кара-Дала», где горячая вода с температурой до 60°C добывается с глубины 650 м. На бальнеологическом курорте эксплуатируются артезианские скважины, которые дают 12 000 м<sup>3</sup>/день воды с минерализацией от 3 000 мг/л до 15 000 мг/л [А].

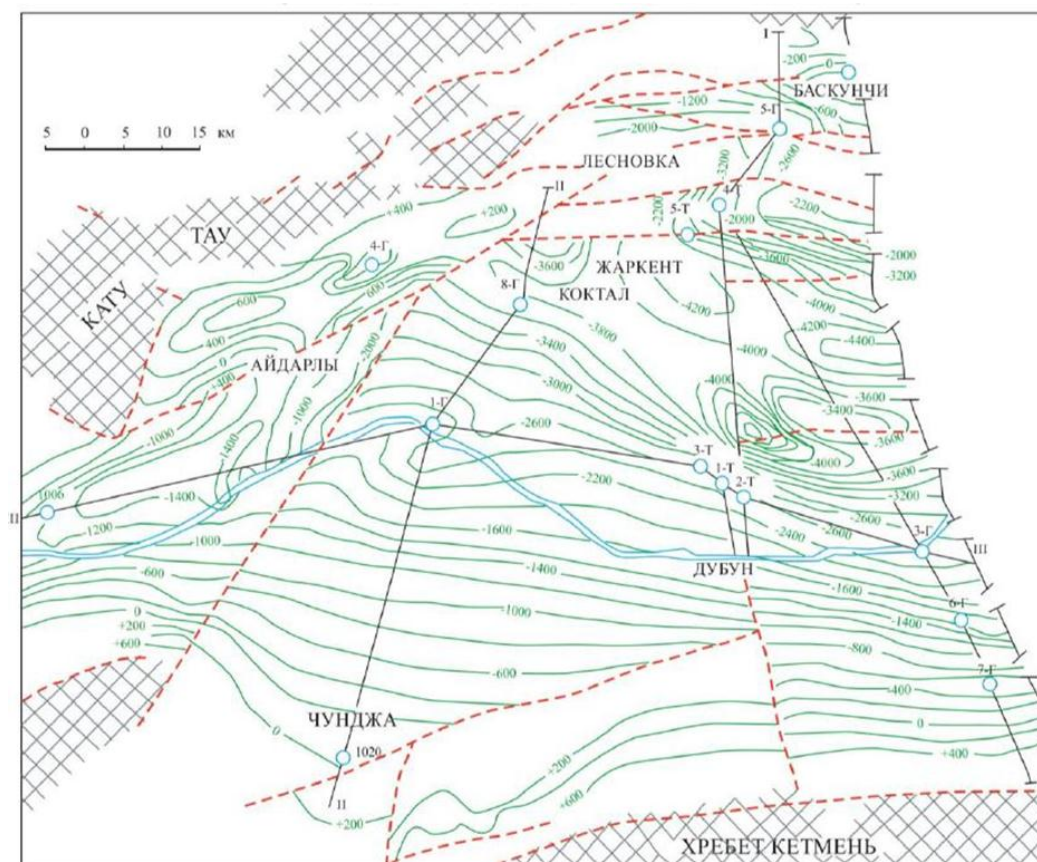


Рисунок 11 - Структурная карта Жаркентского бассейна<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Зеленые линии обозначают глубину залегания кровли меловых образований. Источник: (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год).

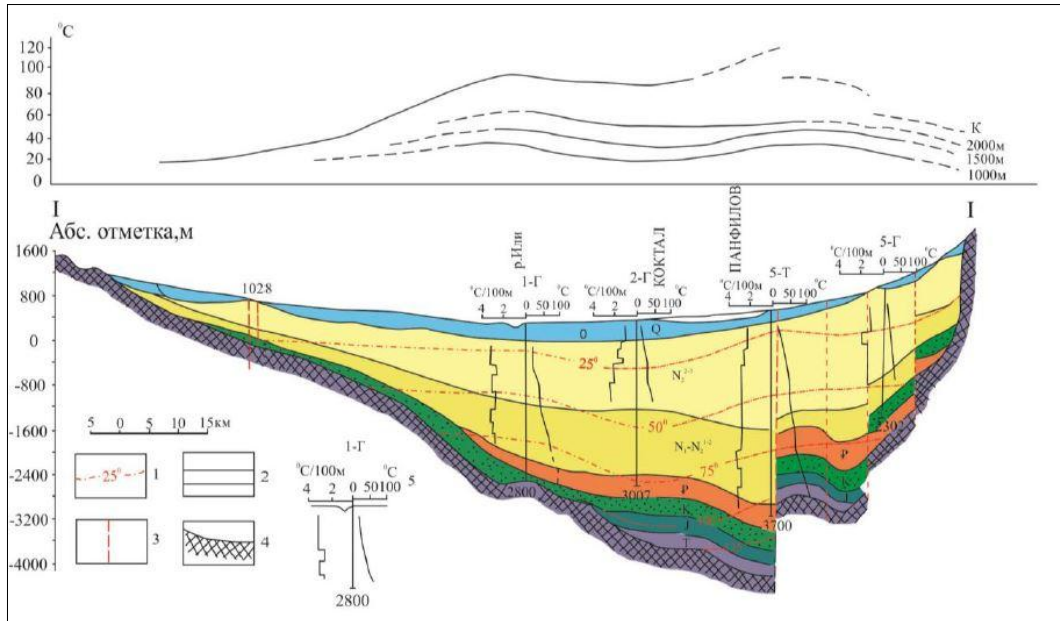


Рисунок 12 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии I с Рисунка 11.<sup>5</sup>

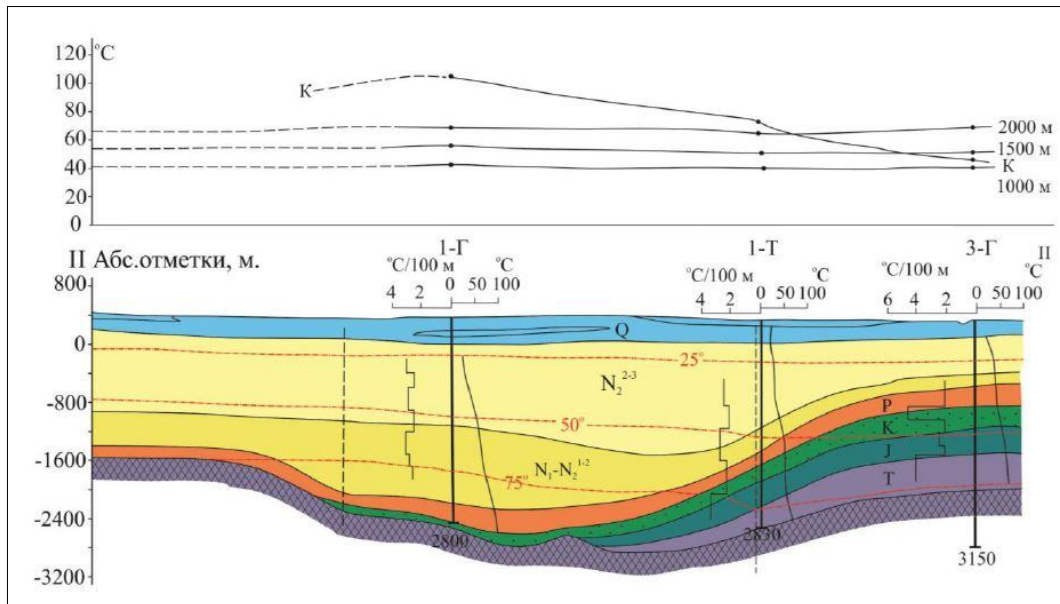


Рисунок 13 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии II с Рисунка 11.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Условные обозначения: 1 - изотерма; 2 - меловой водоносный слой; 3 - линия тектонического нарушения; 4 палеозойские породы основания; 5 - скважина, сверху - номер, снизу - глубина, м; слева - диаграмма значений геотермических градиентов; справа - термограмма [19].

<sup>6</sup> Условные обозначения: См. Рисунок 12.



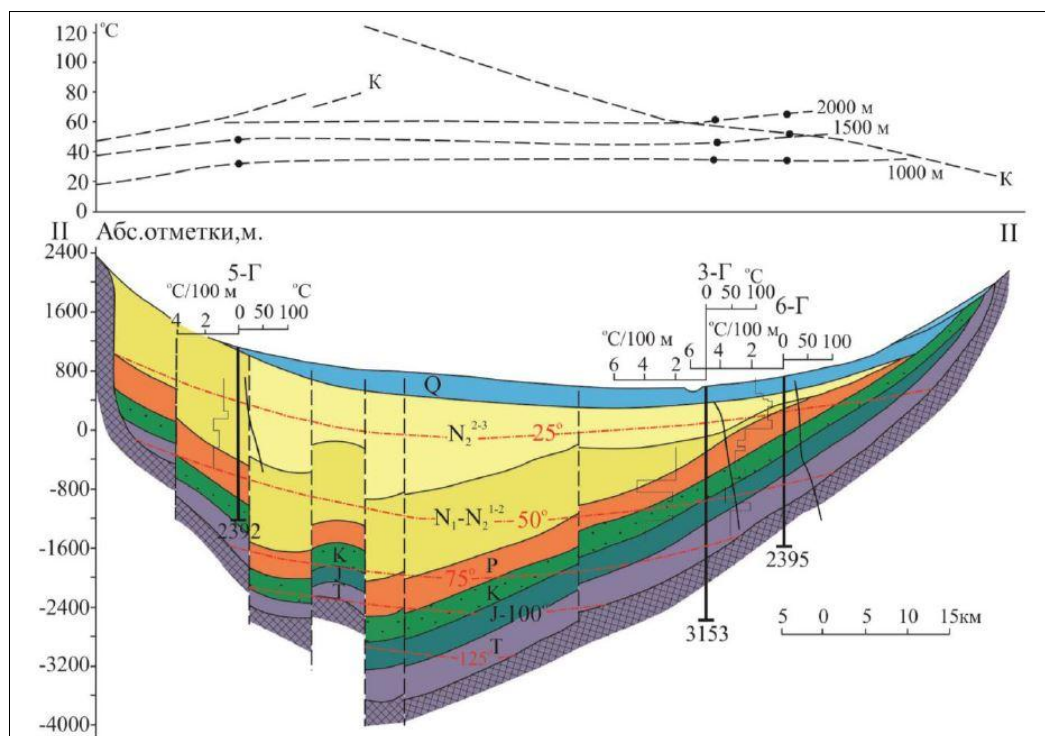


Рисунок 14 - Жаркентский осадочный бассейн. Поперечное сечение вдоль линии II с Рисунка 11.<sup>7</sup>

Геотермальные условия в Жаркентском подбассейне в некотором смысле довольно благоприятные по сравнению с другими осадочными ресурсами как в самом Казахстане, так и в мире. Вскрытые коллекторные пласты, залегающие на большой глубине, выходят на поверхность в гористых регионах на границе подбассейна (см. поперечные сечения выше). Эта подпитка также подтверждается высоким давлением в устье скважин и фонтанированием скважин. Информация, полученная во время посещения Жаркентского подбассейна во время этого Исследования, также подтверждает, что это давление в устье скважин и фонтанирование не снижаются со временем, как на это указывает имеющаяся ограниченная информация, что вполне ожидаемо в подобных случаях.

#### 4.4.2 Информация о пробуренных глубоких скважинах

Из 11 глубоких скважин, пробуренных в Жаркентском бассейне, четыре скважины (1-Г, 1 ТП, 2 ТП и 3-Г) вскрыли геотермальные воды на глубинах от 2 800 м до 3 200 м; их дебит составляет от 11 до 50 л/с с высотой гидростатического напора от +195 до +360 м и температурой воды до 103 °С [В]. На Рисунке 15 показано расположение геотермальных скважин в Жаркентском бассейне, часть из которых указана в Таблице 5. Скважины, в которых температура превышает 60°C, расположены в центральном бассейне, где глубина залегания водоносных формаций наибольшая, вследствие чего и температуры самые высокие. Температура воды в других скважинах более низкая, но данные по глубинам скважин не были предоставлены.

Горячая вода из 2 - 3 скважин в настоящее время используется для отопления домов, горячего водоснабжения, отопления теплиц, рыбоводства и других нужд Жаркентском бассейне.

<sup>7</sup> Условные обозначения: См. Рисунок 12.

Таблица 5 - Информация о добыче/потенциале геотермальных вод из скважин в Жаркентском бассейне

Название или номер скважины	Глубина скважины, (м)	Температура в устье скважины (°С)	Дебит (л/с)	Минерализация воды (мг/л)
1046		42,4	5,4	800
11a		47,2		3030
1478		28,2/38,9	43,5	482
1598		35,2		1216
1Г				
1-РТ	2885 м	98	24,2	975-1323
1-Т	2830 м	74	17,4	2 600
1-ТП	3000 м	83,2	4500 м <sup>3</sup> в день	589
2-Т		31	1,0	500
2-ТП	2953 м	87,2	1900 м <sup>3</sup> в день	587
3-Т	3200 м	65,3	30,0	412
48		46	65,0	
5539	2850 м	103	50,5	1000
963		39,7		450
963a		31,5/35,0	49,5	

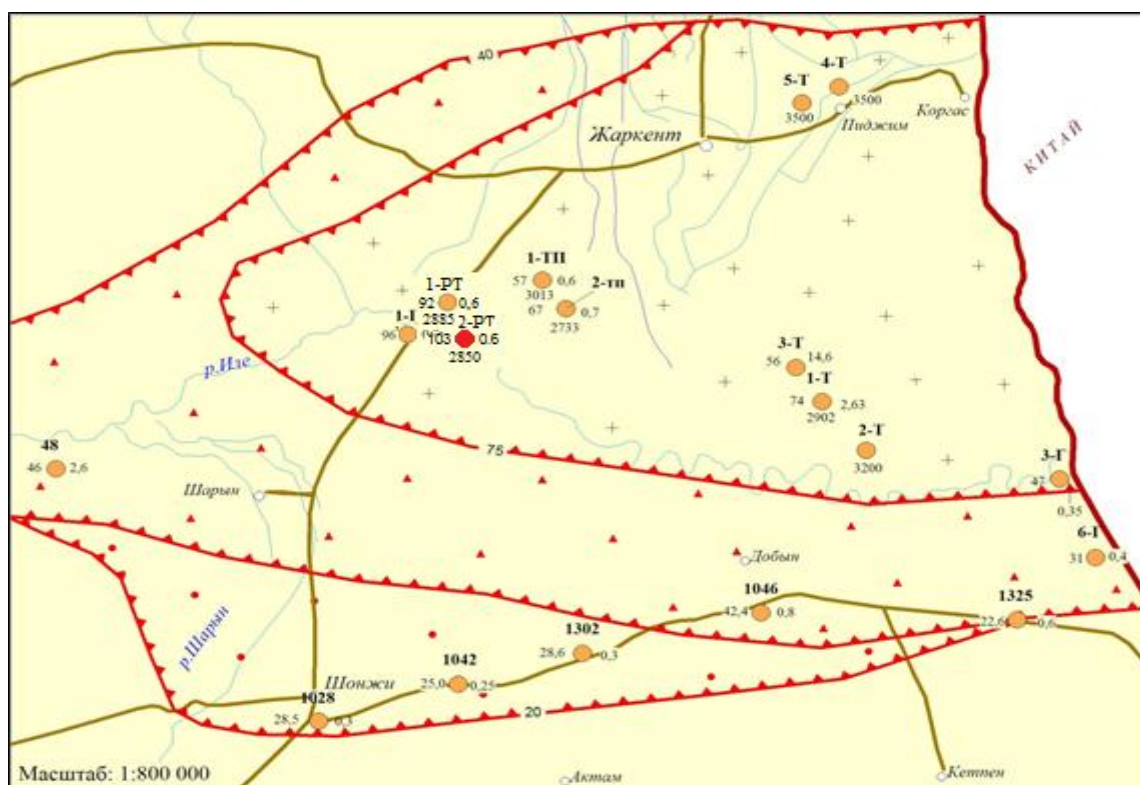


Рисунок 15 - Местоположение потенциальных геотермальных скважин на территории Алматинского бассейна в юго-восточном Казахстане [Е]<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Условные обозначения: См. Рисунок 8.

### 4.4.3 Температурные условия

Температура геотермальных вод в коллекторе Жаркентского бассейна потенциально является самой высокой температурой, зарегистрированной в Казахстане, при этом температура в устье скважин находится в пределах от 30 до 103°C. Согласно расчетам, температура на глубине залегания коллектора достигает 165°C [В]. В целом, предполагается, что геотермический градиент в Казахстане находится в нормальном континентальном диапазоне 25 - 30°C/км, тогда как имеющиеся данные по скважинам в Жаркентском подбассейне указывают на несколько более высокие значения градиента (этот вопрос будет рассматриваться ниже) и, следовательно, на более высокие пластовые температуры на сопоставимых глубинах по сравнению с другими регионами Казахстана. Это, вероятно, связано с тектонической активностью, утончением коры и другими геологическими процессами.

На Рисунках 16 и 17 представлены примеры температурного каротажа скважин в Жаркентском подбассейне и диаграммы геотермического градиента с привязкой к глубинам. Они показывают, что температурный градиент достигает 40°C или даже больше на некоторых интервалах глубин. Кроме того, максимальная температура около 100°C наблюдается на глубине приблизительно 2 700 м в скважине 1-Г и на глубине приблизительно 3 900 м в скважине 5-Т.

Эти результаты коррелируют с картированными глубинами более глубоких меловых формаций, показанных на Рисунке 11.

Кроме того, термический градиент, рассчитанный для скважины 5-Т, которая находится в северной части подбассейна, резко увеличивается на глубине приблизительно 3 300 м, где палеогеновые формации залегают над меловыми формациями.

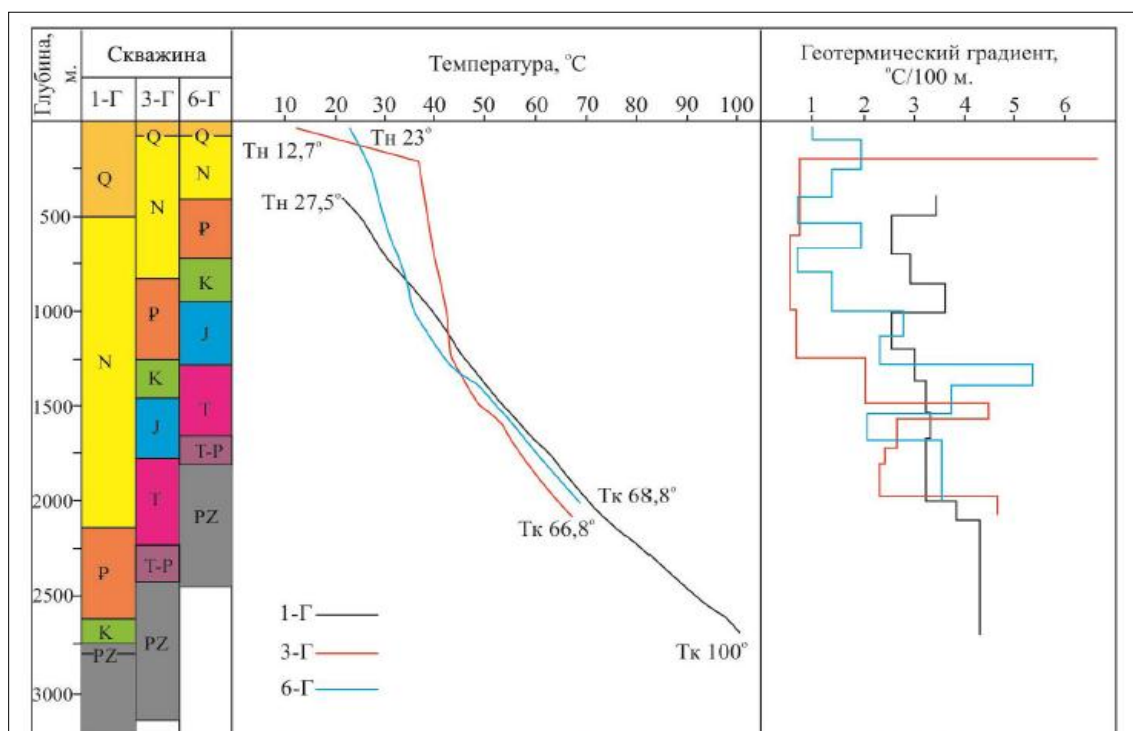


Рисунок 16 - Результаты температурного каротажа и геотермический градиент, рассчитанный для скважин 1-Г, 3-Г и 6-Г в Жаркентском подбассейне (Источник: (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год)).

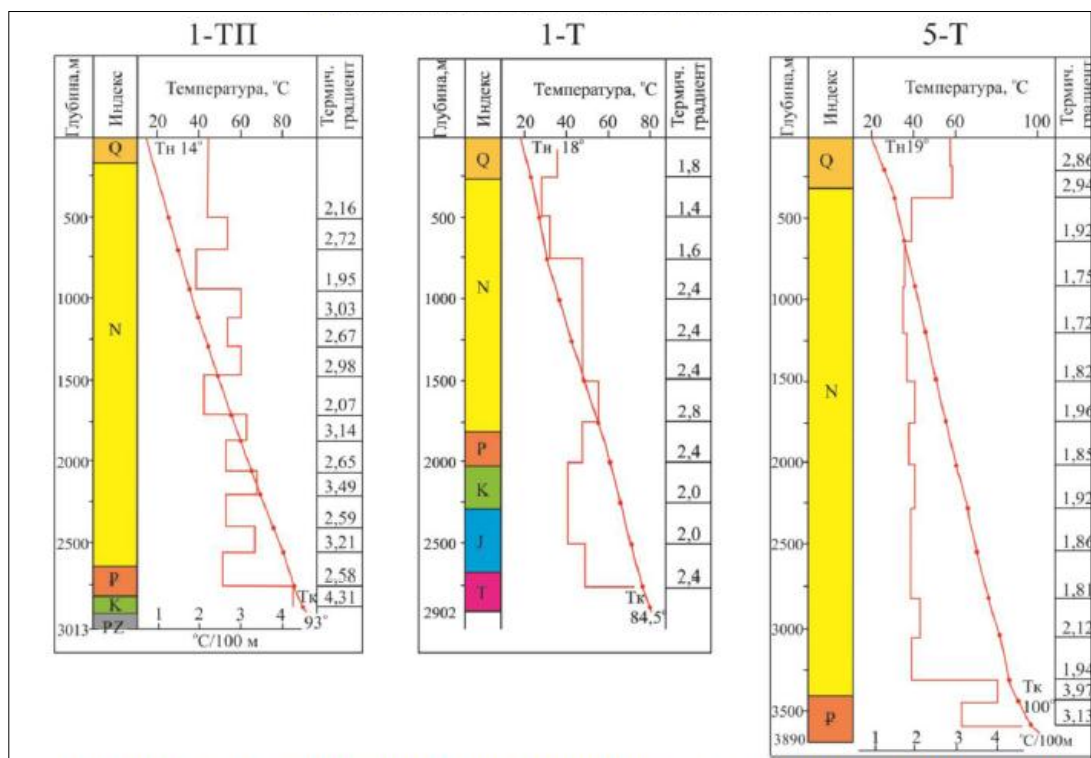


Рисунок 17 - Результаты температурного картожа и геотермический градиент, рассчитанный для скважин 1-ТП, 1-Т и 5-Т в Жаркентском подбассейне (Источник: (Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2016 год)).

На Рисунке 18 представлены результаты простого анализа температурных условий в Алматинском и Жаркентском подбассейнах, проведенного Консультантами. На рисунке показан график зависимости температуры в устье нескольких эксплуатационных геотермальных скважин в этих подбассейнах от глубины скважин. Даже притом, что температура в устье скважин обычно несколько ниже пластовой температуры, на рисунке отчетливо видно, что температура геотермальных вод, вскрытых в Жаркентском бассейне, более высокая. Это отчасти связано с большей глубиной скважин и отчасти с более высоким температурным градиентом.

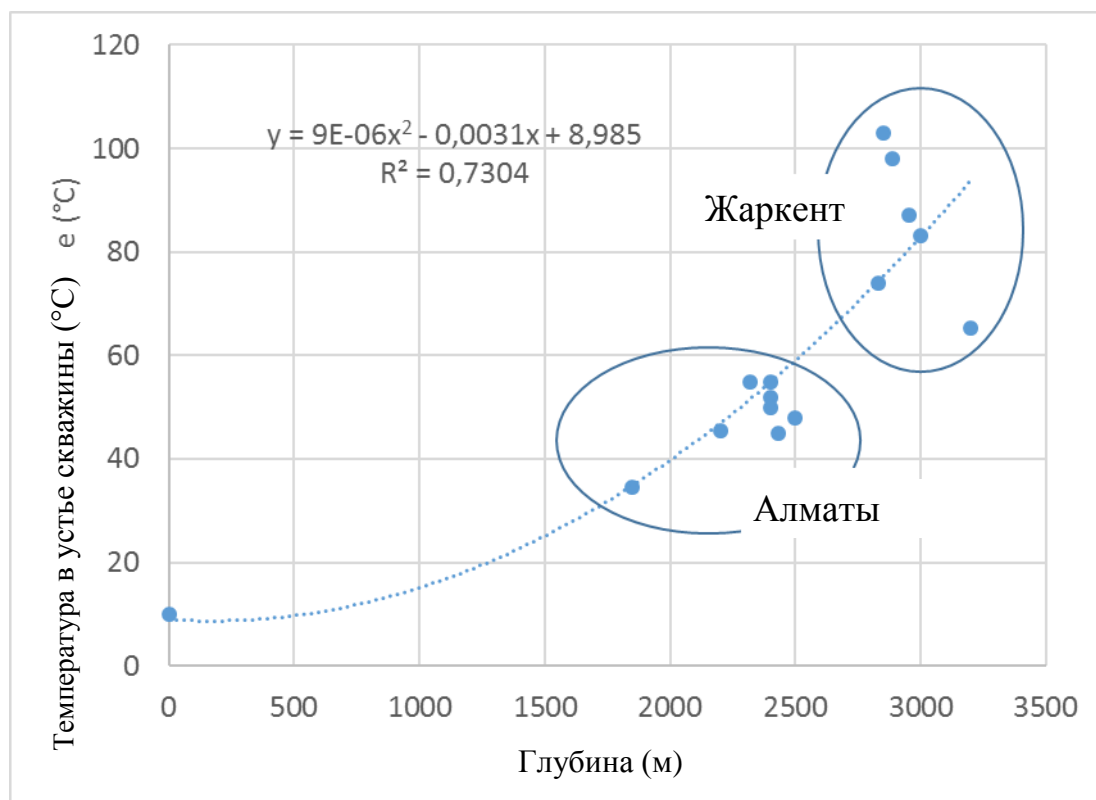


Рисунок 18 - Визуализация температурных условий скважин в Жаркентском подбассейне на графике зависимости температуры в устье скважины от глубины скважины.<sup>9</sup>

#### 4.4.4 Простая оценка запасов ресурсов

В Таблице 2 представлена оценка запасов извлекаемой энергии как на км<sup>2</sup>, так и на бассейн, а также за год, исходя из предположения, что период эксплуатации составляет 100 лет для всех основных бассейнов Казахстана, включая Жаркентский подбассейн. Поскольку они представляют собой единые значения для всего подбассейна, Консультанты провели более подробную оценку при помощи объемометрического метода оценки (см. подраздел 2.3). Результаты показаны на Рисунке 19, на котором извлекаемая энергия на км<sup>2</sup> представлена как функция пластовой температуры, которая в свою очередь зависит от глубины и местного температурного градиента. Использовались следующие основные параметры:

- толщина коллектора = 500 м;
- коэффициент отдачи энергии = 10%;
- период эксплуатации = 50 лет;
- расчетная температура = 30°C.

Результаты на рисунке сначала очень четко показывают, что большие объемы тепловой энергии должны быть извлекаемыми из геотермальных коллекторов в Жаркентском подбассейне, чтобы их можно было использовать для различных прямых целей (см. ниже). Далее результаты, представленные на рисунке, могут использоваться для примерной оценки того, какое количество энергии, должно быть извлекаемым на участке бурения определенной площади (км<sup>2</sup>). На основе ожидаемой средней производительности эксплуатационных скважин, пробуренных на участке, можно рассчитать количество эксплуатационных скважин.

<sup>9</sup> Обратите внимание на то, что температура в устье значительно ниже, чем температура коллектора и что в скважины не всегда может поступать вода из самой нижней части.

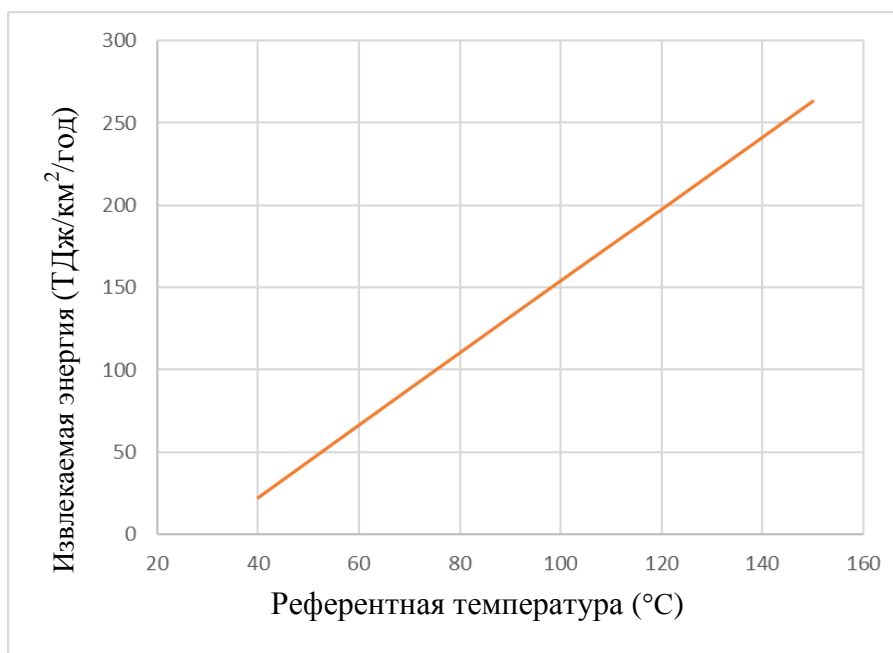


Рисунок 19 - Извлекаемая тепловая энергия с  $\text{км}^2$ , представленная как функция пластовой температуры<sup>10</sup>

На основании результатов тематических исследований, описанных в Главе 6, график, представленный выше, можно использовать для оценки примерной площади участка бурения, который необходим для поддержания определенной схемы эксплуатации.

Например, чтобы получать 2 300 ТДж/год, которые необходимы для отопления города Жаркента, потребуется провести буровые работы на площади  $21 \text{ км}^2$  ( $2\,300 / 110$ ), которая примерно равна площади города. В этой оценке температура ресурса принята равной около  $80^\circ\text{C}$ .

Аналогичная площадь извлечения ресурсов может быть рассчитана для электроэнергетической установки мощностью 10 МВт при использовании геотермальной воды с температурой  $125^\circ\text{C}$ . Потребуется приблизительно 3 000 ТДж/год или площадь около  $14 \text{ км}^2$  ( $3\,000 / 210$ ), см. главу 0.

#### 4.5 Устойчивая эксплуатация и обратная закачка

Вследствие закрытого характера большинства осадочных геотермальных коллекторов обратная закачка необходима для обеспечения их устойчивой эксплуатации. В противном случае уровень воды в коллекторах будет непрерывно снижаться со временем (см. Главу 2), и уровень добычи горячей воды не сможет оставаться постоянным в долгосрочной перспективе. К настоящему времени этот метод был принят в большинстве стран, где эксплуатируются осадочные геотермальные ресурсы. В некоторых странах местные органы власти проводят все более жесткую политику в отношении обеспечения полной обратной закачки при осуществлении всех видов операций в осадочных геотермальных бассейнах.

Разумеется, обратная закачка является превосходным способом предотвращения снижения уровня воды. Однако он связан с некоторыми рисками и проблемами. Главный риск заключается в возможном охлаждении воды в соседних эксплуатационных скважинах, которое зависит главным образом от расстояния между нагнетательными и эксплуатационными скважинами, а также и от того, идет ли закачиваемая вода по предпочтительным каналам или

<sup>10</sup> (которая в свою очередь зависит от глубины и местного температурного градиента), рассчитанной при помощи объеметрического метода оценки для Жаркентского подбассейна.

равномерно рассеивается в породе коллектора. Ожидается, что в коллекторах, сложенных из осадочных пород, особенно песчаника, вода, закачанная обратно, будет течь равномерно, и поэтому расстояние между скважинами может быть короче, чем в других видах геотермальных систем. После того, как скважины пробурены, наиболее эффективный способ оценки опасности охлаждения эксплуатационных скважин вследствие обратной закачки заключается в проведении теста с использованием красителей и моделирования сопутствующего охлаждения. Другой риск заключается в осаждении накипи в трубопроводах и нагнетательных скважинах. Возможность возникновения такой проблемы полностью зависит от химического состава и содержания газов в используемой геотермальной жидкости, но обычно при необходимости эту проблему можно решить за счет введения ингибиторов в ствол эксплуатационной скважины.

Главный вызов, связанный с обратной закачкой в осадочные геотермальные коллекторы, заключается в засорении слоев песчаника, залегающих рядом с нагнетательными скважинами. Если меры не принимаются, скважины обратной закачки засоряются через относительно короткий промежуток времени (дни - недели), что делает обратную закачку нестабильной. Решение этой проблемы было разработано в Германии и Дании в 1990-х годах. Обратная закачка в песчаник также была большой проблемой в Китае. Там в настоящее время уже успешно адаптирована китайская версия европейского решения. Решение включает следующие основные аспекты:

- A. Используются скважины обратной закачки значительно большего диаметра, чем диаметр эксплуатационных скважин (обычно на 50 - 100% больше).
- B. На глубине залегания коллектора между обсадным хвостовиком и песчаниковым образованием устраивается гравийный фильтр.
- C. На поверхности используется эффективная двухступенчатая фильтрация (с фильтрами 50 мкм и 5 мкм).
- D. Вся система трубопроводов от эксплуатационной скважины до скважины обратной закачки является закрытой системой, в которую за счет эффективной герметизации не поступает кислород. В некоторых случаях этот метод дополняется закачкой газа  $N_2$  в трубопроводную систему у эксплуатационной скважины.

Применение обратной закачки с учетом всех этих аспектов не является правилом. Например, аспект а) не всегда применяется, даже притом, что он несомненно приносит очень большие выгоды и даже снижает необходимое количество используемых скважин обратной закачки.

## 5 Эксплуатация геотермальных ресурсов

Цель данного раздела состоит в том, чтобы в общих чертах описать способы использования геотермальных ресурсов и ключевые факторы, влияющие на возможность их использования.

### 5.1 Возможность использования геотермальных вод

Геотермальная энергия является тепловой энергией, генерируемой и аккумулируемой в недрах Земли. Геотермальные ресурсы эксплуатируются уже более 2 000 лет.

Поиск способа надлежащего применения для геотермальных ресурсов не всегда является простой задачей, поскольку возможности их использования будут сильно зависеть от различных факторов, таких как:

- характеристики ресурсов: температура, дебит, химический состав и другие параметры, определяющие устойчивость их эксплуатации; и
- экономические соображения, связанные, среди прочего, с потенциальным рынком для продукта, полученного в результате эксплуатации ресурса, или с доступностью ресурса.

Использование геотермальной энергии сильно зависит от температуры ресурса, как показано ниже.

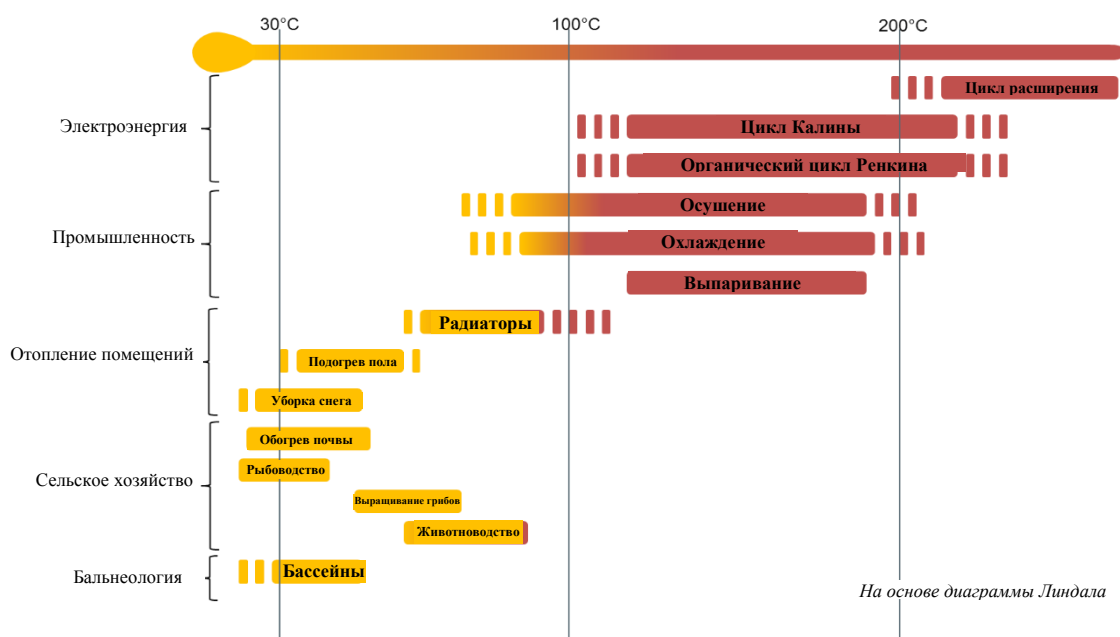


Рисунок 20 - Эксплуатация геотермальных ресурсов (адаптировано из диаграммы Линдала)

Геотермальные ресурсы можно разбить на две общие категории:

- низкотемпературные <math><150^{\circ}\text{C}</math> на глубине 1 000 м; и
- высокотемпературные >math>>200^{\circ}\text{C}</math> на глубине 1 000 м.

Низкотемпературные геотермальные ресурсы использовались в течение веков, первоначально для купания и стирки, а позже для обогрева помещений и для различных целей в сельском хозяйстве.

Использование геотермальной энергии для выработки электрической энергии было начато только в 1960-х годы. Высокотемпературные ресурсы пригодны для использования в паровых конденсационных турбинах, т.е. в турбинах, аналогичных тем, которые используются на



обычных электростанциях, работающих на угле и мазуте. В настоящее время технологии использования геотермальной энергии считаются отработанными, и теперь геотермальная энергия стала одним из наиболее конкурентоспособных источников возобновляемой энергии. В результате, установленная мощность геотермальных установок в мире за последнее десятилетие быстро выросла и, по оценкам, в 2018 году составляла более 14 ГВт<sup>11</sup>. В настоящее время большинство установок по производству геотермальной энергии эксплуатируется в высокотемпературных зонах, где температуры геотермальных ресурсов превышают 220°C. Однако в последние годы бинарные технологии находятся на подъеме и сейчас все более широко применяются для производства энергии с использованием геотермальных ресурсов с температурой ниже 200°C.

В следующих разделах представлена более подробная информация о возможном использовании геотермальных ресурсов и рассматриваются несколько практических вопросов, которые следует учитывать при планировании геотермального проекта.

## 5.2 Производство геотермальной энергии

Независимо от целей использование низко- и среднетемпературных геотермальных ресурсов всегда связано с бурением и установкой системы сбора и обратной закачки воды. В связи с наличием многих неизвестных поиск ресурсов с хорошим потенциалом использования всегда является критически важным этапом геотермального проекта. Однако такие риски можно снизить за счет тщательно спланированных и систематических поисково-разведочных работ, направленных на уточнение данных по запасам, их местоположению и продуктивности.

Непременным компонентом геотермальных проектов является бурение эксплуатационных и в большинстве случаев нагнетательных скважин наряду с установкой оборудования, обеспечивающего поднятие геотермальной жидкости на поверхность. Обычно из пункта добычи геотермальные воды по трубопроводу поступают в потенциальный пункт сопряжения с пользователем, а затем отправляются обратно в коллектор после того, как тепло было извлечено. Вместе они образуют геотермальную петлю. Типичные компоненты, которые образуют геотермальную петлю, показаны на Рисунке 21 ниже.

---

<sup>11</sup> <http://www.thinkgeoenergy.com/global-geothermal-capacity-reaches-14369-mw-top-10-geothermal-countries-oct-2018/>

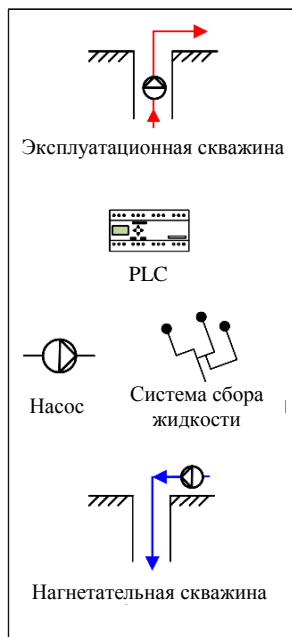


Рисунок 21 - Добыча геотермальной жидкости из коллектора

В разделах ниже более подробно описано несколько критических технических и экономических факторов, относящихся к эксплуатации.

### 5.2.1 Бурение и откачка термальных вод из скважин

Затраты на бурение в рамках различных проектов значительно различаются в зависимости от местоположения, особенностей геологического строения и глубины залегания ресурса. Кроме того, бурение не всех скважин заканчивается успехом, и их параметры могут значительно различаться в плане дебита и температуры в зависимости от ресурса. Риски, связанные с достижением целевого дебита и температуры, являются значительными, и геотермальные проекты обычно характеризуются высокими рисками в отношении начальных капиталовложений.

В некоторых зонах геотермальные воды самоизливающихся горячих источников могут использоваться непосредственно, но только в небольших масштабах с температурным пределом около 100°C. В целом, необходимо бурить скважины, чтобы получить более высокий дебит и в некоторых случаях более высокие температуры. Хотя при помощи бурения можно добиться более высокого дебита (на самоизливе), самый распространенный способ увеличения продуктивности скважины заключается в установке скважин PLC насосов.

Глубина скважин может быть от нескольких сотен метров до 4-6 км в зависимости от глубины залегания целевого ресурса. В настоящее время бурятся скважины главным образом или стандартного диаметра с эксплуатационной обсадной колонной диаметром 9<sup>5/8</sup> дюйма, или большого диаметра с эксплуатационной обсадной колонной диаметром 13<sup>3/8</sup> дюйма. Кроме характеристик самого ресурса для дебита скважины значение имеют диаметр скважины, расстояние до горизонта термальных вод и тип используемых насосов, как показано в Таблице 6 ниже.

Таблица 6 - Геотермальные скважины

	Эксплуатационная обсадная колонна	Насосы с трансмиссионным приводом - 3 000 об/мин		Погружные насосы - 3 600 об/мин	
		Размер, дюймы	Производительность, кг/с	Размер, дюймы	Производительность, л/с
Скважина стандартного диаметра	9 <sup>5/8</sup>	8	40	6	80
Скважина большого диаметра	13 <sup>3/8</sup>	10	80	8	120
Скважина большого диаметра с большой насосной камерой	16 - 13 <sup>3/8</sup>	12	120	10	200

Выбор скважинных насосов производится на основе анализа различных факторов, связанных с эксплуатацией системы и ее параметрами, такими как цена, место в скважине, температурный режим, КПД, глубина установки, выбор материалов. При эксплуатации геотермальных ресурсов используются два типа скважинных насосов: насосы с трансмиссионным приводом (НТП) и электрические погружные насосы (ЭПН).

Двигатель насоса с трансмиссионным приводом размещается на поверхности, над устьем скважины, тогда как сам насос устанавливается в скважине. Корпус насоса закреплен на устье скважины. На поверхность вода подается по нагнетательной трубе. Вращающийся вал двигателя проходит через центр нагнетательного насоса и вращает рабочее колесо в корпусе насоса. В большинстве геотермальных установок опорные подшипники смазываются внешней жидкостью, а вал размещается в смазочной трубе.

Двигатель электрического погружного насоса опускается в геотермальную жидкость под насосом. В этом случае двигатель связан с насосом относительно коротким приводным валом. Нагнетательная труба соединяет насос с поверхностью и обеспечивает подъем воды.

Скважинные насосы имеют постоянную скорость, равную 1 500 или 3 000-3 600 об/мин, хотя в настоящее время часто используется частотно-регулируемый электропривод, который позволяет изменять скорость вращения от 1 500 до 3 600 об/мин. Обычно насос для конкретной скважины выбирается в более узком операционном окне, т.е. 2 800 - 3 600 об/мин для обеспечения более высокого КПД в конкретных условиях эксплуатации.

Скважины проектируются с закрытыми обсадными колоннами, которые герметизируют верхние слои грунта, чтобы воспрепятствовать притоку грунтовых вод или холодной геотермальной жидкости и предотвратить их разрушение. Перфорированные обсадные колонны устанавливаются вокруг продуктивной зоны, расположенной глубже в скважине, и обеспечивают приток добываемой жидкости из целевого водоносного слоя в скважину. Скважины обратной закачки имеют аналогичную конструкцию.

Хотя приток и отток геотермальной жидкости происходит ближе к основанию скважины, скважинные насосы устанавливаются в верхней части скважины. Они располагаются прямо под статическим уровнем жидкости, но достаточно глубоко, чтобы погрузиться в динамический уровень жидкости, образующийся при падении давления в результате откачки жидкости. Следует отметить, что динамический уровень жидкости может быть значительно ниже, чем статический уровень жидкости.

### 5.2.2 Обратная закачка

При крупномасштабном использовании геотермальной жидкости из осадочных бассейнов требуется, во всех случаях почти без исключения, обратная закачка, которая обеспечивает создание условий для устойчивой эксплуатации. В большинстве случаев это связано с тем, что естественное пополнение коллектора происходит медленнее, чем извлечение. Коэффициент обратной закачки должен быть близким к 100% извлечения, если геотермальные системы являются закрытыми и не допускают естественного пополнения. В случае более открытых систем, которые могут получать воду из-за пределов системы, что способствует естественному пополнению, коэффициент обратной закачки может быть меньше. Поэтому коэффициент обратной закачки сильно зависит от характеристик ресурса и планируемой добычи.

Практика надлежащего управления ресурсами заключается в применении соотношения 1:1 на начальных этапах эксплуатации, т.е. объем добычи из эксплуатационной скважины должен быть равен объему обратной закачки в нагнетательную скважину. Соотношение также может быть равным 2:1, 3:1 или выше, если естественное пополнение системы происходит хорошо по сравнению с объемом добычи, что позволяет снизить коэффициент обратной закачки.

### 5.2.3 Обсуждение различных параметров затрат

Типичные инвестиционные затраты, связанные с использованием геотермальной жидкости, включают:

- Подготовку:
  - затраты на разведку;
  - оценку воздействия на окружающую среду при освоении месторождения геотермальных вод;
- Освоение месторождения геотермальных вод:
  - подъездные дороги и буровые площадки;
  - бурение и испытание скважин;
  - скважинные насосы;
  - система сбора (СС) геотермальной жидкости у пользователя для перекачки к нагнетательной скважине;
  - насосы обратной закачки, при необходимости.

В настоящее время электрические погружные насосы (ЭПН) становятся более популярными и экономичными, чем насосы с трансмиссионным приводом (НТП). Это связано главным образом с тем, что при одинаковом расходе глубина их установки может быть ниже, а диаметр меньше. На практике использование ЭПН приводит к более динамичному понижению уровня и увеличению добычи. Приблизительная стоимость типичного насоса ЭПН составляет 1 000 долларов США за киловатт мощности на валу насоса при установке на глубине 300 - 500 м.

На освоение геотермального месторождения обычно приходится 40-60% инвестиционных затрат геотермального проекта, предусматривающего производство электроэнергии и/или строительство системы геотермального центрального отопления. Для других видов прямого использования вблизи от геотермального месторождения соотношение затрат может даже быть выше, поскольку затраты на укладку транспортного трубопровода будут ниже.

Таблица 7- Обзор затрат на бурение

	<i>Низкие, Китай</i> млн. долл. США	<b>Казахстан</b> млн. долл. США	<b>Обычные</b> млн. долл. США	<b>Высокие</b> млн. долл. США
Стандартная скважина глубиной 1 500 м	0,4	1,0	2,0	2,5
Скважина большого диаметра глубиной 1 500 м	0,6	1,2	2,5	3,0
Стандартная скважина глубиной 3 000 м	0,8	2,0	3,0	4,0
Скважина большого диаметра глубиной 3 000 м	1,0	2,5	4,0	4,5
Стандартная скважина глубиной 4 500 м	1,2	3,5	4,0	5,0
Скважина большого диаметра глубиной 4 500 м	1,5	4,4	5,0	6,0

Затраты на бурение геотермальной скважины в осадочных бассейнах значительно различаются в зависимости от местоположения, продолжительности использования буровой установки, цен на сырье и т.д. В Таблице 7 выше показаны диапазоны затрат, которые можно ожидать, исходя из простых параметров. Затраты, показанные в столбце «Казахстан», используются в данном исследовании.

В Таблице 8 представлен обзор затрат геотермального дублета, включая затраты на скважинные насосы (ЭПН) и системы сбора (СС) жидкости для различных глубин и размеров скважин.

Таблица 8 - Капитальные затраты на освоение месторождения в осадочном бассейне. Стандартная стоимость дублета

	<b>Массовый расход</b>  кг/с	2 скважины*  млн. долл. США	СС  млн. долл. США	ЭПН  млн. долл. США	Другое  млн. долл. США	<b>Общие затраты</b>  млн. долл. США	Соотношение общих затрат и массового расхода  млн. долл. США / (кг/с)
Стандартная скважина глубиной 1 500 м	<b>50</b>	2,0	0,25	0,1	0,1	<b>2,45</b>	0,05
Скважина большого диаметра глубиной 1 500 м	<b>120</b>	2,5	0,3	0,25	0,2	<b>3,50</b>	0,03
Стандартная скважина глубиной 3 000 м	<b>50</b>	4,0	0,25	0,1	0,1	<b>4,45</b>	0,09
Скважина большого диаметра	<b>120</b>	5,0	0,3	0,25	0,2	<b>5,75</b>	0,05

диаметра глубиной 3 000 м							
Стандартная скважина глубиной 4 500 м	<b>50</b>	7,0	0,25	0,1	0,1	<b>7,45</b>	0,15
Скважина большого диаметра глубиной 4 500 м	<b>120</b>	8,75	0,3	0,25	0,2	<b>9,50</b>	0,08

\* 1 эксплуатационная скважина и 1 скважина обратной закачки

Соотношение затрат и массового расхода показывает, что бурение скважины большого диаметра более экономически выгодно. Разумеется, при условии, что ресурсов достаточно для извлечения через скважину большого диаметра. Кроме того, при проектировании скважины всегда должны учитываться характеристики ресурсов, поэтому не следует выбирать диаметр скважины на основании этого соотношения.

Со временем дебет геотермальных скважин обычно снижается, хотя и в различной степени. Снижение зависит главным образом от состава геотермальной жидкости, а также от различных местных условий и методов добычи. Поэтому замена скважин является важным фактором, который следует учитывать при планировании геотермального проекта. При благоприятных условиях, когда в скважине оседает минимальное количество накипи или она совсем отсутствует, можно ожидать, что дебет будет снижаться медленно или останется постоянным. Однако обычно исходят из предположения, что затраты на замену скважины составляют 1% затрат на скважину в год.

Типичные ежегодные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание находятся в пределах 1% общих затрат на установку. Они включают оплату труда эксплуатационного и ремонтного персонала и, возможно, затраты на дозирование ингибиторов или кислоты для предотвращения оседания накипи.

### 5.3 Производство электроэнергии на установках бинарного цикла

Казахстан не располагает геотермальными ресурсами с очень высокой энтальпией, пригодными для производства электрической энергии при помощи паровых турбин. Это не является необычным. Во многих регионах по всему миру за пределами Казахстана имеются низко- и среднетемпературные геотермальные зоны с температурами от 100°C до 180°C. В таких зонах нельзя производить электроэнергию при помощи паровых турбин, но бинарная технология открыла новые возможности для получения электроэнергии из низкотемпературных геотермальных жидкостей. Эта технология основана на использовании рабочей жидкости с низкой точкой кипения и заключается в применении геотермальных вод для подогрева этой жидкости и производства пара.

Первые бинарные установки для производства электрической энергии из геотермальных ресурсов были созданы в районе 1980 года. Производственные затраты на бинарных установках выше, чем на паровых установках, и такие силовые установки долгое время были неконкурентоспособными по сравнению с установками, работающими на угле и мазуте. Однако бинарные технологии недавно стали конкурентоспособными и не только в связи с ростом цен на энергоносители и субсидированием выработки электроэнергии из возобновляемых источников, но также вследствие повышения эффективности.

Низкотемпературные месторождения являются более распространенными, чем высокотемпературные и часто более доступны и/или ближе расположены к потенциальным

конечным пользователям. Ожидается, что бинарные технологии будут играть важную роль в будущем развитии производства электроэнергии с использованием геотермальных ресурсов. Бинарные установки могут иметь мощность всего 250 кВт, и их можно изготавливать в виде контейнерных модулей.

Бинарные технологии позволяют производить электрическую энергию с использованием низкотемпературных ресурсов, которые в противном случае не могли быть использованы для этой цели. На обычной теплоэлектростанции для выработки электроэнергии турбина приводится в действие непосредственно паром, тогда как на бинарной установке геотермальная жидкость используется опосредованно. Рабочая жидкость в замкнутом контуре превращается в пар, который затем вращает турбину, производящую электричество. Используются различные рабочие жидкости, которые представлены далее в разделе о циклах.

Типичными источниками тепла, пригодными для производства электроэнергии на бинарных установках, являются:

- геотермальные двухфазовые источники, 180°C;
- геотермальные жидкости с температурой от 100 до 180°C; и
- отработанное тепло производственных процессов.

Поэтому применение бинарных технологий для производства энергии с использованием геотермальных ресурсов является вариантом, который следует рассмотреть разработчикам проектов, в портфеле которых имеются проекты использования низкотемпературных геотермальных ресурсов. В следующих разделах представлены способы использования геотермальных жидкостей и технические аспекты бинарных технологий.

### 5.3.1 Органический цикл Ренкина

Технология «Органический цикл Ренкина» (ОЦР) обычно используется для производства электроэнергии на низкоэнthalпийных коллекторах или рекуперационных установках. Большая часть геотермальных электростанций бинарного цикла, которые в настоящее время эксплуатируются в мире, основаны на ОЦР.

Для того, чтобы рабочую жидкость можно было использовать в циклах ОЦР, точка ее кипения должна быть ниже температуры геотермальной жидкости. Наиболее распространенными рабочими жидкостями, используемыми в установках, основанных на бинарных технологиях, являются углеводороды, такие как изопентан и изобутен. Также используются и другие жидкости, например, аммиак, R134a и R245fa. При этом две последние являются гидрохлорфторуглеродами, которые повсеместно используются в качестве хладагентов. Изопентан и изобутан являются наиболее распространенными органическими рабочими жидкостями, используемыми в бинарных установках несмотря на их высокую воспламеняемость. Имеется ограниченный опыт использования R134a и R245fa.

На Рисунке 22 ниже схематически представлен бинарный цикл. На диаграмме показан одноступенчатый цикл ОЦР с конденсатором с воздушным охлаждением.

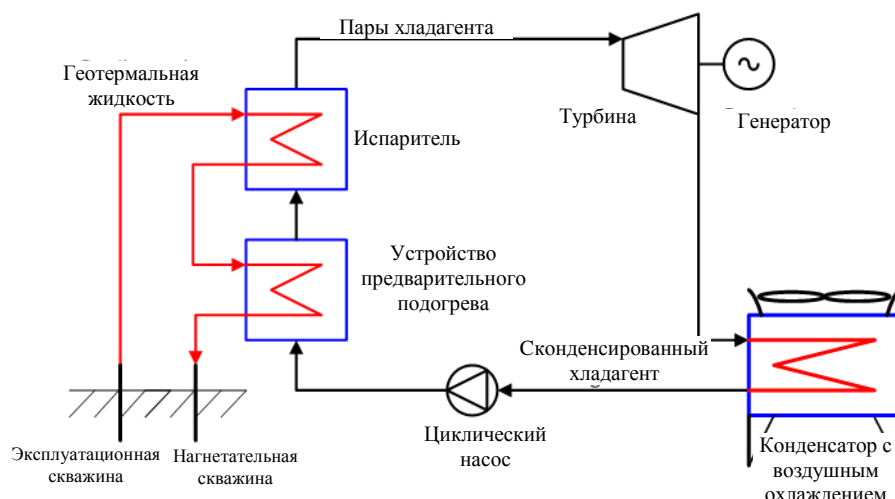


Рисунок 22 - Блок-схема типичного органического цикла Ренкина

На установке ОЦР геотермальная жидкость проходит через теплообменник и используется для нагревания рабочей жидкости, которая испаряется и приводит турбину в движение. Пар, образовавшийся в испарителе, впускается в турбину и там расширяется как геотермальный пар в турбине парогенераторной установки, создавая мощность на валу для вращения генератора. После этого этапа рабочая жидкость собирается в конденсаторе и перекачивается обратно в испаритель для повторения цикла. Затем отработанная геотермальная жидкость может быть закачана обратно в геотермальный коллектор для пополнения.

В установках ОЦР используются конденсаторы как с водяным, так и с воздушным охлаждением. При использовании конденсаторов с водяным охлаждением требуется источник охлаждающей воды или подпиточной воды для градирни. Выходная мощность установок ОЦР, на которых используются конденсаторы с воздушным охлаждением, больше подвержена воздействию изменений температуры наружного воздуха, чем установки, оборудованные конденсаторами с водяным охлаждением.

Для бинарных силовых установок охлаждение имеет большое значение. Температура холодного источника оказывает значительное влияние на выходную мощность установки: чем больше перепад температур между этими двумя средами, тем большее количество энергии может быть получено в системе. Более низкие температуры конденсатора увеличивают падение давления на турбине, которая в свою очередь производит больше работы.

Все конденсаторы на бинарных установках являются закрытыми, и контакт между рабочей жидкостью и хладагентом отсутствует. Существует три основных вида охлаждения: прямое охлаждение, испарительные градирни и конденсаторы с воздушным охлаждением. Последний метод безусловно наиболее широко используется в геотермальных бинарных установках.

Упрощенная схема основных компонентов бинарной силовой установки представлена на Рисунке 23 ниже.



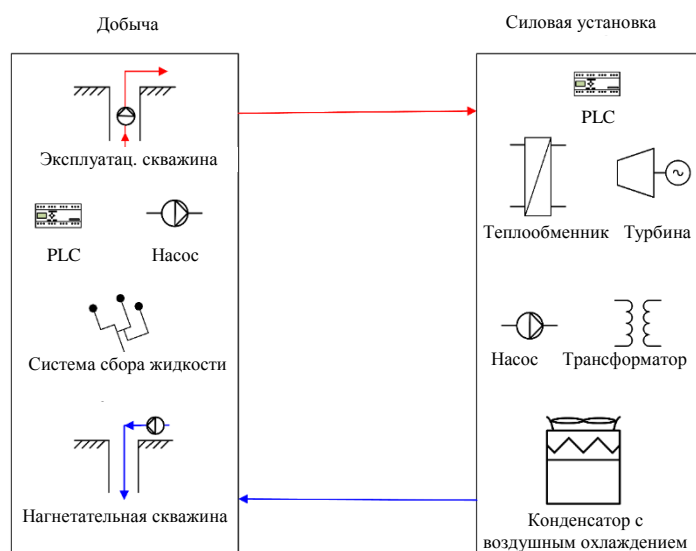


Рисунок 23 - Бинарная установка и геотермальная система производства электроэнергии

Имеется прямая связь между компонентами, схематично представленными на рисунке, и инвестиционными затратами. Однако целесообразность геотермального проекта зависит не только от инвестиционных затрат, поскольку выходная мощность и, в конечном счете, выработка энергии и стоимость электроэнергии также имеют важное значение. В следующем разделе объясняется, почему выходная мощность в различных проектах разная.

### 5.3.2 Выходная мощность

Поскольку данное исследование проводилось для абстрактного места реализации проекта и без конкретной информации о геотермальном ресурсе, авторы настоящего отчета на основе выходной мощности стационарной силовой установки подготовили сравнительный анализ установок, работающих при различных температурах. Основными переменными параметрами являются температура, расход геотермальных вод и расход хладагента.

Таблица 9 - Температура геотермальных вод, подводимое количество тепла и чистая выходная мощность

Температура ресурса °С	Массовый расход геотермальной жидкости, кг/с	Температура обратной закачки °С	Поступающий тепловой поток, кВт	Чистая выходная мощность, кВт	Коэффициент пересчета %
150	20,3	59,9	7 618	1 000	13,0
125	32,9	57,0	9 396	1 000	10,6
100	59,5	51,5	12 120	1 000	8,2

Расход геотермальной жидкости, необходимый для получения 1 МВт чистой выходной мощности, является основой для расчета количества скважин, обеспечивающих получение одинаковой выходной мощности, при различных температурах ресурса. Можно предположить, что стоимость силовой установки в каждом отдельном случае будет аналогичной и что инвестиционные затраты значительно возрастут при пониженной температуре ресурса, поскольку потребуется больше скважин, а также более мощная система сбора и обратной закачки геотермальных вод. Согласно расчетам, силовая установка мощностью 1 МВт в годов выработывает 8 322 МВт·ч.

На рисунках ниже представлена информация о циклах тепловой установки, которые были смоделированы, чтобы получить значения, указанные в таблице выше. В целях упрощения

сравнения все случаи основаны на бинарных циклах с использованием *n*-бутана и конденсаторов с воздушным охлаждением.

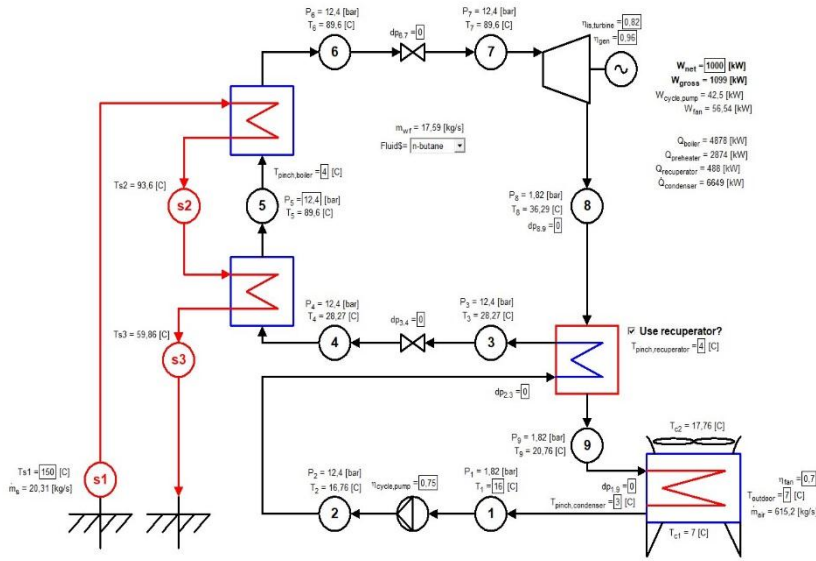


Рисунок 24 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 150°C

На Рисунке 24 показан наиболее благоприятный случай, когда температура геотермальной жидкости равна 150 °С. Массовый поток, необходимый для производства 1 МВт в этих условиях, составляет около 20 кг/с.

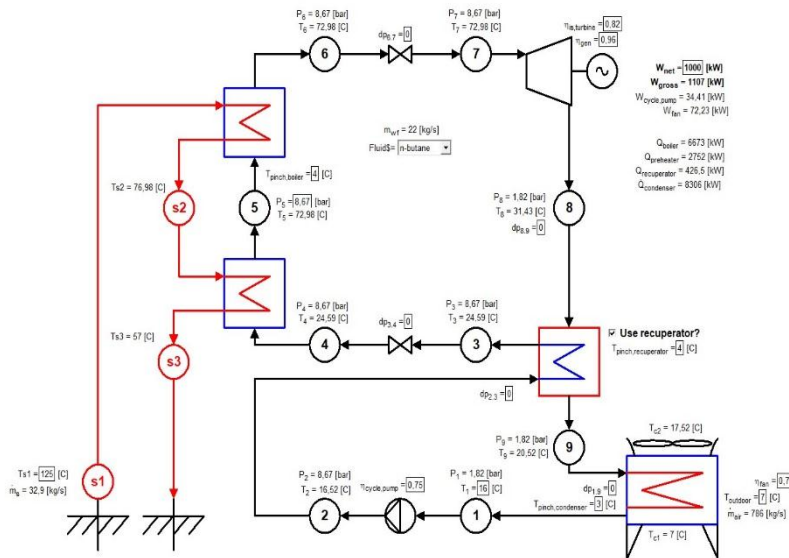


Рисунок 25 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 125°C

На Рисунке 25 показана бинарная установка, аналогичная предыдущей, за исключением того, что температура геотермальной жидкости в ней равна 125 °С. В этом случае массовый поток, необходимый для производства 1 МВт, составляет около 33 кг/с, что приблизительно на 65% больше, чем в случае, когда температура геотермальной жидкости равна 150°С.

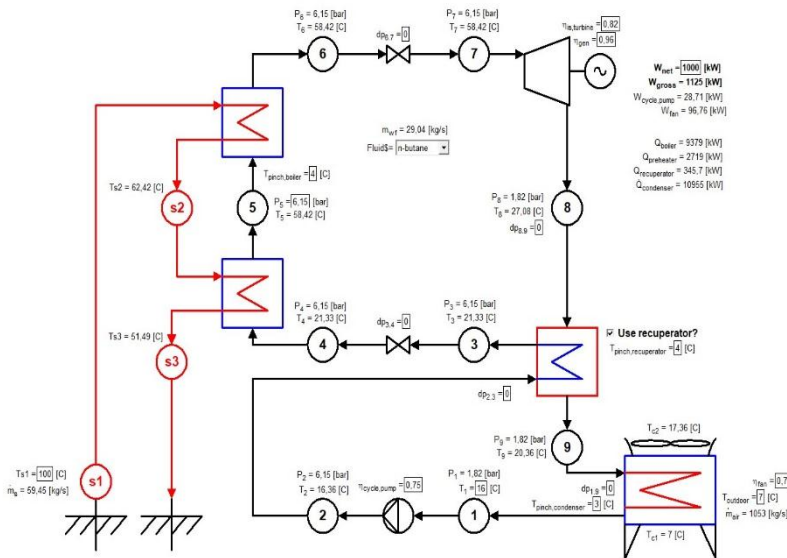


Рисунок 26 - Одноступенчатый жидкостно-бинарный цикл при температуре геотермальной жидкости 100°С

На Рисунке 26 показан наименее благоприятный случай, когда температура геотермальной жидкости составляет 100 °С. В этом случае массовый поток, необходимый для производства 1 МВт, равен приблизительно 60 кг/с, что примерно в 3 раза больше, чем необходимо для производства 1 МВт при использовании геотермальной жидкости с температурой 150°С. Есть много объяснений такого увеличения потока, например, пониженная энтальпия и низкий КПД конденсатора при более низкой рабочей температуре турбины.

### 5.3.3 Обсуждение параметров затрат

Важным фактором выполнимости проекта использования геотермальной энергии являются затраты по сравнению с количеством энергии, которая может быть получена. В данном разделе представлено краткое введение в инвестиционные затраты, затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание и даны комментарии к основным факторам производства энергии.

#### Инвестиционные затраты

Типичные инвестиционные затраты для бинарной силовой установки включают:

- Силовую установку:
  - здание;
  - силовое оборудование;
  - механическое оборудование, трубопроводы, теплообменники, турбину и конденсаторы;
  - электрическое и контрольное оборудование.

Порядок величин инвестиционных затрат на создание бинарной силовой установки составляет 2,0 - 3,0 млн. долл. США на МВт полной установленной мощности.

### *Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание*

Целесообразность проекта будет зависеть не только от затрат на строительство и разработку, но также и от эксплуатационных затрат и конечно от объемов энергии, которая может быть продана в распределительные сети, а также и от продажной цены. Вопрос цены страны обычно решают при помощи специальных тарифов на электрическую энергию, получаемую из возобновляемых источников, включая тарифы на геотермальную энергию. В некоторых случаях разработчики должны заключать договоры о покупке электроэнергии (ДПЭ) с компетентным органом, чтобы обеспечить получение оплаты за произведенную электроэнергию в средне- и долгосрочной перспективе.

Типичные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание включают:

- персонал;
- запасные части и расходные материалы;
- плановые работы по техническому обслуживанию;
- накладные расходы и страхование;
- замену скважин.

Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание установок значительно различаются и зависят от размера и вида установки, местоположения и философии эксплуатации, выбранной на этапе проектирования владельцем установки. Типичные ежегодные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание находятся в пределах 2,0 - 4,0% общих затрат на установку.

### *Выработка энергии*

Количество энергии, которое может выработать установка, является фактором, который различается больше всего между проектами при условии, что проекты имеют аналогичный масштаб. На КПД бинарной силовой установки оказывают влияние различные факторы:

- температура геотермальной жидкости;
- дебет каждой скважины, т.е. количество скважин;
- глубина залегания уровня воды;
- технология охлаждения и температура окружающей среды;
- размер установки.

Как объяснялось выше, система охлаждения играет важную роль в тепловой эффективности установки. Колебания температуры охлаждающейся жидкости при выборе устройств как с воздушным, так и водяным охлаждением могут оказывать значительное влияние на выработку энергии установкой.

Поддержание как можно большего падения давления на турбине без чрезмерного использования геотермальной жидкости является одним из самых важных параметров, оказывающих воздействие на КПД силовой установки. Чрезмерное использование геотермальной жидкости по отношению к энергии, вырабатываемой установкой, может привести к увеличению мощности, необходимой для откачки жидкости из эксплуатационных скважин или для обратной закачки, что сделает эксплуатацию установки экономически невыгодной.

Типичный КПД оборудования установки:

- Изэнтропический КПД турбины обычно равен приблизительно 80%. Изэнтропический КПД описывает отношение между фактической работой турбины и максимальной теоретической работой, как если бы энтропия во время процесса оставалась постоянной.

- КПД генератора может составлять приблизительно 95%. Он включает потери в генераторе и передаточных механизмах.
- КПД насосов и двигателей может составлять приблизительно 70%.

Геотермальные энергетические установки обычно используют произведенную ими электроэнергию для покрытия собственных потребностей. Собственные потребности не относятся к эксплуатационным затратам. Они только уменьшают количество энергии, подаваемой в распределительные сети. Обычно коэффициент полезной мощности геотермальной бинарной силовой установки составляет 70-80%.

## 5.4 Прямое использование геотермальных ресурсов

При наличии геотермальных ресурсов производство электроэнергии часто считается приоритетом. Это неправильное понимание вопроса, поскольку прямое использование геотермальных ресурсов обычно является очень эффективным процессом, и имеет смысл отдать предпочтение такому использованию при наличии местных рынков, например, когда рядом расположен населенный пункт, в котором имеет потребность в отоплении помещений или когда местные промышленные предприятия могут непосредственно использовать тепло. Считается, что замена обычных источников тепла, таких как ископаемое топливо или уголь, геотермальными оказывает положительное влияние на изменение климата, повышает качество воздуха и увеличивает энергетическую независимость местных сообществ.

Потенциальный рынок для прямого использования геотермальных ресурсов обширен. Например, в 2012 году приблизительно 25% энергии в США использовалось при температурах <math><120^{\circ}\text{C}</math>, а ее большая часть была произведена за счет сжигания природного газа и нефти. В Европе это соотношение еще выше, и можно ожидать, что в Казахстане ситуация не лучше. В основном, геотермальные жидкости, используемые без преобразования, могут иметь температуру от низкой до средней в диапазоне от 50 до 150°C. Поэтому прямое использование геотермальных ресурсов в промышленных целях должно быть среди приоритетных задач разработчиков на этапе планирования проекта. Это также хороший способ распределения рисков, если поставить поступления не только в зависимость от продолжительности отопительного сезона, но и получать их из различных секторов экономики. При отсутствии уже имеющихся потенциальных пользователей работа будет заключаться в планировании промышленного или экопарка на ранних этапах проекта в сотрудничестве с местными сообществами с целью создания возможностей для обслуживания потенциальных пользователей транспортным трубопроводом, аналогичным системе центрального отопления.

С исторической точки зрения наиболее распространенными формами прямого использования является отопление, бальнеология, земледелие, аквакультура и некоторые виды использования в промышленности. Эти виды использования обычно являются простыми и заключаются главным образом в утилизации тепла, хотя некоторые виды использования также связаны с извлечением химических веществ, газов или минерального сырья, содержащихся в геотермальных жидкостях.

Следует отметить, что в настоящее время геотермальные тепловые насосы являются самым распространенным видом прямого использования низкотемпературной энергии. Они обычно используются в случае так называемых «подповерхностных» ресурсов с очень низкой температурой и необходимой входной мощностью до 20-40% выходной мощности в зависимости от условий. Эти виды использования не будут рассматриваться более подробно в этом Исследовании, поскольку оно посвящено ресурсам с более высоким потенциалом энтальпии.

Наиболее распространенные виды прямого использования представлены в разделах ниже.

### 5.4.1 Центральное отопление

По системам центрального отопления тепловая энергия поставляется в населенные пункты для обогрева зданий и в некоторых случаях для бытового горячего водоснабжения. В геотермальных системах центрального отопления большая часть энергии вырабатывается из геотермальных ресурсов. По различным экономическим причинам во время пиковых нагрузок в некоторых случаях могут подключаться и другие источники энергии.

Геотермальные системы центрального отопления обычно включают скважины, системы сбора, транспортировки и распределения, центральные тепловые пункты и оборудование, используемое в период пиковых нагрузок, для обогрева или охлаждения группы зданий.

Упрощенная схема основных компонентов системы геотермального центрального отопления представлена на Рисунке 27 ниже.

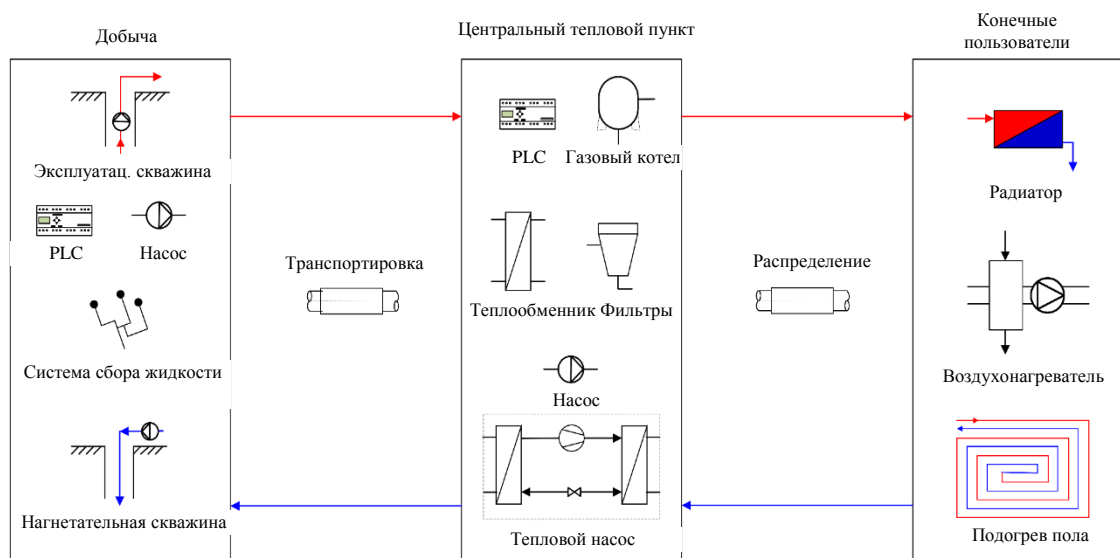


Рисунок 27 - Основные компоненты системы геотермального центрального отопления

В зависимости от характеристик геотермальной жидкости, уже имеющихся элементов системы или других технических или экономических аспектов могут применяться различные концепции использования геотермальных ресурсов для отопления. Транспортировка энергии между местом добычи геотермальных ресурсов и центральным тепловым пунктом обычно осуществляется по трубопроводам большого диаметра. С другой стороны, распределительная система является более обширной. В ней используются трубы меньшего диаметра, которые прокладываются до каждого конечного пользователя.

#### Транспортировка геотермальной энергии

Для транспортировки геотермальной жидкости от геотермального месторождения до центрального теплового пункта, расположенного в жилой зоне или рядом с ней, следует использовать двухтрубные системы с изоляцией. Однотрубная система отопления является открытой системой, использующей геотермальную жидкость непосредственно в элементах отопления помещений. Она более экономична, чем двухтрубная система отопления, но она не пригодна в тех случаях, когда требуется обратная закачка.

Магистральная двухтрубная система является закрытой системой, используемой в этой части системы для транспортировки геотермальной жидкости от геотермального месторождения до и от центрального теплового пункта, где вода из системы центрального отопления нагревается в теплообменниках.

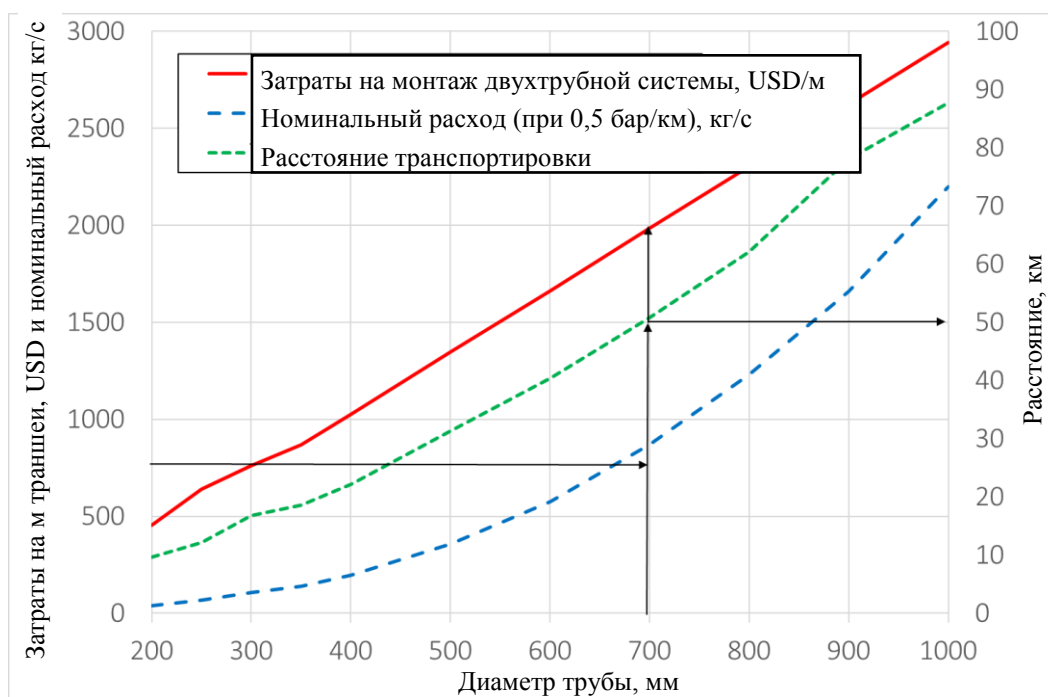


Рисунок 28 - Затраты на монтаж, массовый расход и рациональное расстояние транспортировки для магистральной двухтрубной системы

На Рисунке 28 показаны основные графики выбора параметров геотермальной трубопроводной системы. Он дает представление о максимальном экономически обоснованном расстоянии транспортировки на основе предполагаемых тепловых потерь в трубопроводе при стоимости тепла 0,01 дол. США/кВт·ч. Предполагается, что расход будет постоянным в течение всего года. Падение коэффициента загрузки магистральной трубы указывает на сокращенное максимальное расстояние транспортировки.

Например, диаметр трубопровода, пригодный для транспортировки массового потока 750 кг/с будет равен 2 x DN 700 (номинальный диаметр). Связанные затраты равны 2 000 долларов США за метр траншеи, а максимальное экономически обоснованное расстояние транспортировки составляет 50 км.

### Центральный тепловой пункт

Для подачи горячей воды конечным пользователям могут использоваться различные системы центрального отопления. Центральные тепловые пункты с подогревателем для режима пиковой нагрузки могут быть экономичным решением, и такая конфигурация должна быть рассмотрена наряду с другими с учетом характеристик геотермального ресурса и потребности в режиме пиковой нагрузки при обогреве помещений.

Центральный тепловой пункт функционирует как точка контакта между системой добычи геотермальной энергии и пользователями. Он получает энергию из геотермальной жидкости и передает ее пользователям через теплообменник и насосную систему. Когда система центрального отопления покрывает потребности конечных пользователей в обогреве помещений и бытовом горячем водоснабжении, геотермальная система производства энергии будет использоваться круглый год. Тепло от внешнего поставщика, газового котла или отработанное тепло могут поставляться на центральный тепловой пункт и использоваться в качестве дополнительного источника энергии в период максимальной нагрузки.

Затраты центральных тепловых пунктов в большой мере зависят от места размещения и оборудования, необходимого для каждого проекта, а также от различных местных условий. Однако оптовая цена геотермального центрального теплового пункта и оптимального

сочетания тепловых насосов и котла, используемого в период максимальной нагрузки, составляет приблизительно 150 000 долларов США за МВт установленной мощности.

### ***Система распределения***

Система распределения состоит из прямого и обратного трубопроводов, соединяющих центральный тепловой пункт и конечных пользователей.

Типичная стоимость системы распределения, включая подключение к пользователям, в городском районе составляет около 50 000 долларов США на гектар. Затраты на монтаж являются почти постоянными на гектар и не меняются в зависимости от плотности застройки и населения. Затраты более чувствительны к восстановлению поверхностного слоя и могут находиться в диапазоне от 40 000 долларов США до 80 000 долларов США на гектар. Разумеется, дешевле всего установить такую систему на участке нового строительства, когда проводятся подготовительные работы перед началом строительства. Дороже устанавливать систему распределения на полностью застроенных улицах с травой и искусственным покрытием вследствие затрат, связанных с последующим восстановлением поверхности. Благоустройство улиц в Жаркенте завершено не полностью, и авторы отчета полагают, что затраты на монтаж системы распределения в таких условиях будут находиться, скорее всего, в нижней части диапазона.



*Рисунок 29 - Вид улицы в центре города Жаркента*

На Рисунке 29 показана типичная улица Жаркента. По-видимому, повсюду между проезжей частью и тротуарами, имеются участки, засыпанные гравием, где можно уложить трубы. Таким образом, затраты на восстановление поверхностного слоя будут минимальными.

### ***Учет потребления и тарифообразование***

Методы учета потребления и тарифообразования могут оказать существенное воздействие на структуру энергопользования и энергопотребления пользователей. Особое внимание следует уделять методам учета потребления и тарифообразования с учетом перспектив использования геотермальной энергии для отопления, поскольку это является поводом для беспокойства в отношении устойчивого использования геотермальных ресурсов и успеха проектов центрального теплоснабжения.

Хороший метод учета потребления создает стимулы для пользователей к снижению потерь энергии и экономии энергии, предпочтительно при помощи недорогих приборов учета. Менее



строгие методы учета вообще не создают этих стимулов, а если и создают, то с гораздо менее выраженной адресностью. В контексте геотермальной системы центрального теплоснабжения учет потребления должен:

1. стимулировать энергосбережение;
2. стимулировать оптимальный отбор тепла из системы центрального теплоснабжения; и
3. обеспечивать максимальные продажи в зависимости от наличия теплоносителя.

Пункты 1 и 2 являются наиболее актуальными целями в тех случаях, когда геотермальная энергия извлекается из коллектора с ограниченным потенциалом и используется главным образом для целей отопления. Пользователи должны оплачивать потребление ими энергии в сетях центрального теплоснабжения, и этой оплаты пользователей должно хватать на выплату заработной платы персоналу оператора, закупку энергии в периоды пиковых нагрузок и покрытие затрат на монтаж сети. Затраты на теплоснабжение переносятся на пользователей в виде счетов, включающих три вида платежей:

- Единовременную плату за подключение: Это сбор, который владелец вносит за подключение дома к сети теплоснабжения. Этот сбор используется для покрытия части затрат коммунального предприятия, связанных с монтажом системы отопления. Остальные затраты на монтаж оплачиваются пользователями в составе платы за пользование.
- Фиксированную ежегодную плату: Почти всегда используется фиксированная ежегодная плата. Это может быть единовременный сбор или часть сбора в зависимости от используемого метода взимания оплаты. Фиксированная ежегодная плата часто используется для покрытия постоянных расходов на обслуживание отопительной сети.
- Абонентскую плату: Абонентская плата используется во многих видах начисления оплаты. Эта плата часто связывается с объемом потребления каждого пользователя, например, пропорционально поступающему потоку или потребляемой энергии.

Механизм финансирования коммунального предприятия теплоснабжения основывается на взимании платы для покрытия своих расходов. Нахождение оптимального соотношения между единовременной платой за подключение и двумя видами ежегодных платежей является первым решением, которое следует принять. Чтобы удовлетворить каждое из перечисленных выше условий, необходимо использовать различные методы учета потребления. Далее предлагается оценка различных возможных методов учета потребления:

- Использование квадратных метров ( $m^2$ ) в качестве основы для учета не считается надлежащим методом. Этот метод учета потребления не учитывает ни одной важной переменной в отношении энергосбережения, например, температуру на входе и выходе, массовый поток или потребляемое тепло.
- Использование расходомеров для учета потребления считается довольно хорошим методом. При использовании расходомеров для учета потребления с потребителя взимается плата за пользование водой в соответствии с количеством потребленной воды (в кубических метрах или тоннах). Этот метод учета довольно широко применяется в Исландии. Этот метод стимулирует энергосбережение и вполне применим для учета потребления тепла, когда используются ограниченные низкоэнталийные источники тепла. На практике потребление тепла будет меняться в зависимости от наружной температуры. Недостаток этого метода состоит в том, что потребитель, живущий далеко от источника тепла, получает более холодную воду, в результате чего он будет потреблять более мощный поток и нести более высокие переменные издержки, чем те, кто живет ближе к источнику тепла.
- Использование приборов учета потребления тепловой энергии для взимания платы с потребителей считается нецелесообразным методом для геотермального отопления. Этот метод распространен в обычных системах, в которых использование приборов

учета потребления тепловой энергии основано на измерении потока, а также температуры на входе и выходе. В дополнение к этому, потребление тепла рассчитывается и сохраняется в компьютере или в приборе учета, оснащенный памятью. Учет потребления тепловой энергии является достижением, когда теплоснабжение обеспечивается только за счет сжигания угля или природного газа, поскольку эти методы меньше зависят от низкой температуры на выходе. Этот метод дает некоторое представление о потреблении тепловой энергии в различных зданиях и может оповестить о ее чрезмерном потреблении. Однако этот вид учета потребления не считается целесообразным для геотермальных систем, поскольку он не учитывает температуру на выходе или падение температуры у потребителя. Небольшой перепад температур на отопительном оборудовании пользователей остается безнаказанным. Нарушая правила пользования, пользователи могут устанавливать в своих домах чрезвычайно миниатюрное нагревательное оборудование, требующие применения труб большого диаметра и насосов, которые являются дорогими для коммунального предприятия теплоснабжения. Высокая температура на выходе является неблагоприятным фактором в системе геотермального теплоснабжения и ведет к неэффективному расходу тепла.

- Прибор учета потребления тепловой энергии с расчетной (или фиксированной) температурой на выходе теоретически является оптимальным прибором в тех случаях, когда охлаждение в сетях центрального отопления может быть проблемой. Этот прибор позволяет взимать с пользователей одинаковую плату за тепло, которое им поставляется с подаваемой водой. В качестве необходимых входных параметров в приборе используется расход и температура на входе. Температура наружного воздуха может использоваться для расчета ожидаемой температуры на выходе для правильно спроектированной внутренней системы отопления в соответствии с рекомендациями провайдера системы центрального отопления. В настоящее время эта система учета потребления находится на этапе разработки, но это будет довольно хороший метод, особенно для геотермальных тепловых сетей. Он будет способствовать созданию одинакового режима для пользователей в больших системах центрального отопления.

Следует иметь в виду, что между коммунальными предприятиями теплоснабжения существует конкуренция. Для минимизации своих счетов за тепловую энергию пользователи могут, например, повысить энергоэффективность своих домов или закупать тепло у других более дешевых источников, поэтому системы учета потребления и тарифообразования должны быть тщательно проработаны.

### ***Конечный пользователь***

При использовании геотермальных источников тепла теплоизоляция и системы отопления домов в геотермальных системах центрального отопления являются наиболее важными компонентами. Если геотермальное тепло используется в ненадлежащих системах отопления домов, эксплуатация источника энергии будет неэффективной и устойчивое использование ресурса не будет обеспечено.

Температура в обычных системах центрального отопления, использующих ископаемое топливо, падает с 90°C до 70°C в периоды максимальной тепловой нагрузки для среднего многоквартирного дома. Чтобы иметь возможность использовать низкотемпературные системы центрального отопления, т.е. воду с температурой 65 - 75°C на входе, общий размер нагревательного элемента должен быть большим.

Монтаж геотермальной системы центрального отопления в зданиях старой постройки со старыми жидкостными системами может оказаться трудным делом. Для этого почти всегда требуется модернизировать системы отопления у конечных пользователей.

Кроме того, тип отопительной системы, используемой в зданиях, следует тщательно выбирать с учетом уровня температуры жидкости, подаваемой в системе центрального отопления. В случае геотермального отопления обычно используются радиаторы или системы подогрева пола, хотя также возможно использование воздушных систем отопления. Также может быть смонтирована каскадная система, в которой используются радиаторы с температурами на входе/выходе  $75^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$  в сочетании с системой подогрева пола.

Здесь ключевым моментом является энергоэффективность зданий, поэтому не рекомендуется устанавливать системы геотермального отопления без усиления изоляции. Тепловые потери зданий с хорошей теплоизоляцией могут составлять всего  $1,6 \text{ В/м}^2\text{C}$ , однако, согласно расчетам, в целом по Казахстану эта цифра приближается к  $2,3 \text{ В/м}^2\text{C}$ . Если разница между температурой внутри помещения и снаружи равна  $30^{\circ}\text{C}$ , то тепловые потери составят около  $50 \text{ Вт/м}^2$  для высокоэффективного здания, но достигнут  $70 \text{ Вт/м}^2$  для типичного здания с менее эффективной изоляцией.

#### 5.4.2 Овощеводство и цветоводство

Геотермальные ресурсы идеально подходят для применения в овощеводстве, в частности, когда можно использовать большое количество низкотемпературной геотермальной жидкости для отопления теплиц, обогрева почвы и орошения.

Первые эксперименты в области геотермического овощеводства, которые заключались в выращивании картофеля на естественно обогреваемой почве, были проведены в Исландии в 1850 году (Ханссон, 1982 год). С использованием геотермического тепла можно выращивать различные виды культур (включая помидоры, грибы, огурцы, паприку и комнатные растения или цветы). Такое способ использования может способствовать значительному снижению операционных затрат и считается интересным вариантом для бизнеса с высокой потребностью в тепле в регионах с холодным климатом. В регионах с жарким климатом геотермальная энергия может использоваться для контроля влажности или борьбы с ночным холодом в пустынных районах. Геотермальные воды также могут быть источником  $\text{CO}_2$  для использования в теплицах.

Обогрев теплиц является довольно энергозатратным, и его целесообразно применять в тех случаях, когда доступны большие запасы геотермальной энергии. В больших теплицах тепловые потери составляют  $7,5 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ . Когда температура наружного воздуха равна  $-15^{\circ}\text{C}$ , а температура внутри помещения составляет  $+20^{\circ}\text{C}$ , тепловые потери достигают  $260 \text{ Вт/м}^2$ .

В Жаркенте уже имеется тепличное хозяйство, в котором используется геотермальная энергия, и такой вид деятельности следует продвигать и дальше.

#### 5.4.3 Бальнеология

Термальные воды используются во всем мире в течение многих веков. Очень популярны курорты с горячими источниками. В некоторых местах, где термальные воды обладают определенными целебными свойствами, в течение многих десятилетий и даже веков действуют оздоровительные центры. Геотермальное тепло также может использоваться для обогрева бассейнов и спа. В таких случаях температура термальных вод и содержание минеральных веществ являются важными параметрами.

В небольшой деревне под названием Сарыпылдак в Жаркентском бассейне располагается курорт, на котором геотермальное тепло используется для обогрева бассейна и бани, а также теплоснабжения гостиниц, школы и т.д. Такое использование геотермального тепла следует и дальше продвигать в этом регионе.

#### 5.4.4 Рыбоводство

Аквакультура или культивирование в воде - это выращивание водных организмов, таких как рыба, ракообразные, моллюски и водные растения. Выращивание происходит в

контролируемых условиях. Наиболее распространенными среди выращиваемых видов являются сом, окунь, тилапия, осетр, креветки и тропические виды рыб. Одна из целей использования геотермальных вод в рыбоводстве состоит в увеличении скорости прироста. Геотермальные технологии также довольно широко применяются в животноводстве.

Использование геотермальных ресурсов в аквакультуре зависит от вида выращиваемых водных организмов, качества воды и ее состава. В некоторых случаях геотермальные жидкости могут использоваться непосредственно в водоеме или бассейне для подачи необходимого тепла. Если геотермальная жидкость непригодна для выращивания водных организмов, могут потребоваться теплообменники. Это зависит от качества геотермальных вод.

В Жаркентском бассейне имеется, по крайней мере, одно рыбоводческое хозяйство (ТОО «Ecofish Products»), в водоемах которого используются геотермальные воды прямо из скважины. На Рисунке 30 представлена фотография этого объекта, сделанная во время посещения этого хозяйства. От холодной погоды рыбоводные бассейны защищены стеклянной крышей, предназначенной для снижения тепловых потерь, связанных с воздействием холодного ветра, являющегося критическим фактором в крупных рыбоводческих хозяйствах, выращивающих рыбу в открытых водоемах.



*Рисунок 30- Рыбоводство в Жаркентском Бассейне*

Этот пример свидетельствует о том, что выращивание рыбы в геотермальных водах в Жаркентском бассейне возможно и что такую деятельность следует и дальше изучать и продвигать.

#### **5.4.5 Использование в промышленности**

Применение в промышленности охватывает довольно широкий спектр видов промышленной деятельности, для которых необходимы жидкости с низкой и средней температурой, например, для предварительного подогрева, промывки, выпаривания, дистилляции или сушки. Они также могут использоваться при производстве соли и других химических веществ. Геотермальные ресурсы также могут применяться для охлаждения при помощи тепловых насосов. Могут потребоваться более высокие температуры, чем необходимые для тех видов использования, которые описаны выше. Например, для сушки и охлаждения обычно требуются температуры выше 90°C.

Имеется широкий диапазон способов промышленного применения геотермальных ресурсов. Во многих случаях после незначительной адаптации может быть обеспечено технически эффективное и экономически выгодное применение обычных производственных процессов, в которых используется тепло.

Интересным примером промышленного использования является геотермальная тепловая установка «Rittershoffen», эксплуатируемая компанией «ÉS Géothermie» во Франции с 2016 года. Геотермальный дублет поставляет тепло на промплощадку «Roquette Frères», расположенную на расстоянии около 15 км. Эта тепловая установка покрывает 25% потребностей объекта в технологическом тепле. Номинальная мощность установки составляет 25 МВт. Геотермальная жидкость имеет температуру около 170°C. Она закачивается обратно при температуре 70°C. Ожидается, что проект обеспечит сокращение выбросов CO<sub>2</sub> на 39 000 тонн в год.

Молокоперерабатывающее предприятие «Miraka» в Новой Зеландии работает с 2011 года. В его технологическом процессе используется отработанное тепло геотермальной установки «Tuagoraki», расположенной поблизости. Перерабатывается и утилизируется около 60 гигаджоулей отработанного тепла в день, произведенного на этой установке. На установке можно перерабатывать молоко от 50 000 коров или 210 миллионов литров молока в год, из которого производится 32 000 тонн цельного сухого молока.<sup>12</sup> В Каверау строится еще одно молокоперерабатывающее предприятие. На нем будет производиться 8 000 метрических тонн сухого молока в год. Ожидается, что будут созданы 30 рабочих мест, что окажет положительное воздействие на местную общину маори.

#### 5.4.6 Обсуждение параметров затрат

Предпочтительная температура воды для отопления помещений с использованием геотермальной энергии находится в диапазоне 70-100°C. Геотермальные тепловые насосы могут использоваться, если температура ресурса слишком низкая для прямого применения. Их также можно использовать для дополнительного отбора тепла с целью понижения температуры жидкости при обратной закачке в каскадной схеме. Обычно температура обратной воды на таких установках составляет 10-40°C.

Еще одним критерием при планировании геотермальных систем центрального отопления является плотность населения в рассматриваемой зоне, поскольку она является важным фактором экономической целесообразности системы. Большая удаленность от рынка ведет к увеличению капитальных затрат и сопутствующих эксплуатационных расходов, включая, среди прочего, тепловые потери и расходы, связанные с перекачкой. Кроме того, следует проверить рынок на предмет совместимости с геотермальной системой отопления, как уже говорилось в разделе 0.

Как было сказано в разделе 0, выбор применимого метода учета потребления чрезвычайно важен для достижения цели создания экономичной и практичной геотермальной системы центрального отопления. Ожидается, что высококачественный метод учета потребления очертит границу для местных условий, где цены будут устанавливаться на конкурентоспособных уровнях с тем, чтобы все пользователи могли позволить себе покупать тепло и прилагали все усилия для адаптации к предпочтительным условиям отопления.

### 5.5 Каскадное и комплексное использование геотермальных ресурсов

Каскадное использование заключается в том, что группа пользователей, соединенных последовательно, использует энергию, оставшуюся от предыдущего пользователя. Комплексное использование предусматривает схему эксплуатации, ориентированную на

<sup>12</sup> <https://www.foodprocessing-technology.com/projects/miraka-milk-powder-plant/>

оптимальное использование ресурсов и инвестиций. Это достигается, например, за счет использования геотермальных установок, обслуживающих систему центрального отопления вне отопительного сезона.

Очень важно, чтобы к лицам, имеющим лицензии на эксплуатацию геотермальных ресурсов, предъявлялось требование по оценке возможности каскадной или комплексной эксплуатации с тем, чтобы обеспечить максимально полное использование энергии и максимально возможную доходность инвестиций. Это будет выгодно не только оператору, но и населению. Кроме того, будет обеспечена большая экологическая устойчивость, чем при использовании одного метода эксплуатации.

## 5.6 Перспективы: концепция «Парка геотермальных ресурсов»<sup>TM</sup> в Рейкьянесе (Исландия)

Главными продуктами и сферами деятельности парков являются отели, бальнеология, сушка рыбы, рыбоводство, оздоровительный туризм, производство метанола, морских водорослей, косметики и т.д. из веществ, присутствующих в геотермальных водах и ресурсах, участвующих в технологических процессах, протекающих в установках по производству геотермальной энергии, например, пресная и морская вода.

Потоки доходов, создаваемые установками по производству геотермальной энергии, включают:

- электричество;
- геотермальную жидкость;
- геотермальный пар;
- горячую воду;
- холодную воду;
- CO<sub>2</sub>.

Геотермальное месторождение Свартсенги активно осваивается с 1970-х годов акционерным обществом «Hitaveita Sudurnesja». Первоначальная цель заключалась в производстве горячей воды для соседних населенных пунктов и маломасштабного производства электроэнергии для собственного потребления системой центрального отопления. С тех пор эта компания была разделена на основании закона о структурном разделении в энергетическом секторе Исландии. В настоящее время компания «HS Orka» эксплуатирует установки в Свартсенги и Рейкьянесе мощностью 75 мегаватт и 175 Мвт, а компания «HS Veita» управляет различными системами центрального отопления, включая системы, связанные с установками по производству геотермальной энергии. В настоящее время компания «HS Orka» является частной.

Однако в плане перспектив история этих установок далека от завершения. Вскоре после начала эксплуатации установки в Свартсенги из геотермальной жидкости, сбрасываемой из установки, образовалась Голубая лагуна, которая сразу стала популярным местом купания. После изучения пользы жидкости для лечения псориаза в 1995 году было начато оказание платных услуг. Сегодня Голубую лагуну, получившую международное признание, посещают более миллиона человек в год. Около 700 человек заняты в этом предприятии и в оказании других смежных услуг.

С другой стороны, исландская экономика сильно зависит от рыболовства, и обеспечение эффективной переработки продуктов рыболовства в целях максимальной загрузки мощностей имеет особое значение для этого сектора. Сохранение рыбных ресурсов является основным элементом этого подхода. Страна перешла от традиционной сушки на открытом воздухе к сушке с использованием геотермального пара. Компания «Haustak» является примечательным примером этого подхода к сушке различных рыбных субпродуктов при помощи энергии, поставляемой установкой по производству геотермальной энергии в Рейкьянесе. Таким образом, эта компания продвигает продукты, которые в противном случае пошли бы в отходы, что еще раз иллюстрирует концепцию геотермального парка безотходного общества.

Геотермальная энергия также имеет различные еще не изученные аспекты, которые должны стать предметом научных исследований и разработок. Геотермальный парк позволил развить



биотехнологические стартапы, такие как «ORF Genetics», или инновационные компании, такие как «Carbon Recycling International», занимающиеся производством метанола. CO<sub>2</sub> также производится для обогащения атмосферы в помещениях, предназначенных для выращивания морских водорослей, или в теплицах. Также разрабатываются инновационные концепции по оптимизации получения энергии на силовых установках и добыче CO<sub>2</sub> для различных целей.

Хотя это и имеет смысл, концепция безотходного общества, которая лежит в основе развития парков геотермальных ресурсов, не так очевидна в контексте компаний, занимающихся производством энергии, и в контексте, где экономическая деятельность более или менее ограничена рамками определенного сектора. В случае Свартсенги и Рейкьянеса потребовалась настойчивость провидца г-на Альберта Альбертссона, чтобы люди признали и увидели своеобразие геотермальной энергии и приняли участие в демонстрации реализуемости такой модели. Спустя более чем четыре десятилетия после начала производства энергии в Свартсенги воздействие геотермальной энергии на экономическую деятельность на полуострове Рейкьянес стало очевидным. Хотя на установках в Свартсенги и Рейкьянесе непосредственно занято около 60 человек, на предприятиях, осуществляющих свою деятельность с использованием геотермальных ресурсов, непосредственно работает 500 человек. Согласно оценкам, около 600 дополнительных рабочих мест связано с геотермальной энергией в Рейкьянесе.

В 2013 году из доходов в сумме около 130 млн. долл. США, полученных парком геотермальных ресурсов, приблизительно 60% были произведены компаниями «HS Orka» и «HS Veitur», а еще 24% были заработаны Голубой лагуной. А еще 15% доходов связаны с диверсификацией использования геотермальной энергии. Следует отметить, что в дополнение к тому, что диверсификация создает новый источник доходов, она позволяет диверсифицировать риски, что считается преимуществом для геотермального оператора.

## 6 Тематические исследования по использованию геотермальных ресурсов в Жаркентском бассейне

### 6.1 Местные погодные условия

Одним из фундаментальных аспектов, который следует изучить для прямого использования геотермальных ресурсов, является анализ температуры наружного воздуха, поскольку нагрузка на систему отопления зависит главным образом от характеристик здания и от местных погодных условий. Были получены почасовые метеорологические данные за типичный год, которые использовались для расчета графика нагрузки системы отопления по продолжительности. На Рисунке 31 показан температурный профиль типичного года в Жаркенте.

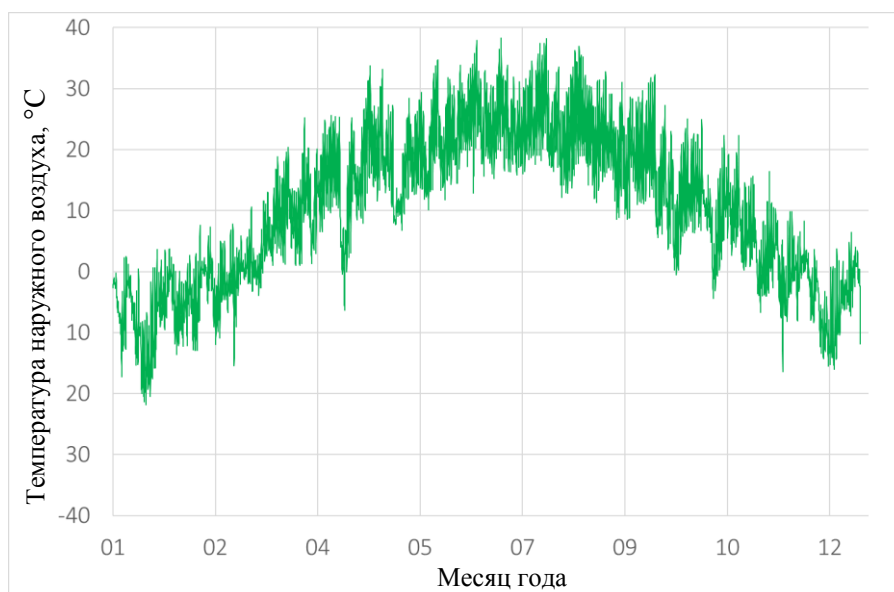


Рисунок 31 - Температурный профиль Жаркента

Среднегодовая температура наружного воздуха составляет около 10°C. Затем был проведен простой анализ повторяемости, чтобы получить график продолжительности стояния температур, как показано на Рисунке 32.



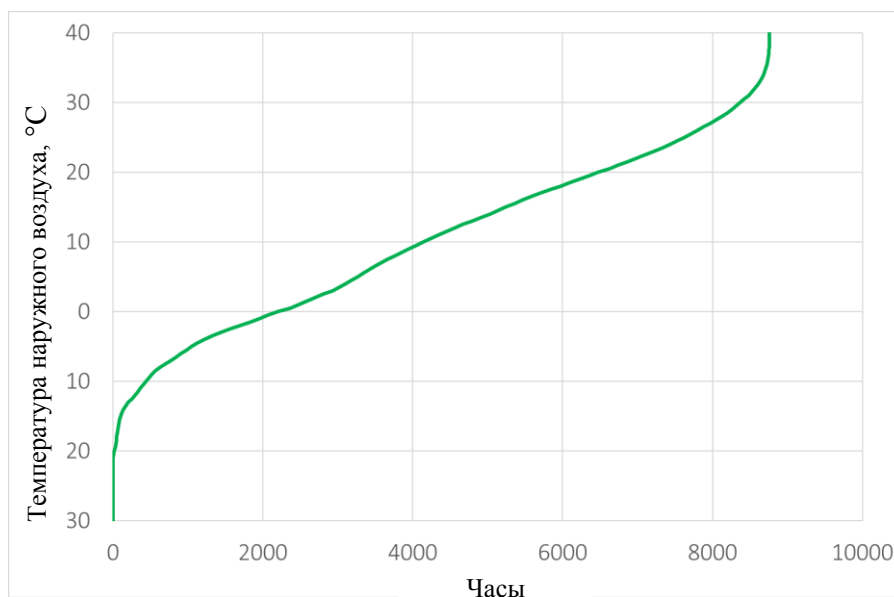


Рисунок 32 - Температурный профиль Жаркента

При помощи графика продолжительности стояния температур мы хотим показать количество дней или часов в году, в течение которых температура наружного воздуха ниже определенного значения. Кривая продолжительности стояния также используется для расчета отопительного периода и коэффициента нагрузки, важного элемента экономики системы геотермального центрального отопления.

Также тщательно изучаются волны сильного холода. Они характеризуются своей периодичностью и интенсивностью, т.е. намного более холодными температурами, чем обычно. Крутой конец кривых слева на Рисунке 32 указывает на интенсивность этого явления. Если бы система центрального отопления была спроектирована для самой холодной погоды, имевшей место в прошлом, то она работала бы с частичной нагрузкой большую часть времени. Поскольку инвестиционные затраты пропорциональны установленной мощности, использование системы центрального отопления, спроектированной для самой холодной зарегистрированной погоды, было бы нецелесообразно. При проектировании системы центрального отопления одним из допущений является то, что в периоды самых больших холодов температура внутри помещения может падать до определенного уровня ниже расчетной температуры. Это допущение довольно безопасно для таких систем вследствие, среди прочего, инерционности всей системы, как было показано в различных исследованиях функционирования систем центрального отопления. При выборе расчетной температуры наружного воздуха для системы отопления обычно пренебрегают температурами с продолжительностью стояния менее 0,1% времени или 100 часов в год. Это означает, что расчетной температурой будет температура, которую температура наружного воздуха будет превышать 99,9% времени. В результате такого анализа метеорологических данных по Жаркенту мы получили расчетную температуру наружного воздуха, равную  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Кроме того, на графике стояния температур видно, что в среднем в году имеется 5 200 часов или 220 дней с температурами ниже  $15^{\circ}\text{C}$ . Этот индикатор является актуальным, поскольку температура наружного воздуха ниже  $15^{\circ}\text{C}$  считается пороговой для включения отопления, т.е. если температура наружного воздуха падает ниже  $15^{\circ}\text{C}$ , то тогда необходимо включать отопление.

Также следует отметить, что в среднем в году бывает 2 200 часов или около 90 дней с температурами ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

## 6.2 Центральное отопление в Жаркенте

Жаркент является небольшим городом, расположенным в центральной части Восточно-Илийского бассейна. Площадь города составляет около 2 000 га (20 000 000 м<sup>2</sup>). Численность населения приближается к 35 000 человек, при этом плотность составляет 17,5 человека на га земли.

Не располагая реальными данными по зданиям, трудно определить, какую площадь помещений необходимо отапливать. Однако оценка потребности в отоплении также проблематична вследствие наличия разнотипных зданий разных годов постройки, энергоэффективность которых охватывает весь диапазон возможных значений.

Плотность застройки довольно низкая, поскольку здания расположены некомпактно. После посещения города и изучения предоставленных нам карт мы оценили плотность застройки в 0,2. По результатам оценки мы определили, что площадь отапливаемых помещений в городе составляет 4 млн. м<sup>2</sup>.

### 6.2.1 Потребность в электроэнергии и тепле

Чтобы температура в помещении была равна не менее 18°C, система отопления должна быть способна передавать достаточно тепла для поддержания температуры на уровне 15°C. Остальные 3°C обеспечиваются за счет тепла, излучаемого людьми, осветительными приборами, кухонными плитами и другими источниками тепла.

Оценка потребности в электроэнергии и тепле основывается, среди прочего, на данных из документов по местным строительным стандартам. Вследствие отсутствия такой информации Консультанты сделали свои предложения в отношении потребности в электроэнергии и тепле на основе метеорологических данных соседних метеостанций [31] и типичной теплопроводности изоляции зданий, равной 2,3 Вт/м<sup>2</sup> °C. Это значение свидетельствует о недостаточно эффективной изоляции и отражает возраст и состояние зданий в Жаркенте. Исходя из этих предположений, потребности в отоплении в период максимальных нагрузок были оценены в 70 Вт/м<sup>2</sup>.

На Рисунке 33 показана прогнозируемая кривая продолжительности для отопления в Жаркенте. Площадь под этой кривой пропорциональна числу градусодней, когда требуется отопление, и позволяет измерить количество энергии, необходимой для отопления помещений.

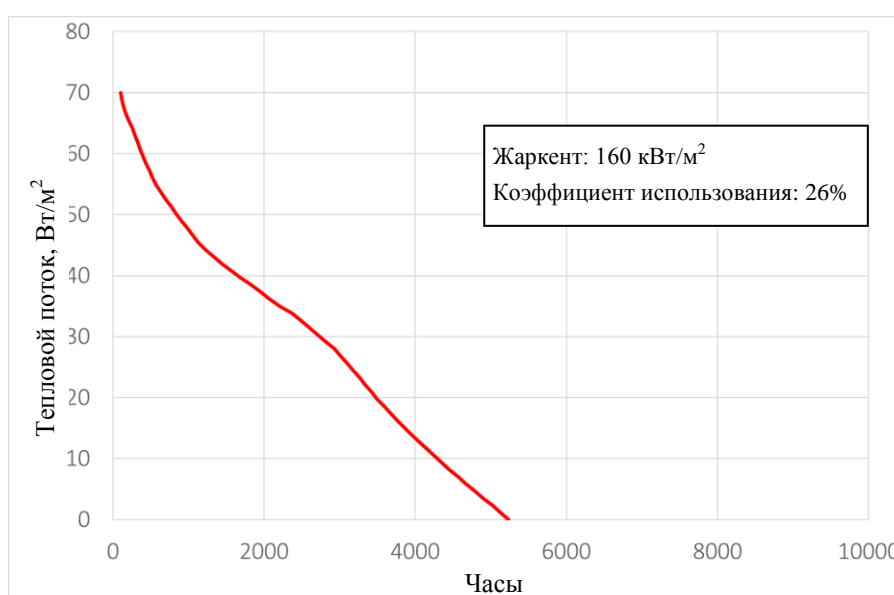


Рисунок 33 - График нагрузки системы отопления по продолжительности

Этот график позволяет оценить общие потребности системы в энергии, которые также являются важным элементом финансового анализа, поскольку они определяют количество энергии, которая может быть продана конечным пользователям. Ежегодная потребность в теплоснабжении представлена площадью под кривой нагрузки по продолжительности, которая равна  $160 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ .

Следует отметить, что согласно данным, опубликованным Всемирным банком, среднее энергопотребление в Алматы составляет  $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$  или на 25% больше. Такое высокое значение является необоснованным и, вероятно, объясняется потерями энергии вследствие плохой изоляции зданий и, что еще более важно, очень низкими тарифами на теплоснабжение в Алматы, что побуждает людей уделять меньше внимания своим счетам за отопление.

Коэффициент использования мощностей является отношением максимальной потребности в теплоснабжении к общей мощности. Для города Жаркента он составляет 26%. При планировании комбинации источников энергии следует учитывать такое низкое значение. В этих условиях вряд ли будет целесообразно поставлять только геотермальную энергию, поскольку для этого потребуется пробурить много скважин, что приведет к слишком высоким инвестиционным затратам по сравнению с возможностью полного использования мощностей в течение года. Например, коэффициент использования мощностей в Рейкьявике составляет 50%.

## 6.2.2 Концепция геотермального центрального отопления

Основываясь на аналогичных проектах отопления, можно сделать вывод, что наиболее целесообразный вариант заключается в использовании сочетания первичных геотермальных и вторичных геотермальных ресурсов с тепловым насосом и газовыми котлами для извлечения как можно большего количества энергии из геотермальной жидкости перед ее обратной закачкой. На Рисунке 34 представлена общая схема такого центрального теплового пункта.

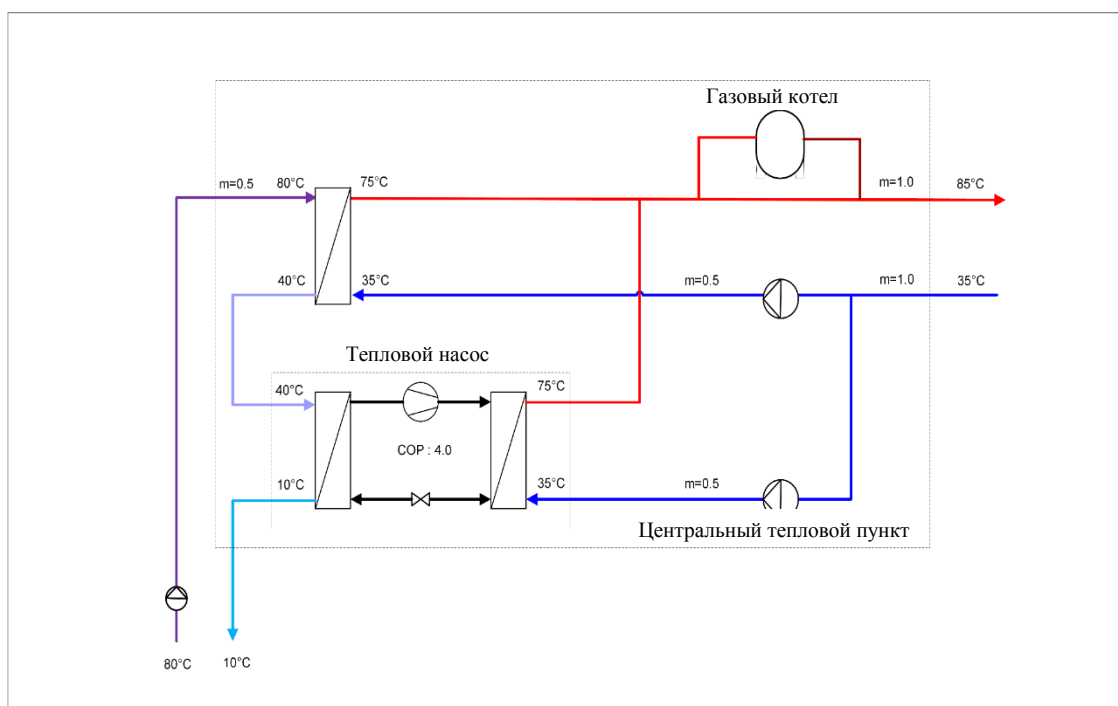


Рисунок 34 - Центральный тепловой пункт системы центрального отопления в Жаркенте

Значения, представленные выше, рассчитаны с точки зрения конечных пользователей. Однако следует отметить, что кроме обеспечения нагрузки и выработки энергии, указанных выше, центральный тепловой пункт должен быть способен возмещать тепловые потери в распределительной системе. Предполагается, что тепловые потери составляют 12%. Это довольно высокое значение главным образом по причине чрезвычайно суровых погодных условий, о чем свидетельствует кривая стояния температур. Таким образом, у центрального

теплового пункта максимальный тепловой поток равен **78,5 Вт/м<sup>2</sup>** или 314 МВт по Жаркенту. Таким образом, при этих значениях массовый расход будет равен приблизительно 1 500 кг/с.

В зависимости от вида дополнительной энергии и местных условий (среди прочего, от затрат на бурение) система геотермального центрального отопления будет оптимальной с экономической точки зрения при установленной геотермальной мощности в пределах от 40 до 80% полной мощности в режиме максимальной нагрузки. Тем не менее, поскольку геотермальная энергия всегда используется для базовой нагрузки, доля энергии, поставляемой геотермальной системой, может оказаться довольно высокой и составлять от 70 до 90% в зависимости от формы *кривой нагрузки по продолжительности*. В Таблице 10 представлены значения, полученные для геотермальной системы центрального отопления Жаркента, как предложено в этом исследовании.

Таблица 10 - Тепло и энергия на центральном тепловом пункте в Жаркенте

	Тепловой поток, Вт/м <sup>2</sup>	% потока	Энергия, кВт·час/м <sup>2</sup>	% энергии
Первичная геотермальная 80/40	31,4	70	116	88
Вторичная геотермальная 40/10	23,5		43	
Электрическая энергия от теплового насоса	7,8	10	14	8
Подогреватель для режима пиковой нагрузки, газ	15,7	20	7	4
<b>Итого</b>	<b>78,4</b>	<b>100</b>	<b>180</b>	<b>100</b>

Максимальная геотермальная мощность составляет 220 МВт, рассчитанная по максимальному геотермальному массовому расходу потока 750 кг/с.

Следует отметить, что ежегодное потребление энергии из геотермальных источников составляет 159 кВт·ч/м<sup>2</sup> или 88% общего количества энергии, поставляемого системой центрального отопления. Для системы, обеспечивающей теплом 4 млн. м<sup>2</sup>, как это предлагается для города Жаркента, мощность составляет приблизительно 640 ГВт - час в год или 2 300 ТДж.

### 6.2.3 Расчет затрат

На основе информации по затратам, представленной в разделе 0, были проведены предварительные расчеты затрат на создание предлагаемой геотермальной системы центрального отопления в Жаркенте, которые приводятся в Таблице 11.

Таблица 11 - Предварительные капитальные затраты на предлагаемую геотермальную систему центрального отопления в Жаркенте

	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу, долл. США	Общие затраты, млн. долл. США
Производство геотермальной энергии <sup>1</sup>	Количество дублетов	7	5,75	40
Магистральные трубопроводы/ транспортировка <sup>2</sup>	км	5	2	10
Центральные тепловые пункты	МВт	330	0,15	50

Система центрального отопления	га	2.000	50.000	100
<b>Итого</b>				<b>200</b>

<sup>1</sup>: Бурение эксплуатационных и нагнетательных скважин, включая систему сбора воды для массового потока 750 кг/с геотермальной жидкости с температурой 80°C.

<sup>2</sup>: Транспортировка жидкости от скважин до центрального теплового пункта

Общие инвестиционные затраты для всей системы оцениваются в 200 млн. долл. США. Это означает, что на квадратный метр отапливаемой площади приходится 50 долларов США или 5 500 - 6 000 долларов США на одно домохозяйство.

Как уже говорилось выше, есть два основных переменных параметра эксплуатационных затрат, электрическая энергия и природный газ. Подогреватели для режима пиковой нагрузки, работающие на обычных видах энергии, таких как природный газ или уголь, являются распространенными технологиями. С точки зрения инвестиционных затрат они являются одним из наиболее дешевых видов технологий, имеющихся на рынке сегодня, которые используются для производства энергии в больших масштабах. Их техническое обслуживание обычно не влечет за собой высоких затрат. Однако их эксплуатационные затраты будут сильно зависеть от цены на газ, которая может колебаться в зависимости от цен на международных рынках. Это также относится и к тепловым насосам, которые приводятся в действие электрической энергией.

Здесь сделано предположение о том, что цена на электроэнергию составляет 0,06 доллара США за кВт·ч, а цена на газ - 0,5 доллара США за  $\text{м}^3$  (нормальный кубический метр). Теплота сгорания природного газа составляет приблизительно  $36\,000\ \text{кДж}/\text{м}^3$  14 долларов США/ГДж = 0,05 доллара США/кВт·ч. Цены на электрическую энергию и газ низкие по сравнению с общими ценами на энергоносители в Казахстане, но они сопоставимы с ценами на энергоносители для эталонных проектов.

Таблица 12 - Ежегодные эксплуатационные затраты предлагаемой геотермальной системы центрального отопления в Жаркенте

	Единицы измерения	Объем	Цена за единицу, долл. США	Общие затраты, млн. долл. США
Газ для котлов, предназначенных для режима пиковой нагрузки	кВт·ч / год	28 000 000	0,05	1,5
Электрическая энергия для тепловых насосов	кВт·ч / год	56 000 000	0,07	4,0
Электрическая энергия для перекачки жидкости	кВт·ч / год	15 000 000	0,07	1,0
Затраты на техническое обслуживание, 2% капитальных затрат	2%	-	-	4,0
Другие затраты, выставление счетов и т.д.	-	-	-	1,0
<b>Общие годовые эксплуатационные затраты</b>				<b>11,5</b>

## 6.2.4 Затраты на обогрев помещений геотермальной энергией в городе Жаркенте

До настоящего времени какой-либо подробный финансовый и экономический анализ не проводился. Однако можно сделать предварительные оценки, исходя из следующих допущений:

- требование о 8%-й ВНД проекта, что подразумевает минимальный годовой доход в сумме 33 млн. долл. США;
- общее количество энергии, продаваемой конечным пользователям:  $160 \times 4 = 640$  ГВт/ч.

Поэтому минимальная цена на энергоносители, вытекающая из этой предварительной оценки, составляет 0,05 доллара США за кВт·ч и представлена здесь лишь затем, чтобы дать представление о порядке величин цен на геотермальную энергию, используемую в системе центрального отопления.

Следует отметить, что это значение сопоставимо с ценой на газ для отопления. В этом случае геотермальная энергия имеет преимущество, которое заключается в том, что она более чистая и является местным источником энергии, оказывающим минимальное воздействие на окружающую среду в плане выбросов парниковых газов, чем газ, и способствует повышению энергетической независимости местного сообщества.

## 6.3 Производство электроэнергии на установках бинарного цикла

### 6.3.1 Концепция силовой установки

Авторы отчета предлагают использовать в тематическом исследовании производства электроэнергии на установках бинарного цикла следующие параметры:

- чистая установленная мощность: 10 мегаватт; и
- температура ресурса: 125°C.

На основе коэффициента пересчета, равного 10,4%, как указано в Таблице 9, подводимое количество геотермального тепла, необходимого для такой силовой установки, составит  $96 \text{ МВт} \times 8\,760 \text{ часов} = 840 \text{ ГВт/ч}$  в год или около 3 МДж.

Согласно имеющейся информации о геотермальном ресурсе, жидкость с температурой 125°C находится на глубине 4 000 метров. Для работы установки требуется пробурить три больших геотермальных дублета до глубины 4 000 м, которые будут способны совместно обеспечить массовый расход 330 кг/с геотермальной жидкости с температурой 125°C. В ходе технологического процесса перед обратной закачкой жидкость будет охлаждаться до 57°C.

### 6.3.2 Расчет затрат

В Таблице 11 ниже представлены предварительные расчеты для предлагаемой геотермальной силовой установки.

Таблица 13- Предварительные капитальные затраты на предлагаемую геотермальную силовую установку мощностью 10 МВт в Жаркентском бассейне

	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу, долл. США	Общие затраты млн. долл. США
Производство геотермальной энергии <sup>1</sup>	Количество дублетов	3	10	30
Силовая установка	<b>МВт·ч (чистая)</b>	10	2,5	25
<b>Итого</b>				<b>55</b>

<sup>1</sup>: Эксплуатационные и нагнетательные скважины, включая систему сбора воды для массового потока 330 кг/с геотермальной жидкости с температурой 125°C с глубины 4 000 м.

Относительно эксплуатационных затрат, предполагается, что для работы геотермальной петли потребуются перекачивать жидкость с массовым расходом 330 кг/с с глубины 200 м, для чего необходимо использовать насосы мощностью 1,3 МВт. Другие эксплуатационные затраты и

затраты на техническое обслуживание аналогичным тем, которые рассматривались в разделе 0. Расчетные эксплуатационные затраты и затраты на техническое обслуживание представлены в Таблице 14.

Таблица 14 - Ежегодные эксплуатационные затраты геотермальной силовой установки мощностью 10 МВт в Жаркентском бассейне

	Единицы измерения	Объем	Цена за единицу, долл. США	Общие затраты, млн. долл. США
Электрическая энергия для перекачки жидкости из скважины	кВт·ч / год	11 000 000	0,10	1,2
Затраты на техническое обслуживание, 2% капитальных затрат	2%	-	-	1,1
Другие затраты, выставление счетов и т.д.	-	-	-	0,5
<b>Общие годовые эксплуатационные затраты</b>				<b>2,8</b>

### 6.3.3 Затраты на производство электрической энергии для подачи в энергетическую систему

На данном этапе невозможно провести подробный финансовый и экономический анализ. Однако можно сделать предварительные оценки, исходя из следующих допущений:

- требование о 8%-й ВНД проекта, что подразумевает минимальный годовой доход в сумме 8,8 млн. долл. США;
- общее количество энергии, продаваемой конечным пользователям: 83 ГВт·ч.

Поэтому минимальная цена на энергоносители, вытекающая из этой предварительной оценки, составляет 0,1 доллара США за кВт·ч. Она предоставлена здесь с единственной целью дать представление о порядке величин цен на электроэнергию, производимую с использованием геотермальных ресурсов с параметрами, предлагаемыми в данном исследовании.

## **7 Рекомендации по способам использования геотермальных ресурсов**

### **7.1 Выгоды**

#### **7.1.1 Воздействие на окружающую среду**

##### *Парниковые газы*

Снижение загрязнения воздуха, связанного с производством энергии для отопления и бытового горячего водоснабжения, является одним из главных преимуществ геотермальной системы центрального отопления. Парниковые газы (ПК), такие как CO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, ХФУ (перечень не полный), способны оказывать негативное воздействие на климат в мире и являются предметом международных соглашений по сокращению их выбросов. Часть выбросов этих газов происходит при выработке энергии из ископаемого топлива, такого как уголь, нефть и газ.

Выбросы парниковых газов обычно приводятся в тоннах CO<sub>2</sub> эквивалента. В зависимости от экономической рентабельности проекта можно рассмотреть возможность обращения за дополнительным кредитом через механизм экологически чистого развития в рамках Киотского протокола. Сертифицированное сокращение выбросов, тонны предотвращенных выбросов CO<sub>2</sub> за год могут быть проданы и способствовать повышению экономической привлекательности проекта.

##### *Качество атмосферного воздуха*

Еще одной экологической выгодой, связанной с использованием геотермальной энергии, является сокращение загрязнения местного атмосферного воздуха. Если бы в системе центрального отопления использовались только нефть и уголь, то в атмосферу выбрасывались бы такие загрязнители воздуха, как угарный газ, диоксид серы, взвешенные частицы и другие органические и неорганические загрязнители воздуха. Внедрение геотермальной системы центрального отопления будет способствовать значительному сокращению загрязнения местного атмосферного воздуха.

#### **7.1.2 Местный источник экологически чистой энергии**

Геотермальная энергия является местным источником экологически чистой энергии и, как таковая, может способствовать достижению независимости Казахстана в сфере «экологически чистой энергии».

### **7.2 Барьеры**

#### **7.2.1 Нормативно-правовая база**

Насколько нам известно, в настоящее время в Казахстане отсутствует какая-либо конкретная нормативно-правовая база, регулирующая использование геотермальных ресурсов. Это может стать барьером для инвесторов, желающих развивать проекты в этой области в стране, вследствие неопределенности таких вопросов, как право собственности, лицензирование, сборы, мониторинг и т.д. С другой стороны, следует отметить, что тщательно проработанная нормативно-правовая база обеспечит защиту интересов страны, установит четкие правила использования, гарантирует права пользования, определит механизмы ценообразования, урегулирует налоговые и экологические вопросы и определит механизмы мониторинга.



В рамках настоящего исследования эти аспекты не рассматривались, но они считаются чрезвычайно важными для продвижения геотермальной энергетики в Казахстане, не подвергая опасности его будущее.

### 7.2.2 Развитие систем центрального отопления

Центральное отопление часто является эффективным решением для сообществ, поскольку его масштаб позволяет организовать более эффективное энергоснабжение и снизить эксплуатационные затраты. В случае использования геотермальной системы центрального отопления это позволит дополнительно снизить загрязнение воздуха и выбросы CO<sub>2</sub> по сравнению с обычными индивидуальными системами.

Однако следует отметить, что основным параметром, определяющим успех системы центрального отопления, является плотность энергии на обслуживаемой территории и, соответственно, подключенной отапливаемой площади. В этой связи в большинстве случаев следует стремиться подключить как можно больше пользователей. Этот вопрос можно решить на местном уровне различными способами, например, предусмотрев решение этого вопроса в плане развития города или в соглашении с местными заинтересованными сторонами.

### 7.2.3 Вопросы отопления помещений

Конечные пользователи являются критически важным компонентом прямого использования геотермальных ресурсов, особенно в контексте разработки экономичной и устойчивой системы, которая будет доступна для использования местным сообществом в долгосрочной перспективе.

Здесь стоит упомянуть четыре аспекта, которые требуют особого внимания:

- Параллельно с внедрением современной геотермальной системы центрального отопления здания должны быть реконструированы с заменой теплоизоляции.
- Используемое отопительное оборудование должно быть спроектировано таким образом, чтобы получить максимально низкую температуру воды на выходе с целью оптимизации его эксплуатации; и
- Системы учета потребления и тарифообразования должны стимулировать как энергосбережение, так и оптимальное извлечение энергии.
- Цены на энергию должны быть разумными, чтобы обеспечить развитие новейших геотермальных технологий и повысить энергосбережение на уровне потребителя.

На практике это означает, что для развития системы центрального отопления в существующем районе может потребоваться доработка отопительного оборудования пользователей. Кроме того, потребуется изменить привычки, связанные с использованием обычного ископаемого топлива, чтобы обеспечить устойчивое использование ресурсов, например, при помощи специальной системы учета потребления и тарифообразования. Дополнительная информация по этому вопросу представлена в разделе 0.

### 7.2.4 Цена тепловой энергии

Результаты тематических исследований свидетельствуют о том, что хотя цены на данном этапе остаются ориентировочными, геотермальное тепло может быть конкурентоспособным по отношению к теплу из других источников энергии при цене 0,05 доллара США за кВт·ч, что сопоставимо с текущей ценой тепловой энергии, производимой из газа, продаваемого по референтной цене. Однако авторы отчета получили информацию о том, что цены на тепловую энергию в Алматы низкие. Хотя цены, рассчитанные для Жаркентского тематического исследования, соответствуют другим ориентирам, низкие текущие цены на обычную энергию в Казахстане могут стать барьером для реализации проекта развития геотермальных систем центрального отопления.

Высокие начальные капитальные затраты часто считаются слабой стороной проектов прямого использования геотермальных ресурсов. Однако обычно на протяжении своего жизненного цикла такие проекты имеют намного более низкие эксплуатационные затраты и затраты на

техническое обслуживание, главным образом потому, что в отличие от обычных проектов, у них нет почти никакой необходимости в покупке энергоносителей. Кроме того, эксплуатация геотермальных систем почти не зависит от колебаний цен на рынке энергоносителей.

### 7.2.5 Цена на электрическую энергию

При стоимости электрической энергии в распределительной сети 0,1 доллара США за кВт·ч, рассчитанной в рамках тематического исследования, цена электрической энергии, вырабатываемой бинарной силовой установкой, по-видимому, окажется в верхней части диапазоне цен на электроэнергию, применяемых в различных регионах Казахстана. Одно из главных преимуществ геотермальных силовых установок, производящих электрическую энергию, по сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии заключается в том, что они обеспечивают покрытие базовой нагрузки и способны производить энергию почти на постоянном уровне вне зависимости от погодных и других внешних факторов.

Использование геотермальных ресурсов в Казахстане для производства электроэнергии технически целесообразно. Результаты тематического исследования указывают на то, что если Правительство Казахстана решит включить геотермальную энергию в программу развития энергетики в качестве одного из ее элементов, оно, вероятно, создаст стимулы и механизмы для компенсации отсутствия конкурентоспособности, которое было выявлено в ходе предварительной оценки.

### 7.3 Рекомендации

На основе результатов этого исследования были сделаны следующие рекомендации относительно последующих шагов, направленных на достижение всестороннего понимания геотермальных ресурсов Казахстана и их будущей крупномасштабной эксплуатации:

- Комплексный сбор и оценка данных по всей стране, имеющихся в архивах Казахстана, а также данных по пробуренным в Казахстане скважинам, которые имеют признаки присутствия гидротермальных ресурсов. Это будут главным образом нефтеразведочные скважины. Основное внимание следует уделять температурным условиям, видам коллекторных пород, проницаемости пород, тектоническим процессам, давлению, дебиту и химическому составу. Также следует собирать данные наземной разведки, т.е. данные сейсмической разведки, полученные нефтедобывающими предприятиями, а также другие данные наземной разведки (геологической и геофизической), собранные для нефтеразведки и гидрогеологических исследований. Такая кампания по сбору данных сопоставима с тем, что было сделано, например, в Венгрии (Талиниус и др., 2010 год).
- После сбора данных следует запланировать<sup>13</sup> дальнейшие исследования<sup>14</sup> (Руководство ЭСМАП по геотермальным ресурсам: планирование и финансирование производства электроэнергии) для восполнения пробелов в имеющихся данных по отобранным зонам размещения ресурсов, например, электроразведку магнитотеллурически методом сопротивлений (которая часто бывает полезной при проведении геотермальных

---

<sup>13</sup> Стейнгримссон Б. (2014 год): Этапы развития геотермальной энергетики в Исландии: от горячих источников до эксплуатации. Работа представлена в “Кратком курсе VI по использованию низко и среднеэнтальпийных геотермальных ресурсов и финансовые аспекты эксплуатации”, организованном Университетом ООН в рамках программы геотермального обучения и компанией «LaGeo» из Санта Теклы (Сальвадор), 23-29 марта 2014 года. <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-09-01.pdf>

<sup>14</sup> Рихтер Б. и др. (2014 год): Геотермальное исследование связанные затраты в Исландии. Работа представлена в “Кратком курсе VI по использованию низко и среднеэнтальпийных геотермальных ресурсов и финансовые аспекты эксплуатации”, организованном Университетом ООН в рамках программы геотермального обучения и компанией «LaGeo» из Санта Теклы (Сальвадор), 23-29 марта 2014 года. <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-18-32.pdf>

исследований), а также другие виды геофизической съемки (гравитационную, магнитную и т.д.), геологическое картирование / разведку и геохимические исследования (Лучшая практика геотермальных исследований компании «IGA Service GmbH», 2013 год).

- Концептуальное моделирование
- После этого следует запланировать бурение разведочных скважин (скважин малого диаметра или полноразмерных скважин), а затем эксплуатационных скважин. (N.Z.S 2403:2015 Свод правил по бурению глубоких геотермальных скважин)
- По завершении бурения скважин следует провести каротаж, испытание, мониторинг и оценку/моделирование (см. главу 2).
- Оценка коллектора является важным пунктом любого плана эксплуатации, в котором используются данные разведочного бурения и проведенного концептуального моделирования. (Кодекс по представлению отчетности об использовании геотермальных ресурсов, разработанный Австралийским Комитетом по геотермальному кодексу, 2008 год)
- Также следует изучить целесообразность/значение обратной закачки для будущей устойчивой эксплуатации.

Вследствие большого площадного распространения большинства осадочных геотермальных ресурсов после начала разработки и эксплуатации в одной геотермальной системе может быть предоставлено несколько концессий различным разработчикам. Это, в конечном счете, создаст проблемы, поскольку добыча в пределах одной концессии приведет к снижению уровня воды в зонах других концессий, расположенных поблизости, и наоборот. В таких ситуациях для обеспечения долгосрочного устойчивого использования геотермальных ресурсов следует применять комплексное управление ресурсами. Его наиболее значимые аспекты включают:

- комплексный мониторинг извлечения массы и изменения пластового давления (изменения уровня воды и температуры);
- ограничение добычи посредством инициатив и нормативно-правовых актов правительства;
- предоставление исключительных прав опытным и ответственным компаниям;
- применение обратной закачки (которая ограничивает взаимное воздействие концессий, если она приближается к 100%).

Местные органы власти все больше внедряют такие методы управления, пользуясь различными средствами как на местном, так и на национальном уровне.

- Рекомендуется провести оценку правовых, институциональных, регулятивных и разрешительных механизмов и подготовить предложения по их совершенствованию. Также следует провести оценку возможной поддержки и структуры тарифов, а также управления данными.
- Оценка рисков, проводимая государственным или частным сектором, тендеры для выхода на международные рынки.

## 8 Выводы

Основные результаты этого исследования в обобщенном виде можно представить следующим образом:

- 1) Казахстан располагает обширными геотермальными ресурсами, главным образом в некоторых глубоких осадочных бассейнах. Это подтверждается скважинами, которые пробурены главным образом как нефтеразведочные скважины, а также сходством с геотермальными условиями в других странах, где осадочные геотермальные ресурсы используются в больших масштабах.
- 2) Согласно расчетам, наибольшая концентрация геотермального потенциала находится в Устюрт-Бузашинском и Мангышлакском бассейнах в юго-западном Казахстане и в Западно-Илийском (Алматинском) и Восточно-Илийском (Жаркентском) бассейнах в юго-восточном Казахстане.
- 3) В настоящее время геотермальные ресурсы в Жаркентском подбассейне представляются наиболее интересными из-за (относительно) более высокой температуры ресурсов, низкой концентрации растворенных веществ и мощного естественного пополнения. Поэтому они пригодны для демонстрационных проектов.
- 4) Предполагаемая извлекаемая энергия в Жаркентском бассейне находится в диапазоне от 20 до более чем 160 Тдж/км<sup>2</sup>/год, в зависимости от температуры ресурса и исходя из предположения о периоде эксплуатации в 50 лет.

## Список использованной литературы

- Аксельссон Г. (2013 год). *Концептуальные модели геотермальных систем - Введение*.
- Аксельссон Г. (2016 год). *Характер и оценка геотермальных ресурсов*. Санта Текла (Сальвадор): программа геотермального обучения Университета ООН и компания «LaGeo».
- Аксельссон Г.С. (2005 год). *Устойчивая эксплуатация геотермальных ресурсов в течение 100 - 300 лет*. Научные труды Всемирного геотермального конгресса, 2005 год, Анталья (Турция), 8 стр.
- Бертани Р. (2010 год). *Производство геотермальной энергии в мире - обновленный отчет за 2005-2010 годы*. Научные труды Всемирного геотермального конгресса, 2010 год, Бали (Индонезия), 41 стр.
- Богуславский Е.В. (1999 год), *Геотермальные ресурсы осадочных бассейнов в Республике Казахстан*. Bulletin d'Hydrogéologie, 17, 123-131
- Фридлейфссон И.Б. (2008 год). *Возможная роль и вклад геотермальной энергии в снижение последствий изменений климата*. Хохмейер О. и Триттин Т. (под ред.), Научные труды МГЭИК.
- Кан С.М. (2017 год). *Жаркентский артезианский бассейн геотермальных вод и перспективы создания на его базе комплекса по производству тепловой и электрической энергии*. Новости Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия по геологии и техническим наукам.
- Касымбеков Д.А. (2006 год). *Пилотный проект поисково-разведочных работ на геотермальные воды, в том числе обследование 40 скважин, вскрывших геотермальные воды и составление технико-экономического обоснования их использования Программа 013 - «Государственная геология»*.
- Ассоциация KazEnergy. (2015 год). Национальный энергетический доклад, 2015 год.
- Лопес С.Х. (2010 год). *40 лет управления водоносным слоем доггерской эпохи в Иль-де-Франсе, Парижский бассейн (Франция)*. Геотермика, 39, 339-356.
- Лунд Дж.Ф. (2010 год). *Прямое использование геотермальной энергии - всемирный обзор за 2010 год*. Научные труды Всемирного геотермального конгресса, 2010 год, Бали (Индонезия), 23 стр.
- Саемундссон К.А. (2009 год). *Геотермальные системы в глобальной перспективе*. Санта Текла (Сальвадор): программа геотермального обучения Университета ООН и компания «LaGeo».
- Сармьенто З.С. (2013 год). *Объемометрическая оценка геотермальных ресурсов*. Работы, представленные в «Кратком курсе по концептуальному моделированию геотермальных систем», организованном Университетом ООН в рамках программы геотермального обучения и компанией «LaGeo» из Санта Теклы (Сальвадор), 15 стр.
- Стефанссон В. (2005 год). *Всемирная геотермальная оценка*. Научные труды Всемирного геотермального конгресса, 2005 год, Анталья (Турция), 5 стр.
- Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан. (2016 год). *Комитет геологии и недропользования, «Казахский институт нефти и газа», Поисково-разведочные работы на геотермальные подземные воды на участке Жаркунак Жаркентского бассейна в Алматинской области». Отчет, 40*
- Уызбаева А. и др., (2015 год). *К достижению энергоэффективности в Казахстане*. Всемирная академия науки, техники и технологий. Международный журнал энергии и энергетики, Том: 9, №: 2.
- Verkís, ÍSOR. (2018 год). *Предварительный обзор геотермальных ресурсов Казахстана - Первоначальный отчет (ID 47272)*.



- Уильямс С. (2007 год). *Обновленные методы расчета коэффициентов отдачи геотермальных ресурсов*. Научные труды 32-го Семинара по разработке геотермальных коллекторов, Стэнфордский университет, Калифорния (США), 7 стр. .
- Всемирный банк. (2018 год). *Открытие потенциала энергоэффективности в городах Казахстана - Сводный отчет*.
- [13] Аксельссон Г., 2012 год: Роль и управление обратной закачкой геотермальных вод. Работы, представленные в «Кратком курсе по разработке геотермальных ресурсов и бурению геотермальных скважин», организованном Университетом ООН в рамках программы геотермального обучения и компанией «LaGeo», Сан Сальвадор (Сальвадор), 21 стр.
- [14] ЭСМАП, Всемирный банк (1997 год): Казахстан и Кыргызстан. Возможности для развития возобновляемой энергии, Отчет № 16855 KAZ, 130 стр.
- [15] Ажгалиев Д.К., Каримов С.Г. и Исаев А.А. (2018 год): Региональное исследование - следующий важный этап в оценке нефтегазоносного потенциала осадочных бассейнов Западного Казахстана. Георесурсы. 20. 16-24. 10.18599/grs.2018.1.16-24.
- [xx] Ульмишек Г.Ф. (2001 год): Геология нефти и ресурсы Северо-Каспийского бассейна Казахстана и России. Бюллетень Геологической службы США, 2201-В, 25 стр.
- [А] Создание Атласа энергетического потенциала. Геотермальная энергия Информация о геотермальной энергии в Казахстане с акцентом на региональных аспектах, карте теплоемкости и тепловых градиентов
- [В] Статус геотермальных вод и перспективы их использования. *Описание бассейнов и геотермального потенциала*
- [С] Краткая записка по геологическим работам. *Описание функций и определений для гидрогеологических исследований*
- [D] Водный кодекс Казахстана - Особенная часть. *Описание функций и определений для выдачи разрешений и мониторинга гидрогеологических исследований*
- [E] Геотермальные воды Южного Казахстана. *Обобщенные результаты изучения термальных вод в Южном Казахстане и результаты обзора скважин в Арысском, Алматинском и Жаркентском бассейнах.*

## Приложение А: Информационные документы, предоставленные для настоящего исследования

Название	Автор	Год	Описание	Вид документа
Отчет 2016 года по участку Жаркунак Жаркентского бассейна в Алматинской области	Государственные органы Казахстана	2016	Отчет по поисково-разведочным работам на геотермальные подземные воды на участке Жаркунак Жаркентского бассейна в Алматинской области с целью оценки эксплуатационных запасов термальных подземных вод для использования их в теплоэнергетических целях	Перевод на английский язык
Отчет по проекту поисково-разведочных работ на геотермальные воды, в том числе обследование 40 скважин, вскрывших геотермальные воды и составление технико-экономического обоснования их использования	Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан	2006	Отчет об изучении 7 скважин в Жаркентском бассейне	Перевод на английский язык
Создание Атласа энергетического потенциала. Геотермальная энергия	Государственные органы Казахстана	?	Информация о геотермальной энергии в Казахстане с акцентом на региональных аспектах, карте теплоемкости и тепловых градиентов	Перевод на английский язык отчета/главы, происхождение неизвестно.
Статус геотермальных вод и перспективы их использования	Государственные органы Казахстана	2018	Описание бассейнов и геотермального потенциала	Перевод на английский язык отчета/главы, происхождение неизвестно.
Краткая записка по геологическим работам	Государственные органы Казахстана	?	Описание функций и определений для гидрогеологических исследований	Перевод на английский язык отчета/главы, происхождение неизвестно.
Водный кодекс Казахстана - Особенная часть	Государственные органы Казахстана	2018	Описание функций и определений для выдачи разрешений и мониторинга гидрогеологических ресурсов	Перевод на английский язык отчета/главы, происхождение неизвестно.
Геотермальные воды Южного Казахстана	Государственные органы Казахстана	?	Обобщенные результаты изучения термальных вод в Южном Казахстане и результаты обзора скважин в Арыском,	Перевод на английский язык отчета/главы, происхождение неизвестно.



			Алматинском и Жаркентском бассейнах.	
Геотермальные ресурсы осадочных бассейнов в Республике Казахстан	Богуславский Е., Вайнблат А., Даукеев Г., Мовчан И., Певзнер Л., Смыслов А. и Хахаев Б.	1999	Bulletin d'Hydrologie № 17 (1999)	Документ
Казахстан и Кыргызстан. Возможности для развития возобновляемой энергии	ЭСМАП	1997	Отчет № 16855 KZ	Отчет
Геология нефти и ресурсы Северо-Каспийского бассейна Казахстана и России	Ульмишек Г.Ф.	2001	Бюллетень Геологической службы США 2201-B	Отчет
Региональное изучение - следующий важный этап в оценке нефтегазоносного потенциала осадочных бассейнов Западного Казахстана. Георесурсы. 20.16-24. 10.18599/grs.2018.1.16-24.	Ажгалиев Д.К., Каримов, С.Г. и Исаев А.А..	2018	Осадочные бассейны	Документ
К достижению энергоэффективности в Казахстане.	Уызбаева Айгерм, Те Валерия и Ибраев Нурлан	2015		Документ