

# Геотермальная энергетика: сравнительная характеристика США и России

А. А. Волгапкина

*Финансовый университет при Правительстве  
Российской Федерации*  
e-mail: volgapkinaa@yandex.ru

А. В. Шаркова

*Финансовый университет при Правительстве  
Российской Федерации*  
e-mail: sharkova\_av@mail.ru

**Аннотация.** Статья дает обзор геотермальной энергетике США и России. Для сравнения эффективности использования геотермальных станций, выявлены критерии и методика их подсчета. Для исследования использованы такие инструменты, как swot-анализ, табличное сравнение по определенным критериям, как Доля территорий, подходящих к геотермальной энергетике, доля выработки э/э в общей и поставлена проблема о необходимости определения корректирующего коэффициента. Итогом работы является степень развития альтернативной энергии в каждом регионе и определение рисков.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика; источники тепла; изолированные энергосистемы

## I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Все популярнее становятся альтернативные источники энергии, многие развитые страны стремятся полностью отказаться от традиционных источников и тем самым улучшить экологию окружающей среды. Несмотря на то, что наиболее широко используемыми источниками энергии являются солнечная, ветровая и гидроэнергия, правительство и ученые активно разрабатывают геотермальные источники, биомассу и другие. Например, регулирование и возможности использования в России изучали Бутузова В.А. [1], Алексеенко С.В. [2], Богуславский Э.И. в монографии «Освоение тепловой энергии» [4], Калимиллин М.И. [5], а также на опыте зарубежных стран Левинзон С.В. [6]. Работы следующих авторов по изучению экономической и технической составляющей были процитированы в работе: Бутузова В.А. [7] и др [8], [9]. При анализе геотермальной энергетике рассмотрены работы Jefferson W. Tester., Koenraad F. Хер, которые раскрыли подробно энергетике США. Ozan Sen, Omer Faruk Guler, Seyhun Yilmaz пришли к выводу, что геотермальная энергетика имеет экономические выгоды ввиду природных и технологических условий. Изучены были стратегии устойчивого развития каждого государства и документы Правительства США по управлению недрами и Энергетическую стратегию РФ до 2030 года. На данный момент в России разветвленная общая энергосистема выработки электроэнергии станциями на ископаемом топливе и атомной энергетике. Развитие геотермальной энергетике позволит дифференцировать источники поступления энергии и развиваться в направлении офф-грид систем, что необходимо для изолированных районов, например, Чукотского АО, Сахалинской области, несколько энергорайонов Камчатского края. В последнем уже продолжительное время используется альтернативная энергетика. Для оценки развития региона и возможности развития геотермальной энергии поставлена задача определить показатели развития и провести сравнительный анализ

двух стран: США и России. А также оценить риски, которые сопутствуют как при развитии энергетике, так и при отсутствии необходимого ее развития.

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Альтернативная энергия все больше занимает место в энергетическом балансе стран. Согласно данным BP statistical Review of global energy, общее производство составило 7,4 ТВтЧ, гидроэнергии – 4,3 ТВтЧ, солнечной 856 ТВтЧ. Производство геотермальной энергии, по данным Irena, же составило 92,05 ГВтЧ со средним темпом прироста 3% с 2014 года, в котором приняли Парижское соглашение. Высокая доля геотермальной энергии в некоторых странах обуславливается природными ограничениями и регионами с высокой теплотой земли. Например, Исландия, преимущественно отапливается данным методом в силу своих геофизических возможностей.

Существуют несколько факторов, ведущих к увеличению доли и эффективности использования геотермальных источников тепла. Во-первых, существует тенденция, что температура земли с каждым годом увеличивается. Во-вторых, потребность в электроэнергии стремительно растет, несмотря на тенденции разумного потребления. Наконец, стремление стран к углеродной нейтральности при наименьших затратах.

### А. Методология

Методикой исследования будет применение сравнительного анализа двух стран, с выделением ключевых критериев. Проведение анализа использованных станций в разрезе каждой страны и определение текущих и возможных рисков.

Выявлено два типа критериев по методике их расчета. Макроэкономические показатели, такие как вырабатывающую суммарную мощность на ГеоЭС и регионы, на которых располагаются станции. Они показывают общее положение страны на мировом энергетическом рынке и заинтересованности в развитии данной отрасли. Вторые, расчетные показатели, как доля территорий с высокой концентрацией температуры земли к общей территории страны, доля регионов с установленными мощностями получения энергии из геотермальных источников ко всем регионам в стране, и доля выработки электроэнергии с помощью геотермальных источников в общей. Индикаторы были идентифицированы как ключевые, так как охватывают в полной мере деятельность стран по развитию геотермальной энергетике, при этом не являются сложными для расчетов, что в своей мере отражают точность расчетов. Однако не исчерпывающе определяет предрасположенность страны к развитию альтернативной энергетике, ввиду различных условий.

Был проведен анализ каждой страны отдельно. На основе действующих станций был рассмотрен подход к их управлению. Технический анализ станций исследуемых стран, который на некоторой выборке раскрывает общую степень развития данной отрасли на микроэкономическом уровне. Был составлен SWOT-анализ, который выявил перспективы использования энергетики и риски, в случае если не осуществлять базовую стратегию.

### В. Технический анализ

Для понимания технического анализа станций исследуемых стран, рассмотрим производственные схемы геотермальных станций в зависимости от схемы организации и условий применения. Выделяют три схемы производства электроэнергии из гидротермальных источников:

1. прямая – использование сухого пара земли;
2. непрямая – использование насыщенного водяного пара;
3. смешанная – использование бинарного цикла. [4]

ГеоЭС подразделяются в зависимости от теплоносителя: одной сепарацией, с двумя давлениями сепарации, расширениями пара и бинарные. Обычно ГеоЭС работают на перегретом паре, бинарная система помогает использовать энергию земли даже при низких температурах, что дает возможность увеличить теплоотдачу и использовать в регионах, менее расположенных к применению геотермальным ЭС. [7]

Преимуществом использования данного типа станции является возможность развития офф-грид системы, то есть использования в изолированных энергосистемах без подключения к общим ЛЭП. Несмотря на это, расположение станции для наибольшей своей энергетической отдачи и теплоотдачи должно соответствовать одному из следующих источников геотермальной энергии. Данную классификацию источников составило Международное энергетическое агентство и включает:

- месторождения геотермального сухого пара, на данный момент станции используют тепло этих источников ввиду самых низких затрат;
- источники влажного пара, их использование увеличивает технологические затраты в связи с возможностью коррозии оборудования и необходимостью отчищать конденсат;
- геотермальные воды, яркий пример их использования – Исландия;
- сухие горячие скальные породы, находящиеся на глубине от 3 км;
- магмы.

В России наиболее чаще встречаются источники влажного пара и горячие породы. Последние добавляют технологические трудности при дорогостоящем бурении. Так при глубине 10 км – затраты составят 1–2 млрд руб., что является более 60% от общих капитальных затрат. Малое время жизни скважин при КПД извлечения тепла до 5% от запаса. [6]

Всего в мире работают 613 геотермальных энергоблоков, на 2020 год в России установленная мощность станций равна 74 МВт, а в США – самым

большим производителем геотермальной энергии – мощность станций равна 2 587 МВт, при мировой мощности 14 тысяч МВт.

Суммируя приведённые характеристики геотермальных станций, можно сказать, что отрасль не стоит на месте и стремится создать такое оборудование, которое будет иметь высокое КПД использования. Рассмотрим каждую страну в отдельности в разрезе типов использования станций и подходам к их управлению.

### С. Геотермальная энергетика в США

Состав и развитие геотермальной энергетики в США. США, как и Россия, являются странами с большими запасами ископаемого топлива и заинтересованы в поддержке определённого баланса спроса на эти виды топлива. Однако Америка не забывает о других источниках, так у них располагаются геотермальные станции в 7 штатах, а в Неваде такое производство достигает 10% от общей выработки геотермальной электроэнергии США. (табл. I)

ТАБЛИЦА I АМЕРИКАНСКИЕ ШТАТЫ С ГЕОТЕРМАЛЬНЫМИ ЭС В 2020 ГОДУ

Штат	Доля геотермальной энергии в штате	Доля геотермальной энергии в США
Калифорния	70,5%	6,1%
Невада	24,5%	10,2%
Ута	2,1%	0,1%
Гавайи	1,2%	2,2%
Орегон	0,9%	0,2%
Айдахо	0,5%	0,5%
Нью-Мексико	0,3%	0,2%

а. Составлено автором на основе данных US Bureau of Land Management

Прирост установленной мощности с 1990 года оказался отрицательным и составил 326 МВт (с 2 913 МВт до 2587 МВт). Можно предположить, что государство ввело определенное количество станций и только поддерживала их состояние. Также на сайте бюро по управлению землями (US Bureau of Land Management) указана информация по поводу состояния станций, а также документы по их осуществленной и предстоящей продаже. Это свидетельствует о приватизации отрасли и возможности гибкому управлению. Например, с подписания Парижского соглашения мощность увеличилась на 73 МВт.

Сопоставив информацию по регионам и картой с источниками геотермальной энергии (рис. 1), можно увидеть, что Америка задействовала большую часть регионов, на карте эти штаты отмечены белым цветом. Не задействованы такие регионы как Аризона и Колорадо с высоким потенциалом извлечения пользы из недр.

Рассмотрим несколько ГеоЭС, в Калифорнии находятся два крупнейших геотермальных резервуара в Соединенных Штатах, район ресурсов Солтон-Си и Гейзеры, с предполагаемой мощностью генерации 2200 МВт и 1800 МВт соответственно. Аренда геотермальной энергии заключается на 10-летний период, при этом 50 процентов средств выплачивается штату, 25 процентов выплачивается соответствующему округу, а 25 процентов остается в Министерстве финансов США.

В штате Юта есть две геотермальные электростанции, вырабатывающие электроэнергию, Коув-Форт и горячие источники Рузвельта,

расположенные в центральной и юго-западной части штата. Оба объекта предлагают перепланировку и расширение своих соответствующих геотермальных ресурсов.

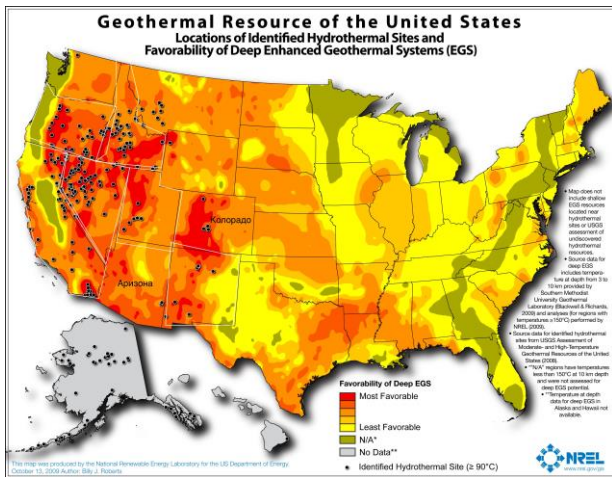


Рис. 1. Регионы с установленными и потенциальным использованием геотермальной энергии в США. Составлено автором по данным NREL и US Bureau of Land Management

Таким образом, в США гейзеры располагают к постройке электростанций с низкими затратами, и даже при частном владении станции, ее доход поступает в бюджет правительства.

Основываясь на описанной ранее информации, сопоставим достигнутые результаты на микро- и макроэкономических уровнях и риски, сопутствующие им. (табл. II)

ТАБЛИЦА II SWOT – АНАЛИЗ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В США

Strengths	Opportunities
<ul style="list-style-type: none"> <li>- стабильный рост выработки геотермальной энергии</li> <li>- развитие новых проектов разрабатывается на государственном уровне</li> <li>- отсутствие издержек на транспортировку электроэнергетики</li> <li>- низкие капитальные затраты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие природных гидросточников тепла – гейзеров</li> <li>- следование Парижскому соглашению</li> <li>- создание устойчивого энергетического баланса</li> <li>- разумного потребление ископаемого топлива</li> <li>- частное генерирование энергии для собственных нужд</li> <li>- независимость от цены на топливо</li> </ul>
Weaknesses	Threats
<ul style="list-style-type: none"> <li>- конкурсное формирование участников при выборе территории</li> <li>- частный бизнес с основными платежами в бюджет государства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- скачок спроса на электроэнергию</li> <li>- потеря дополнительной прибыли</li> </ul>

b. Составлено автором

Преимущества и возможности использования в Америке превалируют над недостатками. Таким образом, геологические и технические условия позволяют и дальше развивать технологию. При отсутствии должных мер в стране «слабые стороны» и «угрозы» могут превзойти положительные стороны не количеством, а степенью влияния. С внешней стороны угрозами является изменение климата, ведущее к жаркому лету и резкому подъему спроса на электричество как в частном, так и в национальном характере. Повышается нагрузка на текущие станции и вырастают постоянные и переменные затраты в виде простоя дополнительного

оборудования и повышенный спрос на ископаемое топливо. Наличие станций, использующих геотермальные источники, поможет выровнять нагрузку на станции и снизить зависимость от цен на топливо.

Спорная практика применения частного бизнеса с участием государства в организации предприятия электростанций ведет больше к негативным последствиям. Это недостаточная свобода действий предприятий и ограничение в финансировании и развитии, так как большая часть выручки идет в государство. При нехватке субсидий от государства или участия в развитии отрасль находится в подвешенном состоянии. Решением будет либо полная передача прав частному бизнесу и внешний контроль государства, либо долевое участие, создание венчурного предприятия.

#### D. Геотермальная энергетика в России

В России использование геотермальных источников не так распространено: с 1990 года мощность увеличилась с 11 МВт до 74 МВт. В настоящее время действуют 5 станций, самая крупная из которых Мутновская ГеоЭС с мощностью до 80МВ (табл. III).

ТАБЛИЦА I ОСНОВНЫЕ ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В РОССИИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Станция	Мощность	Расположение	Технология
Паужетская ГеоЭС	12–17 МВт	Западное побережье Камчатки	бинарный энергоблок
Верхне-Мутновская опытно-промышленная ГеоЭС	12МВт	Юго-восток Камчатского полуострова	3 энергоблока по 4Мвт
Мутновская ГеоЭС	50 МВт (80Мвт - планируется)	Юго-восток Камчатки	Использование энергии гейзеров
Океанская ГеоЭС – выведена из эксплуатации	2,5 Мвт	Остров Итуруп Курильской гряды	Два энергомодуля "Туман-2А"
Менделеевская ГеоТЭС – ведется работы	3,6 МВт – 7,4 МВт	Южно-Курильск	Нет данных

c. Составлено автором на основании открытых источников

Рассмотрим процесс работы станции в России на примере Мутновская ГеоЭС. Для выбора места потребовалось пробурить 100 скважин различного назначения. Ряд оборудования разработан специально для этой станции. Благодаря этим техническим особенностям, она обладает экологической безопасностью, так как нет контакта геотермального теплоносителя и окружающей среды, защитой от коррозии и отложения солей. Особенностью маленьких станций является строительство блоков, что сокращает время ввода станции и в перспективе может дополняться для удовлетворения дополнительной потребности.

Всеми геотермальными станциями управляет АО «Русгидро», ключевой пакет акций которой принадлежит Российской Федерации. Согласно их данным, геотермальные станции перспективны для Камчатского края, в других они проекты не рассматривают. На решение повлиял неудачный опыт с Океанская ГеоЭС. Она закрылась ввиду неправильного использования и нестабильности работы станции. Притом срок ее строительства превысил срок полезного использования. Вторая станция в этом же районе Менделеевская ГеоТЭС имела больших успех, но ввиду сложных

климатических условий и неправильного использования имеет периодические проблемы с автономностью работы.

Рассмотрим особенности Российской энергетики, используя SWOT-анализ. (табл. IV)

ТАБЛИЦА III SWOT – АНАЛИЗ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Strengths	Opportunities
<ul style="list-style-type: none"> <li>- использование уникальной технологии бинарного цикла</li> <li>- успешный опыт использования станции на Камчатке</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие потенциальных потребителей – изолированных энергетических районов</li> <li>- ускоренный переход к углеродной нейтральности</li> <li>- большое количество экономически и технически подходящих территорий</li> <li>- независимость от цены на топливо</li> </ul>
Weaknesses	Threats
<ul style="list-style-type: none"> <li>- низкая развитость отрасли</li> <li>- высокая стоимость оборудования</li> <li>- наличие квалифицированного персонала</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- суровый резко-континентальный климат</li> </ul>

d. Составлено автором

Отличительными чертами российской энергетики является большая территория страны, нуждающаяся в бесперебойной подаче электричества и суровые климатические условия, которые снижают срок полезного использования оборудования и повышают капитальные и эксплуатационные затраты. Несмотря на это, со стороны ученых и государства уже были предприняты действия, как изобретение бинарного цикла, повышающего теплоотдачу от земли, и поддержка станций государственными компаниями, как Русгидро.

Не развивая эту отрасль, государство лишается потенциальных возможностей и тем самым выручки. Например, главное преимущество альтернативных источников энергии – возможность экономии на транспортировке топлива и потерях на ЛЭП. Второе преимущество – это наличие не только электрической энергии, но и тепловой. Это подводит к высокому потенциалу использованию геотермальной энергетики в отдаленных районах и в районах со слабой разветвленностью энергетической сети (рис. 2).

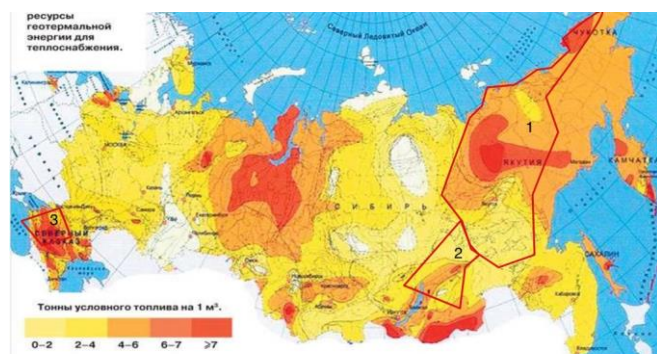


Рис. 2. Сопоставление энергетических районов и потенциальных геотермальных источников. 1 – Якутский и Чукотский АО. 2 – Мамско-Чуйский и Бодабинский энергорайоны Иркутской энергосистемы. 3 – Юго-западный энергорайон Кубанской энергосистемы. Составлено автором на основании данных Министерства энергетики.

Рис. 2 показывает, что у России есть потенциальные потребители для использования данного способа получения электроэнергии. Такие районы как Чукотка и

Якутия имеют холодный климат и наличие дополнительной тепловой энергии без использования топлива будет экономически привлекательно. Наряду с этим необходимо провести дополнительные технические исследования для повышения износостойкости оборудования и повысить их срок полезного использования, а также выработать единую методику ухода за оборудованием. Для этого необходимо вкладываться не только, в совершенствование оборудования, но и в потенциальные кадры.

#### Е. Сравнительный анализ развития геотермальной энергетики в США и Российской Федерации

Рассмотрев методику использования ГеоЭС в каждой стране и определив их эффективность на микроэкономическом уровне, выделим критерии для их сравнения на национальном уровне. Из обобщающих показателей можно выделить: вырабатываемую суммарную мощность на ГеоЭС; доля регионов в общей территории страны, где используются электростанции. Также использование следующих относительных показателей: доля геотермальных ресурсов в энергетическом балансе, и доля выработки электроэнергии с помощью геотермальных источников в общей (табл. V). Дополнительные индикаторы необходимы для определения предрасположенности страны к использованию к такому типу электроэнергии и для предварительной оценки необходимого оборудования и его стоимости. Второй показатель определяет независимость стран от ископаемого топлива и их стремление к углеродной нейтральности.

ТАБЛИЦА II СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА США И РОССИИ

Показатель	США	Россия
Суммарная генерация станций, ГВт	18 364	432,68
Доля выработки электроэнергии с помощью геотермальных источников в общей	0,43%	0,04%
Доля регионов в общей территории страны, где используются электростанции	14%	2,4%
Доля геотермальных ресурсов	44%	69%

e. Составлено автором по данным IRENA, Enerdata, NREL, eia

Доля регионов в общей территории страны, где используются электростанции рассчитывается как количество регионов с действующим геотермальными электростанциями и деленными на общее число регионов. Доля геотермальных ресурсов достаточно сложный индикатор для точного подсчета, за числитель берется площадь земли с температурой, позволяющей экономически обоснованно получать энергию.

Как показал сравнительный анализ у США меньший потенциал к развитию, чем у России, несмотря на это доля использующих природную энергетику регионов выше и суммарная генерация станций в 42 раза больше. Возможность освоить геотермальные источники обуславливается не только предрасположенностью теплом, но и поверхностными географическими условия и населенностью региона. Несмотря на то, что у России 69% территории, из которых можно получать энергию, не все они достигаются за счет установки недорогого оборудования. В США, напротив, меньшие территории обладают более высокой теплоотдачей и требуют меньших капитальных затрат для получения энергии. Таким образом, для более

точного сравнения и проведения оценки региона необходимо разработать корректирующий коэффициент, который включит в себя вышеописанные ограничения.

Доля выработки электроэнергии с помощью геотермальных источников в общей у США составило 0,43% что относительно доли России (0,04%) достаточно высокий показатель.

Таким образом, сравнительная характеристика показала, что каждая страна имеет свои особенности и пути развития. США находится на том этапе, где действовала мощности и нацелено на будущее развитие путем воплощения государственных программ и модернизации текущих станций. Россия же находится на начальном этапе развития, и, хотя существуют большое количество научных публикаций, государство ставит иные приоритеты развития. Так как развитием геотермальной энергетикой занимается одна государственная компания «Русгидро», то нет должного рычага воздействия со стороны.

Каждая страна имеет свои особенности развития и менеджмента. Наиболее эффективным решением будет использование обеих стран взаимного опыта и применение практик в своей перспективе.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и сопоставление энергетики двух стран в статье привел к следующим выводам. Такие факторы как повышение температуры земли на 1° в год и стремление стран к переходу к низко углеродной экономике повышают конкурентоспособность геотермальной энергетики среди альтернативных источников энергии.

По каждой стране был проведен SWOT-анализ, технический анализ на примере некоторых станций и выявлены сопутствующие риски и риски упущенных возможностей. Это выявило тенденции и особенности развития каждой страны ввиду своих особенностей.

Для США национальные показатели, как объем генерирующей мощности, количество геотермальных электростанций лидируют на мировом рынке. Однако подход к эксплуатации через аренду тендерных компаний приводит к низкой экономической целесообразности, так как доход поступает только в бюджет. Участие государства поддерживает нынешние станции, но не объявляет о предстоящих проектах.

В России выявлено большое количество возможностей наряду со сложностью использования. Что подлежит дальнейшему экономическому обоснованию. Хотя есть технологии производства геотермальных турбин и оборудования, геологическая и научной школа мирового уровня, инженерные школы по проектированию и эксплуатации вектор развития и применение навыков на практике в геотермальной отрасли отсутствует ввиду разных причин. Технический анализ привел, что суровый климат побуждает к более четким расчетам и должному уходу за станциями, в противном случае приведет к неисправной работе станции и негативному отношению к отрасли в целом. Рекомендацией будет проведение дополнительных тестовых работ с упором на воздействие окружающей среды на оборудование.

Также было выявлено возможность применения и установки ГеоЭС на территориях, изолированных от общей энергетической сети, как Якутия и Чукотка. Применение даст независимость регионам от

центральных распределительных сетей и обеспечит дополнительными источниками тепловой энергии.

Сравнительный анализ показал потенциал каждой страны и степень использования ресурсов земли для выработки электроэнергии. Несмотря на то, что Россия обладает большей территорией, подходящих для получения энергии тепла земли, США задействовав 14% всей территории и вырабатывает 0,43% от общего выработки энергии. Данную методику анализа можно использовать для представления разреза использования геотермальной энергии страны отдельно.

## III. ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа раскрыла различные аспекты использования и ответственности государства в развитии геотермальной энергетике и выявила направления дальнейшего исследования. Такие как разработка корректирующего коэффициента при оценке предрасположенности страны к промышленному использованию тепла земли. Он должен включать в себя, сложность освоения региона, влияние климатических условий, способ получения тепла.

Второе направление – это производство экономических расчетов для детального изучения региона, где будет применяться геотермальная станция. Они должны включать стоимость оборудования и продолжительность строительных работ в сравнении со сроком полезного использования и стоимостью ежегодного обслуживания станции.

Развитие отрасли требует должного внимания так как может в достаточной мере обеспечить малые населенные пункты без вреда для окружающей среды. Необходимо инфицировать строительство даже малых мощных станций, проектирование которых становится все популярнее в РФ, как, например, малые атомные станции. И проводить дополнительные расчеты о потенциальных местах и методиках их обустройства, стоит рассмотреть не только США, как самого крупного производителя геотермальной энергии, но и другие страны, как Исландия. Последняя ассоциируется с геотермальной энергетикой, так как основной источник энергии является тепло земли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бутузова В.А. Российская геотермальная энергетика: анализ столетнего развития научных и инженерных концепций // Окружающая среда и энергоснабжение. 2019.
- [2] Перспективы развития геотермальной энергии / С.В. Алексеенко // IV Международный Конгресс Reepcon – XXI. Возобновляемая энергетика и экономическая эффективность. Москва, 5-6 июня. 2018.
- [3] Ермолаева Д.Е. Геотермальная энергия как основной источник энергии для будущего развития энергетики // Научные механизмы решения проблем инновационного развития. Международная науч.-практич. конф., Уфа, 01 апреля. 2017.
- [4] Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр, монография. СПб. Научное издание технологий, 2020.
- [5] Калимуллин М.И. Геотермальная энергетика в России и мире // Аллея науки. 2018. Т.2, №6. С.23-27.
- [6] Левинзон С.В. Энергетические ресурсы: прогнозы и реальность, монография. 2018.
- [7] Бутузова В.А., Алхасов А.Б., Алиев Р. М., Бадавов Г.Б. Геотермальная энергетика Республики Дагестан // Энергетик. 2021. №7.
- [8] Джаватов К.Д., Азизов А.А. Повышение энергетической эффективности бинарной ГЕОЭС (на примере Кумухского месторождения) // Известия Томского политехнического Университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т.332, №9.

- [9] Нурпейис А.Е. Анализ возможного метода использования геотермальной энергии // Известия Томского политехнического Университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т.330, №7.
- [10] Jefferson W. Tester., Koenraad F. Beckers., Adam J. Hawkins, Maciej Z. Lukawski The evolving role of geothermal energy for decarbonizing the United States // Energy & Environmental Science 2021.
- [11] ElisabetPalomo-Torrejón, AntonioColmenar-Santos, EnriqueRosales-Asensio, FranciscoMur-Pérez Economic and environmental benefits of geothermal energy in industrial processes // Renewable Energy, 2021. T.174. C.134-146.
- [12] Ozan Sen, Omer Faruk Guler, CeyhunYilmaz, MehmetKanoglu Thermodynamic modeling and analysis of a solar and geothermal assisted multi-generation energy system // Energy Conversion and Management. 2021. T.239.
- [13] M. Soltani, Farshad Moradi Kashkooli, Mohammad Souri, Behnam Rafiei, Mohammad Jabarifar, Kobra Gharali, Jatin S. Nathwani Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. T.140