

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

Закусило Виктор Алексеевич

Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей  
отрасли Казахстана

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

6B05205 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»  
Горно-металлургический институт  
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующая кафедрой  
«Химические процессы и  
промышленная экология»  
канд. тех. наук, доцент  
Кубекова Ш.Н.  
«7» 06 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в  
нефтедобывающей отрасли Казахстана»

6B05205 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Выполнил

Закусило В.А. 13/11

Рецензент

Канд. техн. наук, главный  
специалист отдела водных  
ресурсов и нормирования  
ТОО «КАПЭ»

Дюсенова Ж.А.  
«04» 06 2024 г.

Научный руководитель

Доктор ДВА, старший  
преподаватель кафедры  
«Химические процессы и  
промышленная экология»

Кезембаева Г.Б.  
«05» 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

6B05205 – «Химическая и биохимическая инженерия»



**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся: Закусило Виктору Алексеевичу

Тема: «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого  
газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана».

Утверждена приказом Ректора Университета № 548 от 4 декабря 2023 г.

Срок сдачи законченной работы « 7 » 06 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Теоретические аспекты секвестрации углекислого газа;
- б) Механизмы секвестрации CO<sub>2</sub>;
- в) Анализ исследований и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана;
- г) Заключение.

Перечень графического материала: представлен в виде презентации на 15 слайдов.

Рекомендуемая основная литература: из 21 наименований.

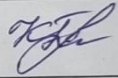
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

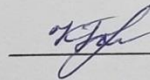
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Введение	24 января 2024	выполнено
Обзор литературы и теоретические аспекты секвестрации	16 февраля 2024	выполнено
Основные механизмы секвестрации CO <sub>2</sub>	14 марта 2024	выполнено
Перспективы и стратегии развития технологий секвестрации	23 апреля 2024	выполнено
Заключение	11 мая 2024	выполнено

## Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

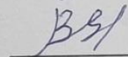
Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Кезембаева Г.Б.	05.06.24	

Научный руководитель



Кезембаева Г.Б.

Задание принял к исполнению обучающийся



Закусило В.А.

Дата

«05» 06 2024 г

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс 31 бет көлемінде орындалды. Кіріспені қамтиды (2 бет), 4 бөлім (.. Б.), қорытынды (1 б.), 22 атаудан тұратын Пайдаланылған әдебиеттер тізімі,.. кестелер, 4 сурет.

Зерттеудің өзектілігі болып табылады көмірқышқыл газының секвестрленуі, оны CO<sub>2</sub>-ді таусылған мұнай кен орындарына айдау арқылы қабаттардың мұнай өндірісін арттыру үшін пайдалануға болады. Көмірқышқыл газын секвестрлеу процесі парниктік газдар шығарындыларын азайтудың және климаттың өзгеруімен күресудің маңызды әдісі болып табылады.

Зерттеудің мақсаты парниктік газдар шығарындыларын азайту және қабаттардың мұнай өндірісін арттыру мақсатында Қазақстанның мұнай өндіру саласында көмірқышқыл газын (CO<sub>2</sub>) секвестрлеу үшін зерттеуді зерделеу және технологиялық шешімдерді әзірлеу болды.

Қойылған міндеттерді орындау үшін әдеби көздер бойынша ізденістер жүргізілді, Қазақстанның мұнай өндіру саласының неғұрлым экологиялық орнықты болуына мүмкіндік беретін көмірқышқыл газын секвестрлеу технологияларын енгізу. Көмірқышқыл газын секвестрлеу жаңа жұмыс орындарын құру, инвестиция тарту және парниктік газдарды кәдеге жарату шығындарын азайту сияқты экономикалық артықшылықтар әкелуі мүмкін.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа выполнена в объеме 31 страниц. Включает в себя введение (2 стр.), 4 раздела (.. стр.), заключение (1 стр.), список использованной литературы из 22 наименований, .. таблиц, 4 рисунков.

Актуальность исследования является секвестрация углекислого газа, который может использоваться для повышения нефтеотдачи пластов, путем закачки CO<sub>2</sub> в истощенные месторождения нефти. Процесс секвестрации углекислого газа является важным методом снижения выбросов парниковых газов и борьбы с изменением климата.

Целью исследования было изучение исследования и разработка технологических решений для секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения нефтеотдачи пластов.

Для выполнения поставленных задач были проведены поиски по литературным источникам, для нахождения внедрение технологий секвестрации углекислого газа, который позволит нефтедобывающей отрасли Казахстана стать более экологически устойчивой. Секвестрация углекислого газа может принести экономические преимущества, такие как создание новых рабочих мест, привлечение инвестиций и снижение затрат на утилизацию парниковых газов.

## ANNOTATION

The thesis is completed in the volume of 31 pages. It includes an introduction (2 pages), 4 sections (.. pages), conclusion (1 page), a list of references from 22 titles, .. tables, 4 figures.

The relevance of the study is the sequestration of carbon dioxide, which can be used to enhance oil recovery by injecting CO<sub>2</sub> into depleted oil fields. The process of sequestration of carbon dioxide is an important method of reducing greenhouse gas emissions and combating climate change.

The purpose of the study was to study the research and development of technological solutions for the sequestration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the oil industry of Kazakhstan in order to reduce greenhouse gas emissions and increase oil recovery.

To fulfill the tasks set, searches were conducted through literary sources, to find the introduction of carbon dioxide sequestration technologies that will allow the oil industry of Kazakhstan to become more environmentally sustainable. Sequestration of carbon dioxide can bring economic benefits such as creating new jobs, attracting investment and reducing the cost of greenhouse gas disposal.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретические аспекты секвестрации углекислого газа	10
1.1 Механизмы секвестрации углекислого газа	11
1.2 Преимущества и недостатки методов секвестрации	13
1.3 Особенности мировых проектов секвестрации углекислого газа	14
1.4 Прогноз развития мировых проектов секвестрации	18
2 Статус и перспективы нефтедобывающей отрасли в Казахстане	19
2.1 Обзор нефтедобывающей отрасли в Казахстане	19
2.2 Влияние методов секвестрации на окружающую среду	19
2.3 Нормативно-правовая база и государственная поддержка	20
3 Анализ исследований и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана	21
3.1 Анализ эффективности и экономической целесообразности применения технологий секвестрации	24
3.2 Проблемы и выводы при реализации проектов секвестрации	25
4 Перспективы и стратегии развития технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана	27
4.1 Возможности международного сотрудничества и инвестиций	28
Заключение	32
Список использованной литературы	33
Приложение А	



## ВВЕДЕНИЕ

В начале XXI века, на фоне усугубляющегося глобального климатического кризиса, вопросы снижения углеродного следа и борьбы с изменением климата вышли на первый план мировой экологической и политической агенды. Одной из ключевых проблем является избыточное накопление углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере, способствующее парниковому эффекту и глобальному потеплению. В этом контексте, технологии секвестрации  $\text{CO}_2$ , позволяющие изолировать и хранить углекислый газ, не допуская его попадания в атмосферу, становятся особенно актуальными. Нефтедобывающая отрасль, являясь одним из крупнейших источников выбросов  $\text{CO}_2$ , особенно в странах с развитой нефтяной промышленностью, таких как Казахстан, обладает значительным потенциалом для внедрения и использования данных технологий [1].

В Казахстане, стране с одними из крупнейших запасов углеводородов в мире, вопросы экологической устойчивости и снижения углеродного следа нефтедобывающей отрасли становятся особенно актуальными. Переход к более чистым технологиям и методам работы в данной сфере может оказать значительное влияние не только на состояние окружающей среды региона, но и на экологическую ситуацию в мире в целом. Исследование и адаптация технологий секвестрации  $\text{CO}_2$  в условиях Казахстана могут служить важным шагом на пути к устойчивому развитию нефтедобывающей отрасли и снижению её воздействия на климат [1].

Сокращение антропогенного содержания углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере имеет решающее значение для смягчения последствий изменения климата. Улавливание и хранение  $\text{CO}_2$  рассматривается как один из наиболее перспективных вариантов сокращения выбросов углерода. Основным способом является закачка  $\text{CO}_2$  в структурные резервуары в глубоких проницаемых геологических формациях [2].

Механизмы улавливания для геологической изоляции включают гидродинамическое улавливание, улавливание растворимости и улавливание минералов. Обсуждаются свойства системы  $\text{CO}_2$ -вода/рассол, а также гидродинамика, геофизика и геохимия системы порода-коллектор/флюид [2].

Целью данной дипломной работы является исследование возможностей и перспектив применения технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: анализ существующих технологий секвестрации  $\text{CO}_2$ , изучение мирового опыта их применения в нефтедобывающей отрасли, выявление и оценка потенциала для их адаптации и внедрения в Казахстане.

Данное исследование опирается на комплексный подход, сочетающий анализ научной литературы, нормативно-правовой базы, а также сбор и

обработку данных о текущем состоянии и перспективах развития нефтедобывающей отрасли в Казахстане.

## **1 Теоретические аспекты секвестрации углекислого газа**

Секвестрация углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) представляет собой комплекс технологий и методик, направленных на улавливание, транспортировку и долговременное изолированное хранение  $\text{CO}_2$ , выделяемого в результате промышленной деятельности, для предотвращения его попадания в атмосферу. Этот процесс играет ключевую роль в стратегиях смягчения последствий изменения климата, поскольку  $\text{CO}_2$  является одним из основных парниковых газов, способствующих глобальному потеплению [2].

Секвестрация не только способствует снижению концентрации парниковых газов в атмосфере, но и открывает новые перспективы для энергетической и промышленной отраслей в контексте перехода к более устойчивым и экологичным методом производства. Разработка и внедрение технологий секвестрации  $\text{CO}_2$  представляют собой сложную инженерную задачу, требующую интеграции множества аспектов — от нахождения подходящих мест для хранения углекислого газа до разработки безопасных и эффективных методов его транспортировки и инъекции [3].

Кроме того, процесс секвестрации  $\text{CO}_2$  ставит перед научным сообществом, промышленностью и правительствами различных стран ряд вопросов, связанных с экономической целесообразностью, экологической безопасностью и правовым регулированием. Несмотря на потенциальные преимущества, использование технологий секвестрации  $\text{CO}_2$  также влечёт за собой необходимость в дальнейших исследованиях и разработке стандартов безопасности для минимизации возможных рисков для окружающей среды и здоровья человека.

Таким образом, секвестрация углекислого газа представляет собой многообещающий, но в то же время вызывающий множество вопросов подход к снижению антропогенного воздействия на климат. Её эффективная реализация требует совместных усилий учёных, инженеров, политиков и общества в целом, а также разработки новых технологий и методик, которые позволят сделать этот процесс экономически выгодным и экологически безопасным [3].

В данной статье описано, что изменение климата является одной из наиболее серьезных проблем нашего времени. Считается, что выбросы углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и других парниковых газов являются причиной серьезной обеспокоенности. Исследование МЭА показывает, что выбросы  $\text{CO}_2$  увеличатся на 130% к 2050 году в отсутствие новой политики или ограничений на поставки в результате увеличения использования ископаемого топлива [4].

Улавливание и хранение углерода углекислого газа, рассматривается как один из наиболее перспективных вариантов и единственная доступная технология для снижения выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу из крупномасштабное использование ископаемого топлива [4].

Глубокие засоленные водоносные горизонты, истощенные месторождения нефти и газа и неразрабатываемые угольные пласты являются основными объектами для геологического накопления CO<sub>2</sub>.

В последние годы фундаментальные исследования все чаще фокусируются на краткосрочных и долгосрочных последствиях закачки CO<sub>2</sub> в резервуары для оценки возможности хранения CO<sub>2</sub> в промышленных масштабах.

Процессы связывания включают различные механизмы улавливания в зависимости от гидродинамических, физических и химических условий в пласте. Обычно эти механизмы подразделяются на четыре различные категории: гидродинамическое улавливание, улавливание остатков, улавливание растворимости и улавливание минералов.

### **1.1 Механизмы секвестрации CO<sub>2</sub>**

Механизмы секвестрации углекислого газа можно классифицировать на три основные категории: геологическая, океаническая, и биологическая секвестрация. Каждый из этих механизмов имеет свои особенности, преимущества, ограничения и потенциал использования. Геологическая секвестрация углекислого газа (CO<sub>2</sub>) — это процесс захоронения CO<sub>2</sub> в подземных геологических образованиях, чтобы предотвратить его выпуск в атмосферу и снизить вклад в парниковый эффект и глобальное потепление [4].

Основные этапы геологической секвестрации CO<sub>2</sub> включают в себя:

1. Захват CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> должен быть извлечен из источника, такого как электростанция, промышленное предприятие или атмосфера. Это может быть достигнуто с использованием различных технологий, включая технологии сжатия и захвата углерода (CCS) или биомассу с энергетическим использованием и последующим захватом CO<sub>2</sub>.

2. Транспортировка CO<sub>2</sub>: после захвата CO<sub>2</sub> должен быть транспортирован к месту захоронения. Это может включать трубопроводный транспорт или транспортировку жидким CO<sub>2</sub>.

3. Захоронение CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> должен быть введен в подземное геологическое образование, такое как пустые нефтяные или газовые скважины, солевые пласты или другие геологические структуры. Это может быть достигнуто с помощью специализированных техник внедрения, включая инъекцию CO<sub>2</sub> под давлением в образования.

4. Мониторинг и контроль: после захоронения CO<sub>2</sub> необходимо следить за его поведением и взаимодействием с окружающими геологическими слоями. Это включает в себя мониторинг давления, температуры и проникновения CO<sub>2</sub> в окружающие структуры, чтобы гарантировать безопасность и эффективность процесса [4].

Океаническая секвестрация

Океаническая секвестрация углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) - это процесс захоронения  $\text{CO}_2$  в океане для снижения его концентрации в атмосфере и борьбы с изменением климата. Она включает в себя несколько подходов:

1. Растворение  $\text{CO}_2$  в океане:  $\text{CO}_2$  может быть растворен в поверхностных слоях океана. Этот процесс происходит естественно, но его скорость может быть увеличена путем создания специальных устройств, таких как диффузоры, которые облегчают контакт между  $\text{CO}_2$  и океанической водой.

2. Фиксация  $\text{CO}_2$  в океанской биомассе: Фитопланктон и другие морские организмы поглощают  $\text{CO}_2$  во время фотосинтеза и используют его для своего роста. После их смерти органический углерод может оседать на дно океана, где он может храниться на длительные периоды времени [4].

3. Использование океанических водорослей: Некоторые виды водорослей, такие как макро- и микроводоросли, могут эффективно захватывать  $\text{CO}_2$  из атмосферы и океанической воды и преобразовывать его в органический углерод. Этот органический углерод может затем быть удачно захоронен в океане.

Океаническая секвестрация  $\text{CO}_2$  имеет свои преимущества и недостатки. Среди преимуществ можно отметить ее потенциально высокую эффективность, поскольку океаны обладают большими объемами и могут абсорбировать большие количества  $\text{CO}_2$ . Однако существуют опасения относительно влияния увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в океане на морскую экосистему, включая изменения в кислотности воды (океаническое увеличение кислотности) и влияние на животный мир [4].

Кроме того, океаническая секвестрация  $\text{CO}_2$  требует тщательного рассмотрения правовых и этических аспектов, а также мониторинга воздействия на морскую среду и океанические экосистемы.

## Биологическая секвестрация

Биологическая секвестрация углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) — это процесс, при котором растения и другие живые организмы используют  $\text{CO}_2$  во время фотосинтеза для производства органических веществ, таких как углеводы, белки и жиры, и сохраняют его в биомассе или почве [5].

Процесс биологической секвестрации  $\text{CO}_2$  включает в себя несколько ключевых механизмов:

1. Фотосинтез растений: растения поглощают  $\text{CO}_2$  из атмосферы через свои листья и используют его во время фотосинтеза для производства глюкозы и других органических соединений. Это позволяет растениям расти и накапливать углерод в своей биомассе.

2. Углеродное увеличение в почве: растения могут также увеличивать количество органического углерода в почве через процессы, такие как разложение листьев и корней, образование гумуса и взаимодействие с микроорганизмами почвы. Это увеличение содержания углерода в почве способствует снижению уровня  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

3. Морские экосистемы: морские водоросли и другие организмы также играют важную роль в биологической секвестрации CO<sub>2</sub>. Фитопланктон поглощает CO<sub>2</sub> из океана во время фотосинтеза, а затем, когда они умирают, их органический углерод оседает на дно моря, где может храниться на длительные временные интервалы.

Преимущества биологической секвестрации CO<sub>2</sub> включают ее естественность, широкое распространение и потенциал для создания устойчивых экосистем. Однако этот процесс также может зависеть от различных факторов, таких как доступность воды, питательных веществ и температуры, и может быть ограничен такими факторами, как изменения климата и антропогенная деятельность [5].

## 1.2 Преимущества и недостатки методов секвестрации

Каждый метод секвестрации имеет свои уникальные преимущества и недостатки.

Геологическая секвестрация и ее преимущества:

Большой потенциал хранения: геологические формации, такие как истощенные нефтяные и газовые месторождения, соляные пласты, и подземные водоносные горизонты, могут вместить огромные объемы CO<sub>2</sub> [6].

Использование существующих технологий: многие технологии, необходимые для геологической секвестрации, уже разработаны и испытаны в нефтегазовой отрасли.

Возможность улучшения добычи углеводородов: CO<sub>2</sub> может использоваться для повышения давления в месторождениях, что способствует увеличению извлекаемости углеводородов (метод ВПИ) [6].

Недостатки:

Риски утечки: существует вероятность утечки хранимого CO<sub>2</sub> обратно в атмосферу, что может нивелировать экологические выгоды секвестрации. Высокие затраты на мониторинг и инфраструктуру: Необходимость в создании и поддержании инфраструктуры для транспортировки и закачки CO<sub>2</sub>, а также мониторинге утечек.

Неопределенность геологической стабильности: долгосрочное хранение CO<sub>2</sub> требует гарантий геологической стабильности выбранных формаций на протяжении тысячелетий [6].

Океаническая секвестрация и ее преимущества:

Огромный потенциал поглощения: океаны покрывают более 70% поверхности Земли и обладают значительным потенциалом для улавливания CO<sub>2</sub>. Прямая секвестрация: CO<sub>2</sub> может быть напрямую введен в водную толщу на большой глубине, минимизируя взаимодействие с биосферой.

Недостатки:

Влияние на морские экосистемы: введение больших объемов CO<sub>2</sub> в океан может повлиять на кислотность воды, что негативно сказывается на морской флоре и фауне.

Техническая и экономическая сложность: создание и поддержание необходимой инфраструктуры для транспортировки и закачки CO<sub>2</sub> в океан представляет собой сложную и дорогостоящую задачу [6].

Биологическая секвестрация и ее преимущества:

Повышение биоразнообразия: восстановление лесов и других экосистем не только способствует поглощению CO<sub>2</sub>, но и обогащает биоразнообразие.

Многофункциональность: процессы биологической секвестрации могут совмещаться с сельскохозяйственной деятельностью, обеспечивая продовольственную безопасность и создавая экосистемные услуги.

Возобновляемость и доступность: использование природных процессов делает биологическую секвестрацию относительно доступным и возобновляемым методом [6].

Недостатки:

Ограниченный масштаб и скорость поглощения: способность экосистем поглощать CO<sub>2</sub> ограничена и зависит от множества факторов, включая климат, тип растительности и землепользования.

Угроза изменения климата для растительности: глобальное потепление может негативно сказаться на здоровье и продуктивности лесов и других экосистем, снижая их способность поглощать CO<sub>2</sub>.

Землепользование: для реализации масштабных проектов биологической секвестрации требуются значительные площади земли, что может конфликтовать с другими видами землепользования.

Таким образом, каждый из методов секвестрации углекислого газа имеет свои уникальные преимущества и вызовы, выбор между которыми требует тщательного анализа и учета множества факторов, включая экономические, экологические и социальные аспекты [6].

С точки зрения использования порового пространства, CO<sub>2</sub> предпочтительно закачивается в сверхкритическом состоянии (scCO<sub>2</sub>). Это объясняется тем, что scCO<sub>2</sub> плотнее газообразного CO<sub>2</sub>. scCO<sub>2</sub> может претерпевать фазовый переход из-за изменений давления и/или температуры. В зависимости от условий залегания CO<sub>2</sub> может храниться в виде сжатого газа, жидкости или в сверхкритической фазе. Большая часть закачиваемого CO<sub>2</sub> будет находиться в подвижной фазе CO<sub>2</sub>, которая может свободно перемещаться в буквальном смысле или мигрировать вертикально по направлению к крышке. Улавливание CO<sub>2</sub> в виде остаточного газа происходит, когда пластовая вода проникает в шлейф CO<sub>2</sub>. Она также частично растворяется в водной фазе, что приводит к задержке растворимости, и может вступать в реакцию с природными минералами, что приводит к задержке минералов [6].

Когда CO<sub>2</sub> закачивается в резервуар, он сначала вытесняет соляной раствор попутным потоком. Но когда закачка прекращается, из-за разницы плотностей CO<sub>2</sub> и рассола жидкости текут противотоком, так что CO<sub>2</sub> перемещается вверх, а рассол - вниз. Таким образом, смачивающая фаза (рассол) поступает в поры за счет менее смачивающей фазы (CO<sub>2</sub>). При таком способе рассол вытесняет CO<sub>2</sub>, что приводит к значительному насыщению пор CO<sub>2</sub>, который задерживается в небольших скоплениях пор. Процесс выделившийся CO<sub>2</sub> затем улавливается в виде неподвижной фазы. Этот механизм улавливания называется остаточным улавливанием или капиллярным улавливанием.

### **1.3 Особенности мировых проектов секвестрации CO<sub>2</sub>**

Проекты секвестрации достаточно подробно рассмотрены в зарубежных источниках, где эти проекты классифицируются по различным признакам, и исследуются проблемы возможности распространения данной технологии по всем странам мира. Однако, в отечественной литературе данный вопрос практически не освещается, что делают данное исследования безусловно актуальным [7].

Согласно базе данным Национальной лаборатории энергетических технологий (the National Energy Technology Laboratory – NETL) по сбору и хранению углерода, по состоянию на апрель 2018 года в мире насчитывалось порядка 305 проектов CCS<sub>1</sub>, из которых в открытом доступе имеется информация по 299 проектам. База данных включает сведения обо всех активных, планируемых и реализованных проектах CCS, что дает представление обществу об усилиях различных отраслей, групп и правительств, которые предпринимаются в целях развития и широкого внедрения технологии CCS [7]. Данные проекты реализуются более чем в 30 странах мира, на 6 континентах и включают 76 проектов по улавливанию углерода, 76 проектов по захоронению углерода и 147 проектов по улавливанию и захоронению углерода. Из общего числа проектов, 93 проекта являются активными, 77 проектов завершены, 58 проектов остановлены по решению менеджмента, 36 проектов планируются к реализации и 35 проектов приостановлены.

Географическое распространение таких проектов в зависимости от состояния проекта можно подробно рассмотреть на рисунках 1-4.

На рисунке 1, представлено наибольшее количество активных проектов улавливания и захоронения CO<sub>2</sub>, которое приходится на Северную Америку, так в Соединенных Штатах Америки (США) реализуются порядка 40 проектов. Большое количество проектов реализуется также в Европе, при этом на Норвегию приходится проекты, большинство из которых относятся к крупномасштабным. На азиатском континенте на сегодня реализуется 21 проект [7].

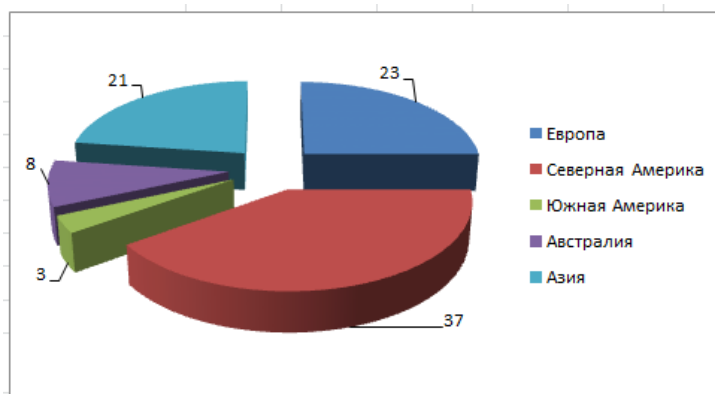


Рисунок 1 - Распределение активных проектов улавливания, захоронения и долгосрочное хранение CO<sub>2</sub> по частям света (ед.) [7]

На рисунке 2 можно заметить наибольшее количество завершенных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> также приходится на Северную Америку, так в США завершено 49 проектов. В Южной Америке, а также в Африке пока нет ни одного завершенного проекта.

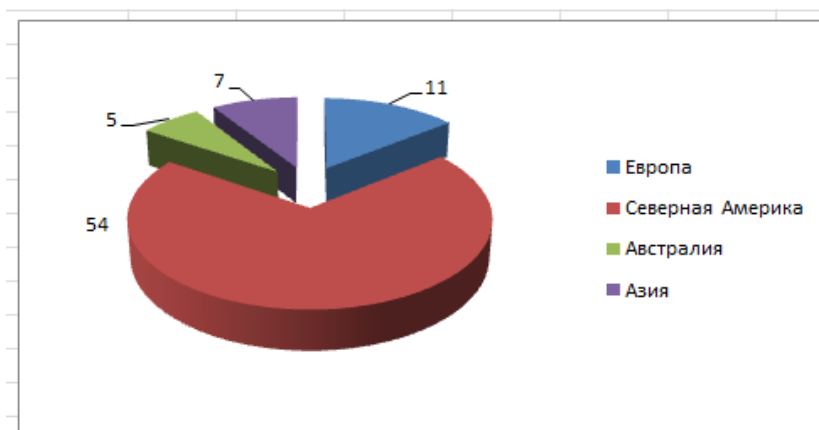


Рисунок 2 - Распределение завершенных проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> по частям света (ед.) [7]

На рисунке 3 представлено наибольшее количество остановленных по решению менеджмента проектов приходится на Северную Америку, а именно на США, так в США остановлено 25 проектов. Большое количество проектов также заморожено в Европе.



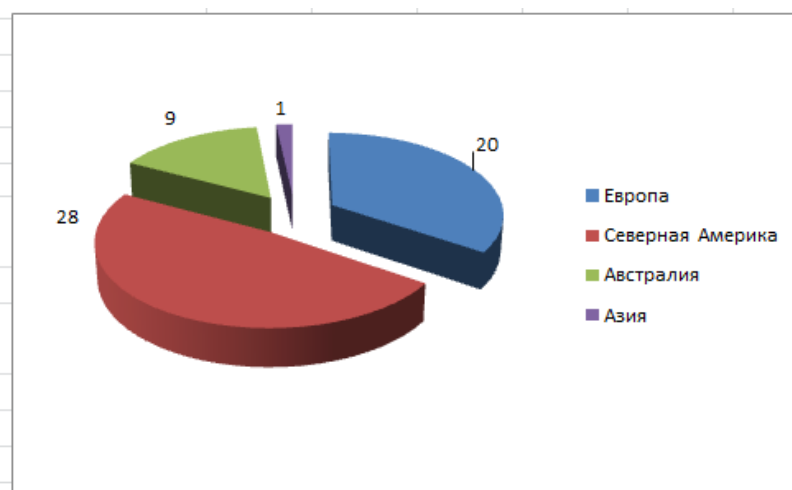


Рисунок 3 - Распределение проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub>, остановленных по решению менеджмента по частям света (ед.) [7]

На рисунке 4 показано наибольшее количество проектов, планируемых к реализации, приходится на Северную Америку. В Европе и Азии (преимущественно Китай) также планируется к реализации достаточное количество проектов улавливания, захоронения, а также улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> [7].

Таким образом, проекты улавливания, захоронения и улавливания и захоронения имеют достаточно широкую географию распространения. Лидирующую роль по количеству проектов занимают США, при этом интерес к проблеме также растёт в таких странах, как Австралия, Норвегия, Великобритания, Китай, Япония, Канада, Нидерланды.

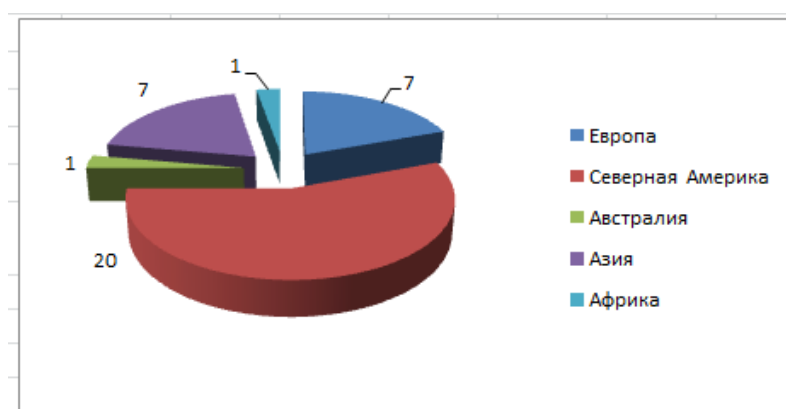


Рисунок 4 - Распределение планируемых к реализации проектов улавливания, захоронения и улавливания и захоронения CO<sub>2</sub> по частям света (ед.) [7]

На основе проведенного анализа действующих проектов секвестрации с использованием отечественных исследований, зарубежных открытых интернет ресурсов и баз данных был составлен реестр, включающий такую информацию о проектах как наименование проекта, источник выбросов,

технологические особенности, и другие особенности представлены в таблице 1.

#### **1.4 Прогноз развития мировых проектов секвестрации.**

По оценкам различных мировых организаций, суммарная мощность действующих проектов секвестрации по всему миру составляет порядка 40-50 млн т CO<sub>2</sub> в год, а с учетом проектов, находящихся на стадии строительства, порядка 150 млн т CO<sub>2</sub> в год [7].

Глобальный институт Carbon Capture and Storage (далее CCS) прогнозирует, что к 2050 году уровень улавливания техногенного CO<sub>2</sub> будет выше 5 млрд т в год, что повлечёт за собой значительный рост мировой индустрии CCS (более чем в 100 раз) [3]. Согласно одному из сценариев Международного энергетического агентства, в ближайшие годы не следует ожидать серьёзного развития индустрии CCS, однако, к 2030 году прогнозируется резкий рост мощностей до 1,6 млрд т с увеличением до 7,6 млрд т в год к 2050 году. Компания BP в одном из сценариев допускает рост мощностей CCS до 6 млрд т [7], а агентство IRENA — лишь до 3,4 млрд т CO<sub>2</sub> в год к 2050 году. Консенсус-прогноз, составленный авторами на основе представленных выше ориентиров по возможному росту мощностей CCS при условии достижения нулевых выбросов к 2050 году, определяет примерное возможное значение мощностей в 5,7 млрд т CO<sub>2</sub> в год к 2050 году.

Несмотря на то, что прогнозы рознятся, они однозначно подтверждают предположение о важной и обязательной роли технологий секвестрации в стремлении к углеродной нейтральности [7].

## **2 Статус и перспективы нефтедобывающей отрасли в Казахстане**

### **2.1 Обзор нефтедобывающей отрасли в Казахстане**

Нефтедобывающая отрасль Казахстана представляет собой ключевой сектор экономики страны, вносящий значительный вклад в её ВВП, бюджет и экспортные поступления. Богатые запасы углеводородов, находящиеся как на суше, так и на шельфе Каспийского моря, обуславливают стратегическое значение Казахстана на мировом энергетическом рынке. Последние десятилетия характеризуются активным развитием отрасли, включая привлечение иностранных инвестиций, модернизацию производства и эксплуатацию новых месторождений [8].

### **2.2 Влияние методов секвестрации на окружающую среду**

При этом, интенсивное развитие нефтедобычи оказывает значительное воздействие на экологическую обстановку в регионе. Загрязнение почвы и водных ресурсов, а также уничтожение мест обитания диких животных могут быть потенциальными негативными последствиями секвестрации углекислого газа, особенно при использовании определенных методов, таких как геологическая секвестрация [8].

1. Загрязнение почвы и воды: при геологической секвестрации CO<sub>2</sub> может потребоваться использование воды для процессов бурения скважин и инъекции газа. Это может привести к риску загрязнения подземных вод и поверхностных водных ресурсов химическими веществами, используемыми в процессе. Это может негативно сказаться на экосистемах и здоровье человека.

2. Уничтожение мест обитания: строительство и эксплуатация инфраструктуры для секвестрации углекислого газа может привести к разрушению природных экосистем и мест обитания диких животных. Особенно это касается геологической секвестрации, которая требует создания больших инфраструктурных объектов, таких как скважины и хранилища.

Чтобы смягчить эти негативные последствия, необходимо принять ряд мер:

Тщательное планирование: необходимо провести детальное экологическое оценивание перед началом проекта секвестрации CO<sub>2</sub>, чтобы оценить потенциальные воздействия на почву, воду и биоразнообразие.

Применение технологий безопасности: использование передовых технологий и методов, а также соблюдение строгих норм и стандартов безопасности, помогут минимизировать риск загрязнения и уничтожения мест обитания.

Компенсация и реставрация: предусмотреть программы компенсации и реставрации природных мест обитания, а также мониторинг за состоянием экосистем после завершения проекта [8].

Общественное участие и прозрачность: важно включить общественность в процесс принятия решений и обеспечить прозрачность в деятельности по секвестрации CO<sub>2</sub>, чтобы обеспечить максимальную общественную поддержку и доверие. Безусловно, необходимо уделять особое внимание минимизации потенциальных негативных последствий секвестрации углекислого газа и обеспечению устойчивого взаимодействия с окружающей средой [8].

### **2.3 Нормативно-правовая база и государственная поддержка**

В ответ на экологические вызовы правительство Казахстана приняло ряд законодательных инициатив, направленных на улучшение экологической ситуации и снижение углеродных выбросов. Развитие и внедрение стандартов экологической безопасности, повышение требований к эффективности использования ресурсов и внедрение чистых технологий являются ключевыми направлениями государственной политики в области охраны окружающей среды. Особое внимание уделяется исследованиям и проектам в области секвестрации углекислого газа, которые могут сыграть важную роль в снижении экологического воздействия нефтедобывающей отрасли [9].

Перспективы развития нефтедобывающей отрасли в Казахстане тесно связаны с глобальными трендами энергетической отрасли, включая переход к устойчивому развитию и борьбе с изменением климата. В этом контексте особенно актуальными становятся исследования и разработка инновационных технологий, таких как цифровизация производственных процессов, развитие методов повышения нефтеотдачи месторождений и, конечно, технологий секвестрации углекислого газа. Применение последних может не только снизить экологический ущерб от отрасли, но и открыть новые возможности для использования углекислого газа в качестве ресурса, например, в улучшенной нефтедобыче или в производстве химических продуктов [9].

#### **Выводы**

Нефтедобывающая отрасль Казахстана стоит на пороге новой эры, где приоритетом становится не только добыча углеводородов, но и экологическая устойчивость и инновации. Развитие и внедрение передовых технологий, в том числе секвестрации углекислого газа, способны не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и обеспечить долгосрочную эффективность и конкурентоспособность отрасли на мировом уровне. В этом контексте, важнейшими становятся исследования, направленные на оптимизацию существующих и разработку новых подходов к экологически безопасной и эффективной нефтедобыче.

### **3 Анализ исследований и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана**

Обзор исследований по секвестрации углекислого газа в Казахстане.

Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана играют важную роль в уменьшении выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата [10]. Вот некоторые аспекты исследований и применения таких технологий в Казахстане:

1. Технологии захвата и хранения углерода (CCS): Казахстан активно исследует и внедряет технологии CCS для сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу. Это включает в себя захват CO<sub>2</sub> на местах его производства, таких как электростанции и заводы по переработке нефти и газа, а затем его транспортировку и захоронение в подземных геологических образованиях.

2. Применение современных методов добычи нефти: современные методы добычи нефти, такие как горизонтальное бурение и гидравлический разрыв пласта, могут помочь увеличить эффективность добычи и снизить выбросы парниковых газов. Эти технологии могут быть адаптированы с учетом снижения влияния на окружающую среду и могут способствовать снижению выбросов CO<sub>2</sub>.

3. Управление выбросами при добыче и переработке нефти: исследования направлены на разработку более эффективных методов управления выбросами парниковых газов в процессе добычи, транспортировки и переработки нефти и газа. Это может включать в себя оптимизацию процессов, использование сжатого природного газа вместо факелов для сжигания, а также разработку технологий очистки выбросов [10].

4. Развитие океанической секвестрации CO<sub>2</sub>: учитывая географическое положение Казахстана и его доступ к Каспийскому морю, исследования по океанической секвестрации CO<sub>2</sub> также могут иметь значение. Этот метод может представлять собой перспективное решение для уменьшения воздействия на окружающую среду и борьбы с изменением климата.

В целом, Казахстан активно исследует и внедряет различные технологии секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли, признавая их важность для устойчивого развития и сокращения вредного воздействия на окружающую среду. Дальнейшее развитие и применение этих технологий могут играть ключевую роль в достижении климатических целей и снижении углеродного следа страны [10].

Нефтяные месторождения обычно состоят из нескольких этапов добычи. Хотя особенности могут варьироваться в зависимости от характеристик каждого месторождения, их часто объединяют в три основные фазы. На первом, первичном этапе эксплуатации нефтяного пласта нефть поступает в добывающую скважину в результате перепадов давления внутри пласта. Первоначально это происходит естественным образом, но со временем интенсивность добычи нефти имеет тенденцию к снижению, поскольку

продолжающаяся добыча флюидов приводит к снижению пластового давления (в то же время темпы добычи воды увеличиваются). На этом этапе производители могут применять ряд вторичные и третичные методы повышения нефтеотдачи пластов и компенсации снижения добычи [10].

Вторичная добыча включает в себя повышение давления в пласте путем закачки (через скважины) жидкости, такой как вода или природный газ. Закачиваемое вещество обычно не смешивается с пластовой нефтью (т.е. оно “несмешивается” с существующей нефтью) и приводит к повышению давления в пласте. Обычно стратегия закачки направлена на подачу нефти к эксплуатационным скважинам. При повторной закачке газа, распространенном варианте вторичной добычи, природный газ, образующийся при добыче, повторно закачивается в газовую шапку пласта, которая находится над нефтью, направляя нефть вниз. Затопление водой обычно направлено на окраины водохранилища, чтобы подтолкнуть (или смести) его подача нефти к стволу скважины [11].

Примеры реализованных проектов секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли. На момент исследования развиваются несколько проектов исследований и внедрения технологий секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана:

Проект по захвату и хранению CO<sub>2</sub> на месторождении Кашаган осуществляется добывающей ассоциацией (Kashagan Production Sharing Agreement, PSA): Проект внедрения CCS на месторождении Кашаган, одном из крупнейших месторождений нефти в Казахстане, был одним из первых в стране. Он включает захват CO<sub>2</sub>, выделяемого на производственных установках, и его последующее захоронение в глубоких геологических образованиях под землей [11].

Проект CCS компании Tengizchevroil (TCO) на месторождении Тенгиз: В рамках этого проекта исследовалась возможность захвата и хранения CO<sub>2</sub> на месторождении Тенгиз, одном из крупнейших месторождений нефти и газа в Казахстане. Ожидалось, что внедрение CCS поможет сократить выбросы парниковых газов и улучшить экологическую эффективность добычи [11].

Однако, помимо этих крупных компаний, в Казахстане могут быть и другие компании, которые занимаются использованием методов секвестрации CO<sub>2</sub>, особенно в секторах энергетики, химической промышленности и других отраслях. Некоторые из таких компаний могут включать:

1. Kazakhmys Corporation: Казахстанская меднорудная компания, которая может использовать методы секвестрации CO<sub>2</sub> в процессах добычи и переработки меди.

2. Kazakhstan Temir Zholy (KTZ): Национальная железнодорожная компания Казахстана, которая может использовать методы секвестрации CO<sub>2</sub> в своих транспортных и логистических операциях.

3. ArcelorMittal Temirtau: Крупнейший металлургический завод в Казахстане, который может рассматривать методы секвестрации CO<sub>2</sub> в своих производственных процессах.

4. Kazatomprom: Национальная атомная компания Казахстана, которая может исследовать и внедрять методы секвестрации CO<sub>2</sub> в процессах ядерной энергетики и связанных с ней технологиях.

5. Казахстанские энергетические компании: Компании, работающие в области производства электроэнергии, такие как Евразийская энергетическая корпорация (ЕЕК), АО "Самрук-Энерго" и другие, также могут быть заинтересованы в использовании методов секвестрации CO<sub>2</sub> для снижения выбросов парниковых газов от своей деятельности.

6. KazMunayGas (KMG): Национальная нефтегазовая компания Казахстана, которая может исследовать и внедрять технологии секвестрации CO<sub>2</sub> в своих добычных операциях.

7. KazTransOil: Компания, занимающаяся транспортировкой нефти и нефтепродуктов по трубопроводам, которая может обратить внимание на снижение углеродного следа своей деятельности.

8. Kazakhstan Engineering: Компания, специализирующаяся на инжиниринге и строительстве в различных отраслях, включая энергетику и промышленность, которая может рассматривать экологически устойчивые решения.

9. Kazakhstan Electricity Grid Operating Company (KEGOC): Компания, управляющая национальной электросетью Казахстана, которая может быть заинтересована в внедрении методов снижения выбросов углерода в энергетическом секторе.

10. Tau-Ken Samruk: Казахстанская горнодобывающая компания, которая может исследовать технологии секвестрации CO<sub>2</sub> в добыче полезных ископаемых.

11. KazTransGas: Компания, специализирующаяся на транспортировке и распределении природного газа в Казахстане, которая может обращать внимание на снижение выбросов парниковых газов.

12. Kazakhstan Engineering National Company "Kazakhstan Engineering" JSC: Компания, занимающаяся инжинирингом и строительством в различных секторах экономики, включая энергетику, может рассматривать внедрение экологически устойчивых технологий в своей деятельности [11].

Когда CO<sub>2</sub> достигает добывающей скважины, он, как правило, отделяется от добываемого углеводорода, чтобы его можно было закачивать повторно (т.е. перерабатывать). В коммерческих проектах CO<sub>2</sub> обычно "прорывается" в добывающие скважины относительно быстро после начала закачки. Такая переработка осуществляется по экономическим соображениям, поскольку закупаемый CO<sub>2</sub> обходится оператору дорого. В течение жизненного цикла проекта EOR циклы закачки и извлечения CO<sub>2</sub> повторяются много раз, при этом в каждом цикле в проект добавляется меньшее количество нового CO<sub>2</sub> [12].

С каждым циклом рекуперации все больше впрыскиваемого CO<sub>2</sub> постепенно задерживается, пока значительный объем не будет надежно улавливаться. Объем CO<sub>2</sub>, который может быть накоплен таким образом,

зависит от свойств пласта и содержащейся в нем нефти, а также от эксплуатационных факторов добычи нефти, включая продолжительность выдержки и используемое соотношение вода/нефть, расстояние между скважинами и взаимное расположение нагнетательных и добывающих скважин [12].

### **3.1 Анализ эффективности и экономической целесообразности применения технологий секвестрации в Казахстане**

Анализ эффективности и экономической целесообразности применения технологий секвестрации углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в Казахстане требует учета нескольких факторов:

1. Стоимость технологий: оценка затрат на внедрение и эксплуатацию технологий секвестрации  $\text{CO}_2$ , включая инвестиции в оборудование и инфраструктуру, операционные расходы и обслуживание.

2. Выгоды от сокращения выбросов  $\text{CO}_2$ : оценка потенциальных выгод от снижения выбросов парниковых газов, включая возможные экономические поощрения, снижение налоговых обязательств, получение кредитов углеродного финансирования и увеличение привлекательности для инвесторов.

3. Долгосрочные последствия: учет долгосрочных экономических и экологических последствий секвестрации  $\text{CO}_2$ , включая уменьшение рисков связанных с изменением климата, сохранение репутации компании и возможные издержки, связанные с непринятием мер по снижению выбросов.

4. Сравнение с альтернативными вариантами: оценка эффективности технологий секвестрации  $\text{CO}_2$  по сравнению с альтернативными методами снижения выбросов, такими как повышение энергоэффективности, развитие возобновляемых источников энергии и др.

5. Социальные и политические факторы: учет социальных и политических аспектов внедрения секвестрации  $\text{CO}_2$ , включая общественное мнение, реакцию государственных органов и международное сотрудничество.

Диоксид углерода, азот и углеводороды (например, пропан, бутан) используются в качестве инжектантов в проектах третичной утилизации. В процессе вытеснения смешиваемого  $\text{CO}_2$  относительно чистый  $\text{CO}_2$  (т.е. обычно 95% по объему или более) закачивается в пласт и смешивается с нефтью. Это приводит к уменьшению капиллярных сил, которые удерживают нефть в породе-коллекторе, и создает более благоприятные свойства текучести. По сравнению с закачкой азота и углеводородного газа  $\text{CO}_2$  обеспечивает смешиваемость с нефтью при более низком давлении и, следовательно, может применяться в относительно неглубоких резервуарах [13].

Эффективность и экономическая целесообразность применения технологий секвестрации  $\text{CO}_2$  в Казахстане будут зависеть от конкретных условий и характеристик проекта, таких как масштаб операций, технологическая подготовка, доступность финансирования и правовая база. Проведение комплексного анализа и оценка всех вышеперечисленных факторов



поможет принять обоснованное решение о целесообразности внедрения технологий секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане.

Для целей настоящего анализа рассматривают затраты на поставку CO<sub>2</sub> с точки зрения - оператор EOR. Стоимость CO<sub>2</sub>, поставляемого для EOR, является ключевым ценовым сигналом для принятия решений владельцами нефтяных месторождений. В действительности, формирование цен на CO<sub>2</sub>, поставляемый в EOR, является сложной задачей. В данном документе цена поставки CO<sub>2</sub> просто означает, сколько полевой оператор платит (или получает оплату) за приобретение CO<sub>2</sub> [13].

Для простоты предполагается, что цена предложения равна разнице между штрафом за выбросы CO<sub>2</sub>, налагаемым углеродной политикой (т.е. ценой на углерод), и техническими затратами для эмитента улавливание CO<sub>2</sub>. Положительная цена поставки CO<sub>2</sub> указывает на то, что улавливание CO<sub>2</sub> обходится дороже, чем оплата наложенного штрафа за выбросы, и в этом случае производитель CO<sub>2</sub> будет продавать CO<sub>2</sub> оператору EOR, как это обычно происходит сегодня. Напротив, отрицательная цена предложения указывает на то, что штраф за выбросы выше, чем затраты на улавливание CO<sub>2</sub>. Это создает стимул для эмитента (или “улавливателя”) платить за хранение CO<sub>2</sub>, которое поддается проверке, в данном случае оператором проекта EOR+, который будет использовать его для повышения эффективности использования и, в конечном счете, хранить в нефтяном резервуаре [13].

### **3.2 Проблемы при реализации проектов секвестрации.**

При реализации проектов секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в Казахстане возникают несколько значительных проблем, включая следующие:

1. Финансовые и экономические аспекты: высокие затраты на внедрение технологий секвестрации CO<sub>2</sub> могут быть значительным барьером для многих компаний и проектов в Казахстане. Необходимость в финансировании на длительные периоды времени также может оказаться проблемой.

2. Технологическая сложность: некоторые методы секвестрации CO<sub>2</sub>, такие как геологическая секвестрация, требуют сложных технологий и инженерных решений. Недостаток опыта и экспертизы в этой области может затруднить успешную реализацию проектов.

3. Юридические и регуляторные аспекты: необходимость в соответствии с местным и международным законодательством, а также в получении разрешений и лицензий для секвестрации CO<sub>2</sub> может оказаться сложной задачей из-за неоднозначности правового регулирования и недостаточной разработки нормативной базы.

4. Геологические особенности: определение подходящих мест для геологической секвестрации CO<sub>2</sub> может столкнуться с ограничениями, связанными с геологической структурой и особенностями подземных образований в регионе.

5. Общественное мнение и стойкость к изменениям: недостаточное понимание общественности о преимуществах и рисках секвестрации CO<sub>2</sub>, а также опасения относительно безопасности и экологических последствий таких проектов могут вызывать сопротивление и задерживать их реализацию.

6. Международное сотрудничество и финансирование: для некоторых проектов может быть необходимо международное сотрудничество и финансирование, что требует согласования интересов и выработки общих стратегий между различными странами и организациями.

Решение этих проблем и преодоление вызовов требует комплексного подхода, включающего в себя сотрудничество всех заинтересованных сторон, развитие соответствующих технологий, разработку эффективного законодательства и регулирования, а также общественное просвещение и информирование [14].

В результате рассмотрения различных аспектов секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана, можно сделать следующие общие выводы:

Важность и актуальность: проблема изменения климата становится все более острой, и секвестрация CO<sub>2</sub> представляется важным инструментом для сокращения выбросов парниковых газов и достижения климатических целей.

Успешные проекты и перспективы: в стране уже реализованы исследовательские и пилотные проекты, такие как (Sleipner Carbon Dioxide Capture and Storage Project, Petrobras Lula Oil Field CCS Project) по секвестрации CO<sub>2</sub>, что свидетельствует о потенциале и готовности к внедрению таких технологий. Перспективы использования секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане весьма значимы в контексте устойчивого развития и сокращения воздействия на окружающую среду [14].

Риски проблемы: несмотря на потенциал, реализация проектов секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане сталкивается с рядом проблем, включая финансовые, технологические, регуляторные и социальные аспекты. Необходимо эффективное управление рисками и сбалансированный подход ко всем аспектам проекта.

Необходимость комплексного подхода: для успешной реализации проектов секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане необходим комплексный подход, включающий в себя сотрудничество всех заинтересованных сторон, разработку соответствующего законодательства и регулирования, а также общественное просвещение и информирование.

Таким образом, внедрение технологий секвестрации CO<sub>2</sub> представляет собой важный шаг на пути к устойчивому развитию нефтедобывающей отрасли и общества в целом в Казахстане, требующий совместных усилий и комплексного подхода со стороны государства, бизнеса и общества.

#### **4 Перспективы и стратегии развития технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана**

В рамках развития технологий секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана можно выделить несколько стратегических направлений:

**Исследование и инновации:** Осуществление научно-исследовательских работ и инновационных проектов для разработки новых методов и технологий секвестрации CO<sub>2</sub>, а также улучшения существующих подходов с учетом специфики казахстанской нефтедобывающей отрасли.

**Пилотные проекты и демонстрационные объекты:** внедрение пилотных и демонстрационных проектов секвестрации CO<sub>2</sub> на основных нефтяных месторождениях Казахстана для апробации технологий и оценки их эффективности в реальных условиях эксплуатации [15].

**Обучение и кадры:** обучение и повышение квалификации специалистов в области секвестрации CO<sub>2</sub>, включая инженеров, геологов, химиков и других профессионалов, чтобы обеспечить наличие кадрового потенциала для успешной реализации проектов.

**Партнерство и сотрудничество:** установление партнерских отношений с международными компаниями, научными организациями и государствами для обмена опытом, технологиями и финансированием, а также с целью привлечения инвестиций и совместной реализации проектов.

**Стимулирование инвестиций и развития рынка:** создание стимулов для инвестирования в проекты секвестрации CO<sub>2</sub>, включая налоговые льготы, государственные субсидии и другие меры финансовой поддержки, а также развитие рынка углеродного кредитования [15].

**Создание благоприятной правовой среды:** разработка и совершенствование законодательства и нормативных актов в области секвестрации CO<sub>2</sub>, чтобы обеспечить прозрачность, стабильность и законность проведения проектов.

**Общественное участие и информирование:** вовлечение общественности, заинтересованных сторон и местного населения в процесс принятия решений по вопросам секвестрации CO<sub>2</sub>, а также информирование об общественных и экологических выгодах данных проектов.

Эти стратегические направления позволят создать благоприятную среду для развития технологий секвестрации CO<sub>2</sub> в нефтедобывающей отрасли Казахстана и способствовать достижению экологической устойчивости и энергетической эффективности в стране [15].

#### **Технологические и инновационные решения**

В развитии технологий секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана могут быть использованы следующие технологические и инновационные решения:

Использование углеродных захватывающих материалов (ССМ): Разработка и применение новых материалов, способных эффективно захватывать и удерживать CO<sub>2</sub>, например, наночастицы, полимерные смолы или сорбенты на основе металлических органических каркасов (MOF) [16].

Технологии химической секвестрации: разработка процессов химической фиксации CO<sub>2</sub> с использованием различных катализаторов и реакционных условий, например, конверсия CO<sub>2</sub> в полезные химические продукты, такие как метанол или карбонаты.

Улучшение технологий геологической секвестрации: инновационные методы для улучшения процессов впрыска и захоронения CO<sub>2</sub> в подземные геологические образования, такие как использование новых типов скважин, интенсификация процессов извлечения нефти и газа с одновременным захоронением CO<sub>2</sub>.

Технологии океанической секвестрации: исследование и разработка методов для инъекции и захоронения CO<sub>2</sub> в глубины океана, такие как создание специальных структур для образования искусственных углекислых хранилищ или стимулирование природных процессов адсорбции CO<sub>2</sub> фитопланктоном.

Биологические решения: использование биологических процессов для захвата и обработки CO<sub>2</sub>, например, поощрение роста водорослей или других растений, способных абсорбировать углекислый газ из атмосферы и превращать его в органические вещества [16].

Технологии углеродного отслеживания и мониторинга: развитие методов и технологий для точного измерения, отслеживания и мониторинга потоков CO<sub>2</sub> от источников выбросов до мест захоронения, что позволит эффективно управлять процессами секвестрации и обеспечить их надежность и безопасность.

Эти технологические и инновационные решения могут значительно улучшить эффективность и экономическую целесообразность процессов секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана, а также способствовать достижению целей по сокращению выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата [16].

#### **4.1 Возможности международного сотрудничества и инвестиций**

Для привлечения инвестиций и возможности сотрудничества Казахстана с зарубежными странами в развитии стратегий и технологий секвестрации углекислого газа предложены основные предложения и возможности в этой области:

Технологический обмен и партнерство: Казахстан может сотрудничать с международными компаниями и научными организациями для обмена опытом, технологиями и лучшими практиками в области секвестрации CO<sub>2</sub>. Это позволит стране получить доступ к передовым технологиям и ускорить процесс внедрения [17].

Финансирование и инвестиции: международные инвестиции могут стать важным источником финансирования для проектов секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане. Это может включать как прямые инвестиции в проекты, так и финансовую поддержку в форме грантов, займов или субсидий [17].

Совместные исследовательские проекты: создание совместных исследовательских проектов с международными партнерами позволит обмениваться знаниями и опытом, а также ускорить разработку и внедрение новых технологий секвестрации CO<sub>2</sub> [18].

Участие в международных инициативах: Казахстан может присоединиться к международным инициативам и программам, направленным на сокращение выбросов парниковых газов и развитие технологий секвестрации CO<sub>2</sub>. Это поможет стране получить доступ к экспертным знаниям и финансовым ресурсам [18].

Обмен данными и информацией: важным аспектом международного сотрудничества является обмен данными и информацией о проектах секвестрации CO<sub>2</sub>, а также об оценке эффективности и результатов этих проектов. Это способствует улучшению прозрачности и доверия к таким проектам.

Участие в международных инициативах по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>: Присоединение к международным соглашениям и договоренностям, таким как Парижское соглашение, и участие в международных мероприятиях по борьбе с изменением климата и снижению уровня выбросов CO<sub>2</sub> может обеспечить Казахстану доступ к дополнительным ресурсам и финансированию для развития секвестрации CO<sub>2</sub> [19].

Поддержка международных финансовых институтов и фондов: Привлечение финансирования от международных банков, фондов и инвестиционных фондов, специализирующихся на проектах снижения выбросов парниковых газов, может стать важным источником инвестиций для проектов по секвестрации CO<sub>2</sub> в Казахстане.

Обмен опытом и лучшими практиками: участие в международных конференциях, семинарах и рабочих группах по секвестрации CO<sub>2</sub> позволит Казахстану обмениваться опытом и лучшими практиками с другими странами и организациями, что способствует развитию инноваций и повышению эффективности проектов [19].

Создание международных партнерств и консорциумов: формирование международных партнерств и консорциумов с участием государственных организаций, частных компаний, научных центров и международных организаций может способствовать совместной разработке и реализации крупных проектов секвестрации CO<sub>2</sub>.

Лоббирование и дипломатическая деятельность: активное лоббирование интересов Казахстана на международной арене и дипломатическая деятельность могут помочь привлечь внимание международного сообщества к потребностям страны в развитии технологий секвестрации CO<sub>2</sub> и обеспечить поддержку со стороны других государств и международных организаций [20].

Такими методами международное сотрудничество и инвестиции открывают перед Казахстаном широкие возможности для развития технологий секвестрации CO<sub>2</sub> и достижения своих целей в области сокращения выбросов парниковых газов. Важно активно использовать эти возможности и участвовать в международных инициативах для обеспечения устойчивого развития не только для страны, но и для всего мирового сообщества [20].

Рекомендации по улучшению эффективности секвестрации углекислого газа.

Для улучшения эффективности секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) можно рассмотреть следующие рекомендации:

Исследование и разработка новых технологий: инвестировать в научные исследования для создания более эффективных и экономически целесообразных технологий секвестрации CO<sub>2</sub>, включая разработку новых материалов и процессов.

Оптимизация процессов: проводить систематический анализ и оптимизацию всех этапов секвестрации CO<sub>2</sub>, начиная с захвата углекислого газа до его транспортировки и захоронения, с целью повышения эффективности и снижения затрат [21].

Интеграция с другими процессами: рассмотреть возможность интеграции процессов секвестрации CO<sub>2</sub> с другими промышленными процессами, такими как нефтедобыча или производство электроэнергии, чтобы увеличить энергетическую эффективность и снизить издержки.

Совершенствование методов геологической секвестрации: исследовать новые методы и технологии для более эффективного впрыска и захоронения CO<sub>2</sub> в подземные геологические образования, а также для увеличения скорости и надежности этого процесса [21].

Стимулирование инноваций: поддерживать и стимулировать инновационные решения в области секвестрации CO<sub>2</sub> путем предоставления грантов, налоговых льгот и других финансовых стимулов для исследований и разработок.

Международное сотрудничество: сотрудничать с международными партнерами, обмениваться опытом и лучшими практиками, а также привлекать инвестиции и экспертную поддержку для реализации совместных проектов по секвестрации CO<sub>2</sub>.

Обучение и осведомленность: повышать уровень знаний и осведомленности среди специалистов и общественности о принципах и преимуществах секвестрации CO<sub>2</sub>, чтобы создать благоприятную атмосферу для внедрения новых технологий [22].

Развитие правовой базы: создавать стабильную и прозрачную правовую и регуляторную среду для проектов по секвестрации CO<sub>2</sub>, включая установление стандартов, лицензирование и механизмы мониторинга и контроля.

Применение этих рекомендаций может способствовать улучшению эффективности секвестрации углекислого газа и ускорить процесс перехода к более экологически устойчивым методам производства и потребления энергии как в Казахстане так и во всём мире [22].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении можно подчеркнуть важность развития и внедрения методов секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в Казахстане для снижения выбросов парниковых газов и борьбы с изменением климата. Эти методы не только могут способствовать улучшению экологической ситуации в стране, но и создавать новые возможности для устойчивого развития экономики. Принятие устойчивых практик и внедрение инновационных технологий секвестрации CO<sub>2</sub> могут способствовать укреплению конкурентоспособности казахстанских компаний на мировом рынке, привлечению инвестиций и созданию новых рабочих мест. Кроме того, снижение уровня выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу способствует достижению международных климатических обязательств и создает благоприятные условия для устойчивого развития общества в целом. Таким образом, развитие методов секвестрации углекислого газа в Казахстане является важным шагом на пути к зеленому и устойчивому будущему для страны и всего мирового сообщества.

В ходе исследования были рассмотрены различные аспекты секвестрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в нефтедобывающей отрасли Казахстана. Были проанализированы существующие методы секвестрации, включая геологическую, океаническую и биологическую секвестрацию, а также исследованы примеры реализованных проектов в этой области.

Целью исследования было рассмотрение текущего состояния и перспектив развития технологий секвестрации CO<sub>2</sub> в нефтедобывающей отрасли Казахстана. Мы успешно достигли этой цели, проанализировав различные аспекты секвестрации CO<sub>2</sub>, выявив основные проблемы и риски.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для Казахстана наиболее приемлемым является метод геологической секвестрации.
2. Внедрение методов секвестрации позволит снизить выбросы парниковых газов в атмосферу и выполнить Казахстаном обязательства перед мировым сообществом по Парижскому соглашению.
3. Необходимо проводить исследования и инвестировать разработки новых технологий секвестрации CO<sub>2</sub>, опираясь на международный опыт и сотрудничество.
4. Усовершенствовать нормативно-правовую базу в области секвестрации, включая преференции.
5. Необходимо проводить образовательные и информационные кампании о значимости секвестрации CO<sub>2</sub> среди общественности и заинтересованных сторон.

Это будет способствовать дальнейшему развитию секвестрации углекислого газа в Казахстане и может помочь достигнуть более значимых



результатов в снижении выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Storing CO<sub>2</sub> with Enhanced Oil Recovery. Robert C. Ferguson, Christopher Nichols, Tyler Van Leeuwen, and Vello A. Kuuskraa. doi:10.1016/j.egypro.2009.01.259.

2 Atia, A., & Mohammadi, K. (2018). A Review on the Application of Enhanced Oil/Gas Recovery through CO<sub>2</sub> Sequestration. Carbon Dioxide Chemistry, Capture and Oil Recovery. doi:10.5772/intechopen.79278

3 Рогозин М.Ю. Чем опасен парниковый эффект / М.Ю. Рогозин, Д.С. Иванченко // Молодой ученый. – 2017. – №51(185) – С. 120-124.

4 Сидорова К.И. Разработка технико-экономической модели улавливания CO<sub>2</sub> для энергетического сектора / К.И. Сидорова // Экология и промышленность России. – 2014. – №12. – С. 20-25.

5 Череповицын А.Е. О захоронении CO<sub>2</sub> в геологических формациях: экономико-общественные аспекты / А.Е. Череповицын, Н.В. Смирнова, А.А. Ильинова // Ресурсы Информация Снабжение Конкуренция. – 2013. – №4. – С. 171-174.

6 Череповицын А.Е. Экономико-социальные аспекты развития технологий захвата и захоронения CO<sub>2</sub> в нефтегазовом комплексе России / А.Е. Череповицын // Записки Горного института. – 2015. – Т. 211. – С. 125-130.

7 Carbon Capture and Sequestration Technologies. – Режим доступа: <https://sequestration.mit.edu/tools/projects>

8 Global CCS Institute. Projects Database. – Режим доступа: <https://www.globalccsinstitute.com/projects>

9 The National Energy Technology Laboratory's (NETL) Carbon Capture and Storage (CCS) Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/carbon-storage/worldwide-ccs-database>

10 сайт / <https://www.nur.kz/politics/kazakhstan-economy/1904794-neftyanaaya-promyshlennost-v-kazahstane-novye-vozmozhnosti-i-perspektivy/>

11 CO<sub>2</sub> enhanced oil recovery: a catalyst for gigatonne-scale carbon capture and storage deployment. Clea Kolster, Mohammad S. Masnadi, d Samuel Krevor, Niall Mac Dowell and Adam R. Brandt. Cite this: Energy Environ. Sci., 2017, 10, 2594

12 Nunez-Lopez, V., & Moskal, E. (2019). Potential of CO<sub>2</sub>-EOR for Near-Term Decarbonization. Frontiers in Climate, 1. doi:10.3389/fclim.2019.00005

13 Башмаков И.А., Скобелев Д.О., Борисов К.Б., Гусева Т.В. Системы бенчмаркинга по удельным выбросам парниковых газов в черной металлургии. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021; 77(9):1071-1086. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-9-1071-1086>

14 McKinsey & Company. (2022). Global Energy Perspective. Perspective 2022/Global-Energy-Perspective-2022-Executive-Summary.pdf

15 Aresta, M., Dibenedetto, A., & Angelini, A. (2014). Catalysis for the valorization of exhaust carbon: from CO<sub>2</sub> to chemicals, materials, and fuels. Technological use of CO<sub>2</sub>. Chemical reviews, 114(3), 1709-1742. <https://doi.org/10.1021/cr4002758>

16 Kearney Energy Transition Institute. (2021). Carbon Capture Utilization and Storage. Toward Net-Zero / сайт <https://www.kenearney.com/documents/17779499/17781864/CCUS-2021+FactBook.pdf/718e94af-1536-b23e-1ac9-a4de74ffef25?t=1623398953000>

17 International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050 / сайт <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050#overview>

18 BP. (2022). Energy Outlook: 2022 edition / сайт [/https://www.bp.com/content/dam/bp/business\\_sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/business_sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf)

19 Moch, J. M., Xue, W., & Holdren, J. P. (2022). Carbon Capture, Utilization, and Storage: Technologies and Costs in the U.S. Context. Belfer Center for Science and International Affairs / сайт <https://www.belfercenter.org/publication/carbon-capture-utilization-and-storage-technologiesand-costs-us-context>

20 Global CCS Institute. (2021). Technology Readiness and Cost of CCS / сайт <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/04/CCS-Tech-and-Costs.pdf>

21 International Energy Agency. (2019). CCUS in Clean Energy Transitions. <https://www.iea.org/dataand-statistics/charts/levelised-cost-of-co2-capture-by-sector-and-initial-co2-concentration-2019>

**РЕЦЕНЗИЯ**

На Дипломную работу

Закусило Виктора Алексеевича

6B05205 «Химические процессы и промышленная экология»

На тему: «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана»

Выполнено:

а) графическая часть на 17 листах

б) пояснительная записка на 30 страницах

**ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ**

Работа представляет собой глубокое исследование и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли. В работе был проведен анализ эффективности и экономической целесообразности применения технологий секвестрации. Особое внимание в работе уделено влиянию методов секвестрации на окружающую среду. Результаты работы имеют важное практическое значение для исследований и применений технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана.

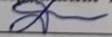
Дипломная работа «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана» представляет собой ценный вклад в изучение процесса секвестрации, и использование его в Казахстане. В процессе ознакомления с работой, выделены следующие замечания:

1. в тексте дипломной работы имеют место ошибки грамматического характера.
2. не в полной мере были раскрыты возможности процесса секвестрации.
3. не в полной мере был объяснен метод геологической секвестрации.

**Оценка работы**

С учетом практической и познавательной ценности, дипломная работа на тему «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана», выполненная Закусило Виктором Алексеевичем, заслуживает оценки «отлично» (95 баллов, А, 95%).

Рецензент  
Канд. техн. наук,  
главный специалист отдела водных ресурсов  
и нормирования ТОО «КАПЭ»

 Дюсенова Ж.А.

7.06. 2024 г.

*подпись  
с иорией тоо "КАПЭ"*

*Дюсенова  
З.А.*



**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На Дипломную работу

Закусило Виктора Алексеевича

6B05205– «Химическая и биохимическая инженерия»

Тема: «Исследования и применение технологий секвестрации углекислого  
газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана»

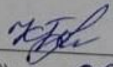
Перед дипломантом были поставлены следующие задачи:

1. Изучить текущее состояние и перспективы развития технологий секвестрации углекислого газа.
2. Оценить потенциал секвестрации углекислого газа в нефтедобывающих регионах Казахстана.
3. Исследовать методы мониторинга и верификации секвестрированного углекислого газа.
4. Проанализировать экономическую эффективность и экологические преимущества секвестрации углекислого газа.
5. Предложить рекомендации по внедрению технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающую отрасль Казахстана, исходя из проектов зарубежных стран и их результатов.

Дипломант успешно справился с заданием, проявив исключительную самостоятельность и инициативу. В работе отражены все аспекты проведенного исследования: технологические, экологические и экономические решения. А также представлены рекомендации по внедрению технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающую отрасль Казахстана с учетом опыта зарубежных стран.

Оценка отлично 95 баллов.

**Научный руководитель**  
старший преподаватель, ДВА

 Кезембаева Г.Б.  
«07» 06 2024 г.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Закусило Виктор Алексеевич

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана

**Научный руководитель:** Гულიмира Кезембаева

**Коэффициент Подобия 1:** 3.1

**Коэффициент Подобия 2:** 0.5

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 0

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 7.06.2024г.

Заведующий кафедрой КЗ  
Кубекова М.Н.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Закусило Виктор Алексеевич

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследования и применение технологий секвестрации углекислого газа в нефтедобывающей отрасли Казахстана

Научный руководитель: Гульмира Кезембаева

Коэффициент Подобия 1: 3.1

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование: *Уровень подобия не превышает допустимого предела*

Дата 05.06.2024

*Ж.Н.* проверяющий эксперт  
(Сарсенбаев С.О.)