



**Анализ мирового опыта и перспектив реализации проектов СС(U)S в
России**

Чанышева А.Ф., к.э.н, доцент,

Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Соловьева В.М., к.э.н., ассистент,

Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Мошак А.Я., студент,

Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Подольнец Л.А., д.э.н., директор,

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Центр непрерывного профессионального медицинского развития
Ленинградской области», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе представлена характеристика и проведена систематизация особенностей технологий улавливания, захоронения и утилизации углекислого газа, отражены результаты критического анализа используемых СС(U)S методов и технологий, представлен обзор мирового опыта реализации подобных проектов на примере США, Норвегии, Канады, Японии и других зарубежных стран. Обоснована возможность развития данного направления в России на основе выявления имеющегося в стране потенциала улавливания и захоронения CO₂.

Ключевые слова: улавливание и захоронение CO₂, секвестрация, углекислый газ, проекты, СС(U)S технологии, перспективы, мировой опыт.

**Analysis of world experience and prospects for the implementation of
CC(U)S projects in Russia**

Chanysheva A.F., PhD in Economics, associate Professor, Saint-Petersburg Mining university, Saint-Petersburg, Russia

Solovyova V.M., PhD in Economics, assistant lecturer, Saint-Petersburg Mining university, Saint-Petersburg, Russia

Moshak A.Y., student, Saint-Petersburg Mining university, Saint-Petersburg, Russia

Podolyanec L.A., Doctor of Economics, director, State Budgetary Professional Educational Institution «Center for Continuous Professional Medical Development of the Leningrad Region», Saint-Petersburg, Russia

Annotation. The article presents a description and systematization of CC(U)S technologies' features, reflects the results of a critical analysis of methods and technologies applied, provides an overview of the world experience in implementing such investment projects on the example of the USA, Norway, Canada, Japan and other foreign countries. The possibility of developing such projects in Russia is substantiated on the basis of identifying the potential for CO₂ capturing and storing in the country.

Key words: CO₂ capture and storage, sequestration, carbon dioxide, projects, CC(U)S technologies, prospects, world experience.

Введение. В настоящее время тематика, связанная с необходимостью развития технологий CC(U)S становится все более актуальной по мере усиления роли возобновляемых источников энергии и осуществления планомерного перехода на низкоуглеродное топливо^{1,2,3}. Считается, что достижение целевых приоритетов мировой декарбонизации и углеродной нейтральности невозможно без масштабной реализации инвестиционных проектов CC(U)S.

¹ Ильинова А.А., Ромашева Н.В., Стройков Г.А. Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа // Записки Горного института. – 2020. – 244. С. 493-502. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.12>

² CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting, 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

³ Сидорова К.И. Разработка технико-экономической модели улавливания CO₂ для энергетического сектора // Экология и промышленность России. – 2014. – 12. – С. 20-25.

Несмотря на устанавливаемые государством приоритеты, связанные с переходом к низкоуглеродному развитию и сокращением эмиссий углекислого газа, по объемам выбросов CO₂ Россия занимает пятое место в мире. Ввиду чего внедрение технологий CC(U)S в промышленность является одной из значимых для страны задач. При этом мировой опыт показывает, что применение данных технологий сопряжено с существенными затратами на каждом из этапов реализации инвестиционных проектов и связано с целым рядом рисков.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении перспектив реализации проектов улавливания и захоронения углекислого газа в России на основе обзора существующих технологических решений и анализа мирового опыта реализации инвестиционных CC(U)S проектов.

1. Обзор существующих технологий захвата и хранения углекислого газа

Улавливание CO₂ Улавливание представляет собой процесс захвата диоксида углерода из промышленного (техногенного) источника. Технологии улавливания углекислого газа условно разделяет на три основных типа: (1) улавливание CO₂ до сжигания топлива, (2) улавливание CO₂ после сжигания топлива и (3) улавливание CO₂ в результате сжигания в чистом кислороде⁴. В табл. 1 систематизированы выявленные преимущества и недостатки использования приведенных выше технологий улавливания CO₂.

Таким образом, существует целый ряд технологий, позволяющих осуществлять улавливание CO₂. Наиболее перспективными считаются ферментные и мембранные методы, однако их применение в промышленных масштабах ограничено отсутствием соответствующих компетенций и необходимостью дальнейшего изучения возможностей их применения.

⁴ CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

Оценка преимуществ и недостатков современных технологий улавливания углекислого газа ^{5, 6}

Технология улавливания CO ₂	Основные преимущества использования	Ключевые недостатки и потенциальные риски
<i>Основные</i>		
До сжигания	- сопоставимо невысокие затраты, связанные с внедрением технологий - низкая степень отходоёмкости	- необходимость изменения структурных составляющих технологического процесса и сопутствующие риски - наличие рисков снижения эффективности работы (до 20%)
После сжигания	- невысокий уровень требуемых капитальных вложений - возможность совмещения с действующими энергосистемами	- значительные объёмы формирования отходов - сопоставимо высокая материало- и ресурсоёмкость
Сжигание в кислороде	- сопоставимо низкие показатели ресурсо- и материалоёмкости - незначительные объёмы эмиссий	- необходимость изменения структурных составляющих технологического процесса - наличие рисков снижения эффективности работы (до 25%)
<i>Новые, перспективные</i>		
Мембранные технологии	- низкие показатели уровня материалоёмкости - применение в труднодоступных районах	- малоизученность метода - недостаточный уровень компетенций для развития мембранных систем
Ферментные методы	- ферменты являются эффективными катализаторами в сфере энергетики	- недостаточная изученность - наличие менее затратных альтернатив

Технологии захоронения CO₂. Под захоронением CO₂, как правило, понимается закачка углекислого газа в геологическую ловушку для захоронения или увеличения нефтеотдачи. Также выделяют такие способы как карбонизация минералов и захоронение CO₂ на дне океана. Геологическое захоронение предполагает закачку CO₂ в выработанные месторождения, различные виды соляных формаций и другие виды хранилищ на глубине 800 метров и более. В табл. 2 приведена краткая характеристика основных способов захоронения CO₂ и отражены перспективы их практического применения в России.

⁵ Carbon dioxide capture and storage. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP. – 2018, 443 p.

⁶Рациональное природопользование технологии улавливания и захоронения углерода. Глобальные технологические тренды // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). – 2017. – №5. – С.4.

Характеристика основных способов захоронения CO₂ и определения перспектив их использования ^{7, 8}

Способ захоронения CO ₂	Краткое описание способа	Оценка перспектив практического применения
Захоронение в соляных формациях	Объемы захоронения зависят от ряда параметров, включающих в себя геохимические факторы, а также физические свойства конкретных пород	Наличие соляных формаций (глубинных) как в мире, так и на территории РФ
Захоронение в газовых и нефтяных месторождениях	Объем захоронения CO ₂ может в два раза превышать величину его выделения при сгорании улавливаемого газа	Наличие большого числа выработанных подземных емкостей Также перспективы обусловлены возможностью повышения КИН
В угольных пластах	Объем захоронения CO ₂ , по усредненным оценкам экспертов, составляет 100 м ³ /т	Большое число потенциальных источников для захоронения CO ₂ и возможность утилизации метана
В водоносных формациях на больших глубинах	Закачка осуществляется в базальтовые породы. По оценкам, минерализация закаченного CO ₂ достигает 85-90%	Сопоставимо короткие временные сроки минерализации

На рис. 1 систематизированы ключевые преимущества и недостатки геологических методов захоронения CO₂, выявленные на основе проведенного анализа.

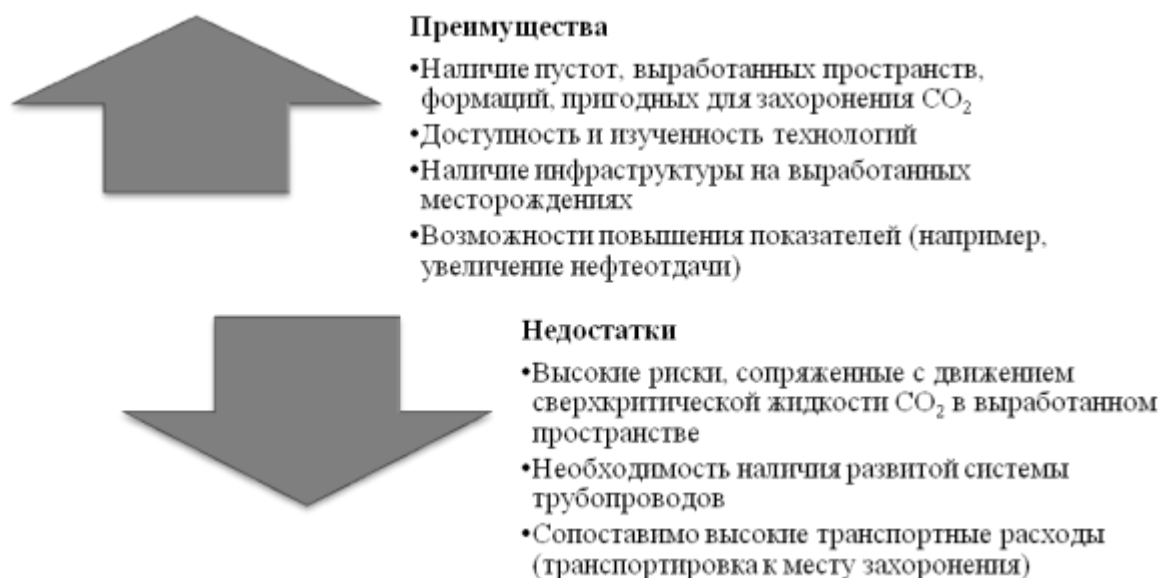


Рис. 1 – Преимущества и недостатки геологических методов захоронения CO₂ ⁹

⁷ Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода – проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – 3 (27). – С. 103-115.

⁸ Переверзева С.А., Консавский П.К., Тудвачев А.В., Хархордин И.Л. Захоронение промышленных выбросов углекислого газа в геологические структуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – №1. – С. 5-21.

Систематизация особенностей современных технологий. Технологии улавливания и захоронения углекислого газа являются критически важными для решения целого перечня глобальных задач. На основе проведенного анализа был выделен ряд особенностей, присущих современным технологиям. К ним относятся следующие параметры:

1. Многостадийность современных систем, комплексность задач, необходимых к решению для эффективного внедрения технологий в производственно-технологический цикл;

2. Сопоставимо высокая стоимость внедрения технологий, существенная величина требуемых капитальных затрат;

3. Недостаточная степень изученности технологий и способов улавливания и захоронения CO₂, необходимость проведения дополнительных исследований, инвестирования НИОКР;

5. Непроработанность системы оценки рисков реализации проектов, отсутствие эффективных подходов к обеспечению мониторинга и контроля;

6. Непроработанность нормативной и правовой базы по вопросам реализации проектов улавливания и захоронения CO₂;

7. Невозможность разработки единой методики технико-экономической оценки таких технологий в силу их многообразия;

8. Отсутствие полноценного представления о достигаемых эффектах за счет внедрения технологий захвата, транспортировки, использования и захоронения углекислого газа.

Учет приведенных выше особенностей важен при определении перспектив и уточнении возможностей реализации таких проектов, принимая во внимание не только положительные эффекты, связанные с достижением целевых показателей углеродной нейтральности, но и сопряженные риски и угрозы. В статье Васильева Ю.Н. и Цветковой А.Ю.¹⁰ большое внимание

⁹ Бауров А.А. Геологические методы секвестрации углерода // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2021. – 3. – С. 87-90.

¹⁰ Васильев Ю.Н., Цветкова А.Ю. Оценка позитивных и негативных аспектов проектов секвестрации углекислого газа // Российский экономический интернет-журнал. – 2018. – № 2. С. 17

уделено оценке позитивных и негативных сторон использования CCS-технологий.

2. Мировой опыт реализации проектов СС(U)S

Впервые транспортировка CO₂ на расстояние 350 км и последующая закачка в подземный резервуар была осуществлена компанией Chevron в Пермском нефтегазоносном бассейне в 1972 году¹¹. В СССР имелся опыт закачивания CO₂ в нефтяные пласты Урало-Поволжья – на месторождениях Туймазинском, Сергеевском, Козловском и Радаевском – в результате которого КИН увеличился на 10-15%¹².

США стала пионером в разработке и введении в эксплуатацию проектов улавливания и захоронения углекислого газа с 1972 года. В США второе поколение реализации проектов началось в 2010 году, в основном благодаря резкому увеличению ассигнований Конгресса в соответствии с Американским законом о реинвестировании и восстановлении. Министерство энергетики (DOE) использовало это финансирование для инвестирования в десять крупномасштабных демонстрационных проектов, хотя некоторые из этих проектов не имели успеха. На данный момент США является лидирующей страной по количеству реализуемых СС(U)S проектов (рис. 2). Проекты реализуются в отраслях переработки природного газа, производства водорода, этанола и удобрений, а производственные мощности всех 13 проектов позволяют улавливать суммарно около 24,5 млн. т CO₂ в год.

Норвегия запустила в 1996 году первый в мире проект захоронения углекислого газа Sleipner в связи с введением углеродного налога. В 2008 году был введен в эксплуатацию проект Snøhvit, участниками которого являются Equinor (Statoil ASA) – 33.53%, Petoro (30%), TotalFinaElf (18.4%), Gaz de France (12%), Amerada Hess (3.26%), RWE Dea (2.81%).

¹¹ Технологии улавливания, полезного использования и хранения двуокиси углерода (CCUS). Сколково 2022. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2022/11/CCUS-Skoltech-2022-11-10.pdf>

¹²CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

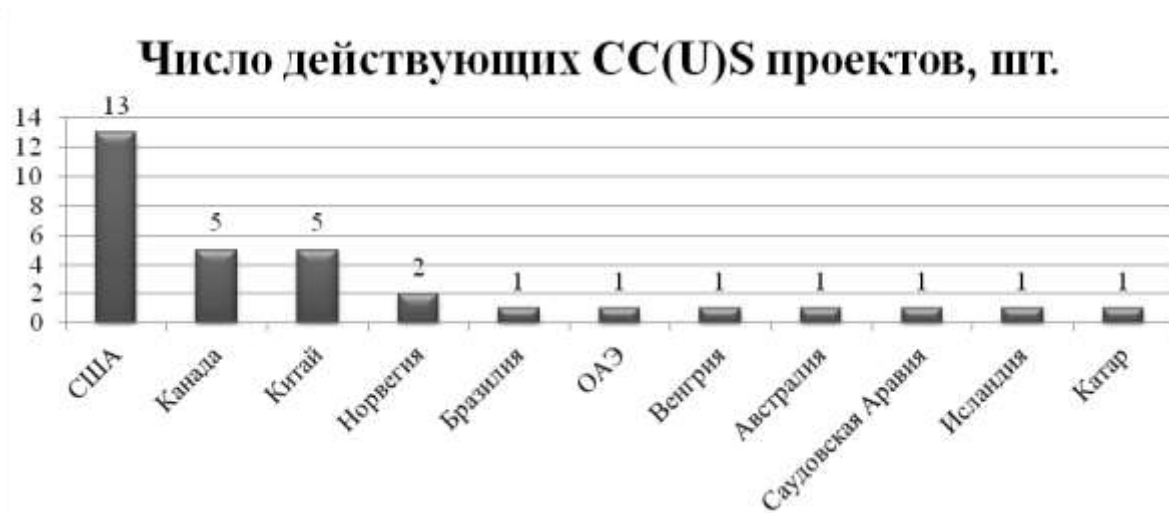


Рис. 2 – Число действующих CC(U)S проектов в мире на 2022 год¹³

Одной из первых стран, запустивших коммерческий CCS проект в 1992 году, является Венгрия. За 28 лет эксплуатации венгерской компанией MOL закачено около 2 млн. т CO₂ для хранения.

Канада, как на федеральном уровне, так и на уровне провинций, также финансировала несколько полномасштабных демонстрационных проектов для ускорения развития технологий захвата и захоронения. Активная разработка проектов CC(U)S ведется в последние годы в Китае. С 2012 по 2022 годы в стране введено в эксплуатацию 5 проектов в отраслях выработки энергии, переработки природного газа, производства метанола и химического производства.

Глобальный институт CCS классифицирует все CC(U)S проекты и соответствующие им производственные мощности на следующие группы в соответствии со статусом:

- ранняя разработка (2 уровня)
- продвинутая разработка (3 уровня);
- в строительстве;
- действующие;
- эксплуатация приостановлена;
- завершенные.

¹³ Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>

С точки зрения наличия коммерческого эффекта проекты CC(U)S подразделяют на 2 группы – «коммерческие» и «пилотные и демонстрационные проекты» (рис. 3).

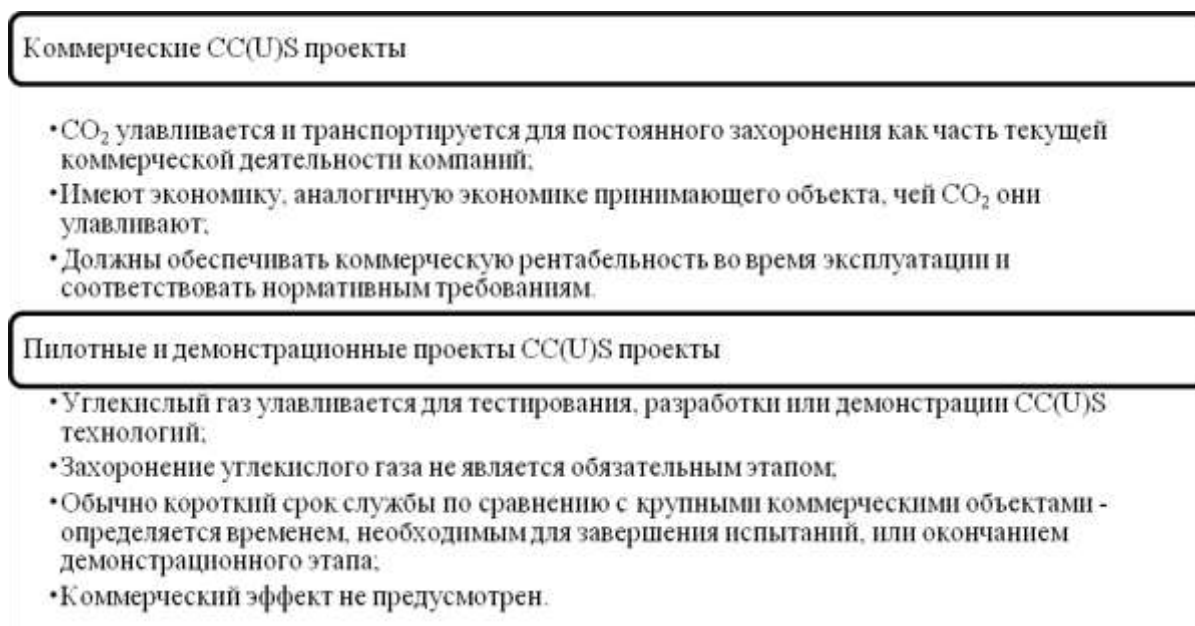


Рис. 3 – Классификация CC(U)S проектов по наличию коммерческого эффекта¹⁴

Глобальный институт CCS содержит базу данных по всем мировым проектам и производственным мощностям в сфере улавливания, захоронения и утилизации CO₂. На конец 2022 года она насчитывает более 220 коммерческих проектов, находящихся на этапах разработки, строительства, ожидания согласования, или эксплуатации, и более 90 пилотных и демонстрационных проектов.

С 2000-х годов наблюдается резкий рост количества CC(U)S проектов в мире, что связано в первую очередь с политикой декарбонизации мировой экономики, а также активным использованием технологий закачки CO₂ в пласты на нефтяных месторождениях для повышения нефтеотдачи. Только с 2019 по 2022 годы введено в эксплуатацию и действует в настоящий момент 9 новых проектов в 6 странах.

В настоящее время коммерческие CC(U)S проекты реализуются в 11 странах мира, их количество составляет 32 штуки (рис.4). Большинство из них

¹⁴ Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>

использует CO₂ для повышения нефтеотдачи пластов. Помимо указанных на рисунке 4, к странам, ведущим разработку и реализацию пилотных и демонстрационных проектов, относятся Япония, Германия, Швеция, Италия, Испания, Южная Корея, Великобритания, Франция, Нидерланды, Индия, Израиль, Хорватия, Индонезия и Бельгия¹⁵.

Причиной инициации большинства проектов, реализуемых до 2010 года (особенно в США), было улавливание CO₂ и его дальнейшее использование для интенсификации добычи нефти. Десять действующих в настоящее время объектов, которые давно реализуются на территории США, все еще используют уловленный CO₂ для увеличения нефтеотдачи.

Рисунок 4 упорядочивает проекты по показателю среднегодового объема захвата CO₂. Наибольшим среднегодовым объемом захвата на данный момент обладают производственные мощности завода по переработке природного газа Shute Creek в США, который одним из первых внедрил технологии улавливания и использования CO₂ для повышения нефтеотдачи и достиг показателя в 7 млн. т в год после его расширения в 2010 году (рис. 4).

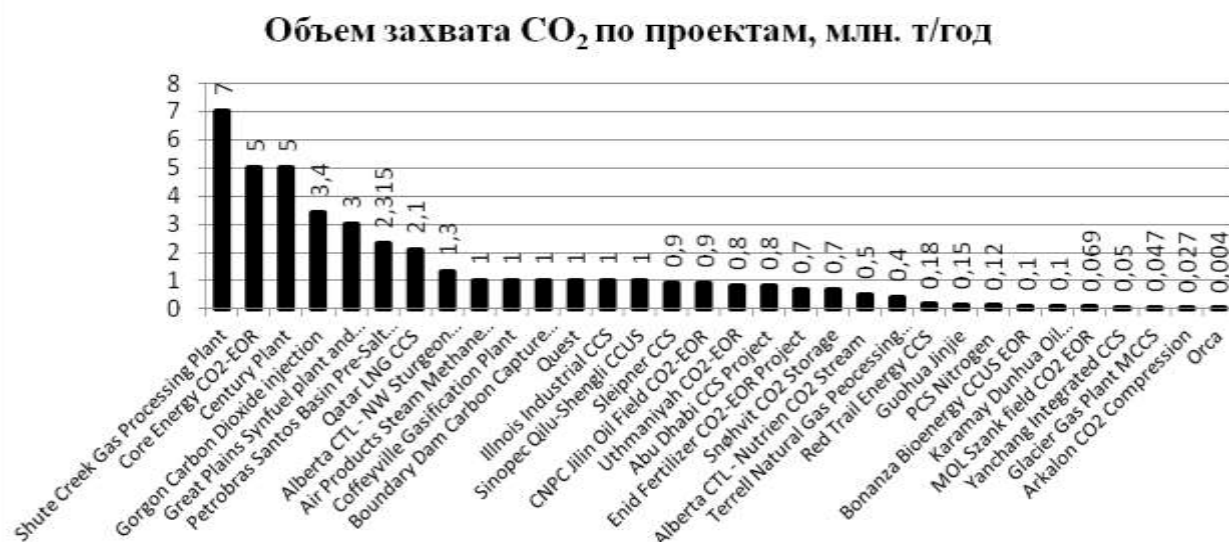


Рис. 4 – Среднегодовой объем захвата CO₂ по действующим проектам улавливания и захоронения углекислого газа, млн. т/год¹⁶

¹⁵ Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>

¹⁶ Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>

Рис. 5 показывает распределение действующих проектов по отраслям промышленности, большинство проектов реализуются в отрасли переработки природного газа.

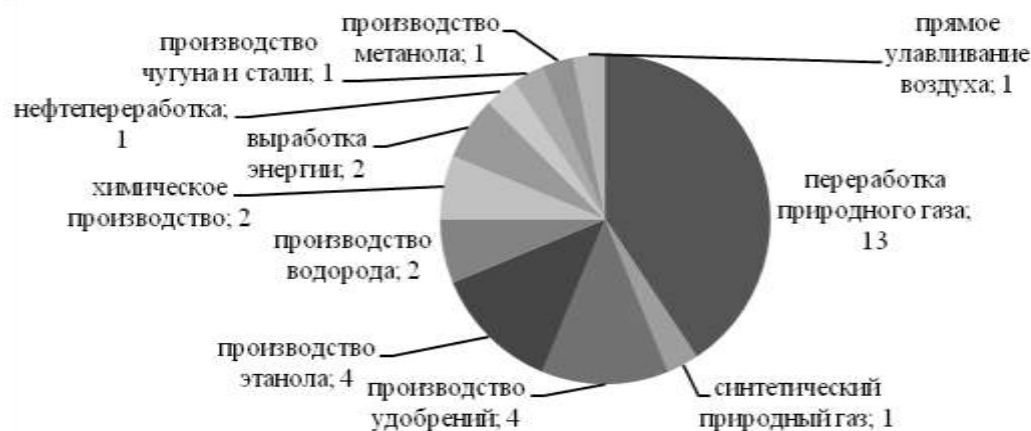


Рис. 5 – Отрасли действующих CC(U)S проектов на 2022 год¹⁷

Таким образом, проекты CC(U)S получают все большее распространение в мире, в особенности в последнее десятилетие.

3. Перспективы реализации проектов в России

На сегодняшний день Россия обладает значительным потенциалом в контексте возможностей развития и реализации проектов по улавливанию и захоронению CO₂. По показателю оцениваемого теоретического потенциала захоронения углекислого газа в осадочных бассейнах РФ превосходит все страны, включая США, а также Южную и Центральную Америку (рис. 6).

В работе Новикова Д.А. и др. (2022) проведено исследование и ранжирование территорий РФ с точки зрения потенциала для реализации проектов CC(U)S¹⁸. С этой целью разработан комплекс критериев (геологических, гидрогеологических, тектонических и природоохранных) для оценки перспектив захоронения углекислого газа, составлена карта перспектив захоронения CO₂ в регионах России. В исследовании Череповицына А.Е.,

¹⁷ Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>

¹⁸ Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И., Садыкова Я.В., Деркачев А.С., Черных А.В., Максимова А.А. Региональный прогноз перспектив реализации проектов CCUS на территории Российской Федерации // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. С. 248-255.

Васильева Ю.Н. и Цветковой А.Ю.¹⁹ приведен обзор наиболее перспективных регионов и нефтегазовых бассейнов с точки зрения осуществления проектов секвестрации CO₂.



Рис. 6 – Теоретический потенциал захоронения CO₂ по регионам в осадочных бассейнах²⁰

По оценкам Vygon Consulting, на данный момент существуют веские основания для разработки проектов CC(U)S в России – значительный потенциал для хранения CO₂ и развитая нефтегазовая отрасль²¹. Перспективными объектами для закачивания CO₂ в России являются водонасыщенные коллекторы, включающие в себя крупные месторождения нефти и газа, в том числе Уренгойское, Ямбургское, Медвежье, Ямсовейское, Заполярное и Южно-Русское месторождения²². Также перспективы связывают с большим количеством угольных пластов как потенциальных источников для захоронения CO₂ с последующей возможностью утилизации метана, содержащегося в них.

Перспективы реализации CC(U)S проектов в России во многом связаны и с расширением возможностей промышленного использования диоксида углерода. В табл. 3 систематизированы данные об основных областях

¹⁹ Череповицын А.Е., Васильев Ю.Н., Цветкова А.Ю. Оценка перспектив внедрения технологий секвестрации CO₂// РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2018. № 2. С. 86-89

²⁰ CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

²¹ CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

²² Черепанов В.В., Трусов А.И., Балув С.А., Золотухин В.С., Рублев М.Е. Выявление и предварительная оценка потенциальных геологических резервуаров на ЛУ ПАО «ГАЗПРОМ» Надым-Пур-Тазовского региона, пригодных для осуществления проектов хранения CO₂. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: nedra21_2022_2_94_58_84.pdf

потребления, имеющих потенциал к дальнейшему развитию. Также одним из перспективных направлений применения CO₂ является его последующее превращение в ценные химические вещества, используемые в промышленности, например, метан.

Таблица 3

Потенциальные сферы применения диоксида углерода²³

№	Сфера применения	Примеры использования
1	Пищевая промышленность	- консерванты и разрыхлители, - газирование питьевой воды
2	Химическая промышленность	- производство моющих средств, - получение кристаллической и кальцинированной воды
3	Медицина	- стимуляторы для восстановления дыхания, - кардиохирургия
4	Сельское хозяйство	- удобрения
5	Авиастроение и авиамоделирование	- в качестве источника энергии для двигателей
6	Сварочные работы	- применение в качестве защитной среды металла от окисления и изменения температурных режимов
7	Системы пожаротушения	- производство огнетушителей
8	Оружейная сфера	- создание давления в пневматическом оружии

Для обеспечения возможностей реализации CC(U)S проектов в России важно сформировать эффективную систему контроля и мониторинга для нивелирования потенциальных рисков и угроз, включить технологии улавливания и захоронения CO₂ в перечень наилучших доступных технологий и обосновать целевые показатели их внедрения (энергоэффективность, ресурсоемкость и др.), подготовить соответствующую нормативно-правовую базу, создать систему стимулов и условий государственной поддержки таких проектов в стране.

С целью оптимизации инвестиций при разработке проектов CC(U)S в России рекомендуется применять кластерный подход для создания промышленных центров, объединяющих как эмитентов, так и потребителей CO₂. Перспективным направлением развития является создание CC(U)S хабов на базе предприятий-эмитентов и нефтегазодобывающих компаний, что позволит последним одновременно реализовать проекты CO₂-МУН. Одним из таких потенциальных кластеров представляются промышленные предприятия

²³ Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода – проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – 3 (27). – С. 103-115.

Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Объемы эмиссии углекислого газа металлургическими, химическими компаниями и НПЗ для утилизации в данном районе оцениваются в 68 млн. т²⁴.

Заключение. Таким образом, СС(U)S технологии являются критически важными для решения целого перечня общемировых задач. Несмотря на то, что проекты по внедрению технологий захоронения и улавливания только начинают свое широкое распространение, на сегодняшний день имеется опыт эффективной реализации таких проектов. Анализ мирового опыта осуществления СС(U)S проектов показал, что география проектов, находящихся на разных стадиях разработки, а также уже вступивших в эксплуатацию, весьма широка и насчитывает более 25 стран.

В рамках проведенного исследования были рассмотрены технологии улавливания CO₂, выявлены преимущества и недостатки используемых на практике методов и технологических решений. Представлена характеристика основных способов захоронения CO₂ и проведена оценка перспектив их практического применения в России с учетом специфики отечественной промышленности. Систематизированы ключевые особенности современных СС(U)S технологий, состоящие в многостадийности систем, комплексности задач, необходимых к решению для эффективного внедрения технологий в производственно-технологический цикл, высокой стоимости применения технологий, недостаточной степени изученности целого ряда перспективных методов и др.

На основе выполненного обзора современных технологий, а также проведенного анализа мирового опыта реализации инвестиционных СС(U)S проектов выявлены перспективы осуществления таких проектов в России, связанные с наличием значительного потенциала захоронения CO₂ в осадочных бассейнах, водонасыщенных коллекторах, угольных пластах, а также

²⁴ CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

расширением потенциальных сфер использования углерода и его последующего превращения в ценные химические вещества.

Библиографический список:

1. Ахметова В.Р., Смирнов О.В. Улавливание и хранение диоксида углерода – проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. – 2020. – 3 (27). – С. 103-115.

2. Бауров А.А. Геологические методы секвестрации углерода // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2021. – №3. – С. 87-90.

3. Васильев Ю.Н., Цветкова А.Ю. Оценка позитивных и негативных аспектов проектов секвестрации углекислого газа // Российский экономический интернет-журнал. – 2018. – № 2. – С. 17.

4. Ильинова А.А., Ромашева Н.В., Стройков Г.А. Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа // Записки Горного института. 2020. – 244. – С. 493-502. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.12>

5. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И., Садыкова Я.В., Деркачев А.С., Черных А.В., Максимова А.А. Региональный прогноз перспектив реализации проектов CCUS на территории Российской Федерации // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – С. 248-255.

6. Переверзева С.А., Консавский П.К., Тудвачев А.В., Хархордин И.Л. Захоронение промышленных выбросов углекислого газа в геологические структуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – №1. – С. 5-21.

7. Рациональное природопользование технологии улавливания и захоронения углерода. Глобальные технологические тренды // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). – 2017. – №5. – С.4.

8. Сидорова К.И. Разработка технико-экономической модели улавливания CO₂ для энергетического сектора // Экология и промышленность России. – 2014. – №12. – С. 20-25.

9. Технологии улавливания, полезного использования и хранения двуокиси углерода (CCUS). Сколково 2022. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2022/11/CCUS-Skoltech-2022-11-10.pdf>

10. Черепанов В.В., Трусов А.И., Балугев С.А., Золотухин В.С., Рублев М.Е., Выявление и предварительная оценка потенциальных геологических резервуаров на ЛУ ПАО «ГАЗПРОМ» Надым-Пур-Тазовского региона, пригодных для осуществления проектов хранения CO₂. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: nedra21_2022_2_94_58_84.pdf

11. Череповицын А.Е., Васильев Ю.Н., Цветкова А.Ю. Оценка перспектив внедрения технологий секвестрации CO₂ // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2018. – № 2. – С. 86-89.

12. Carbon dioxide capture and storage. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP. – 2018, – 443 p.

13. CCUS: Монетизация выбросов. Vygon Consulting. 2021. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgy572b70me167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

14. Global CCS Institute. CCS Facilities Database. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://co2re.co/FacilityData>.

References:

1. Akhmetova V.R., Smirnov O.V. Capture and storage of carbon dioxide - problems and prospects // Bashkir chemical journal. – 2020. – № 3 (27). – P. 103-115.

2. Baurov A.A. Geological methods of carbon sequestration // New materials and technologies in mechanical engineering. – 2021. – № 3. – P. 87-90.

3. Vasiliev Yu.N., Tsvetkova A.Yu. Evaluation of positive and negative aspects of carbon sequestration projects // Russian Economic Internet Journal. – 2018. – № 2. – P. 17.

4. Ilinova A.A., Romasheva N.V., Stroikov G.A. Perspectives and social effects of carbon dioxide sequestration and use projects. *Journal of Mining Institute*. – 2020. – № 244. – P. 493-502. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.12>
5. Novikov D.A., Dultsev F.F., Yurchik I.I., Sadykova Ya.V., Derkachev A.S., Chernykh A.V., Maksimova A.A. Regional forecast of the prospects for the implementation of CCUS projects on the territory of the Russian Federation // *Interexpo Geo-Siberia*. – 2022. – P. 248-255.
6. Pereverzeva S.A., Konsavsky P.K., Tudvachev A.V., Kharkhordin I.L. Burial of Industrial Carbon Dioxide Emissions into Geological Structures // *Bulletin of St. Petersburg University*. – 2014. – № 1. – P. 5-21.
7. Rational nature management of carbon capture and storage technology. *Global Technology Trends // National Research University Higher School of Economics (NRU HSE)*. – 2017. – № 5. – P.4.
8. Sidorova K.I. Development of a technical and economic model of CO₂ capture for the energy sector // *Ecology and Industry of Russia*. – 2014. – № 12. – P. 20-25.
9. Carbon Dioxide Capture, Benefits and Storage (CCUS) technologies. Skolkovo 2022. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.skoltech.ru/app/data/uploads/2022/11/CCUS-Skolteh-2022-11-10.pdf>
10. Cherepanov V.V., Trusov A.I., Baluev S.A., Zolotukhin V.S., Rublev M.E. Identification and preliminary assessment of potential geological reservoirs at the license area of PJSC GAZPROM in the Nadym-Pur-Taz region suitable for implementation of CO₂ storage projects. 2021. [Electronic resource] – Access mode: [nedra21_2022_2_94_58_84.pdf](#)
11. Cherepovitsyn A.E., Vasiliev Yu.N., Tsvetkova A.Yu. Assessment of the prospects for the introduction of CO₂ sequestration technologies // *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*. – 2018. – № 2. – P. 86-89.
12. Carbon dioxide capture and storage. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP. – 2018, 443 p.

13. CCUS: Monetization of emissions. Vygon Consulting. 2021. [Electronic resource] – Access mode: https://vygon.consulting/upload/iblock/967/jzgys72b7ome167wi4dbao9fnsqsfj13/vygon_consulting_CCUS.pdf?ysclid=la02evo31f964459252

14. Global CCS Institute. CCS Facilities Database [Electronic resource] – Access mode: <https://co2re.co/FacilityData>.

Для цитирования: Тишкина Т.М., Анализ мирового опыта и перспектив реализации проектов СС(У)S в России/ Чанышева А.Ф., Соловьева В.М., Мошак А.Я., Подолянец Л.А. // Российский экономический интернет-журнал. – 2022. – № 4. URL:
© Чанышева А.Ф., Соловьева В.М., Мошак А.Я., Подолянец Л.А., Российский экономический интернет-журнал 2022, № 4.