



ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Федеральное государственное автономное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Центр экологической
промышленной политики»

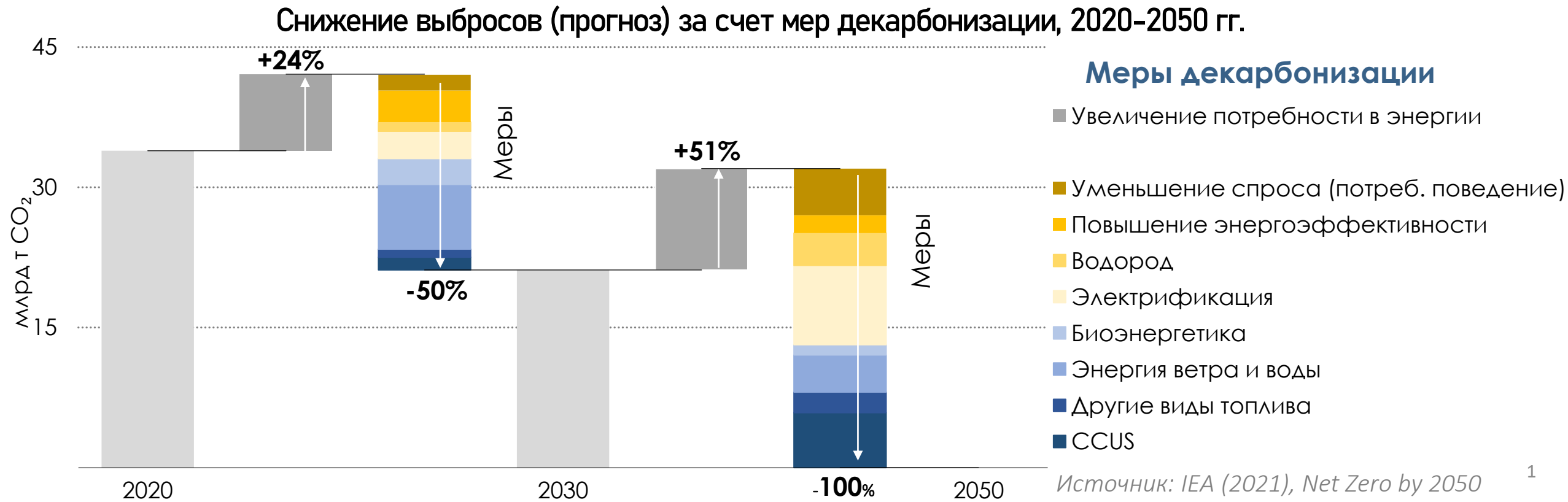
Секвестрация углекислого газа: базовые подходы к оценке затрат

Семинар «Траектории достижения углеродной нейтральности»

29 июня 2022

Роль CCS в достижении углеродной нейтральности

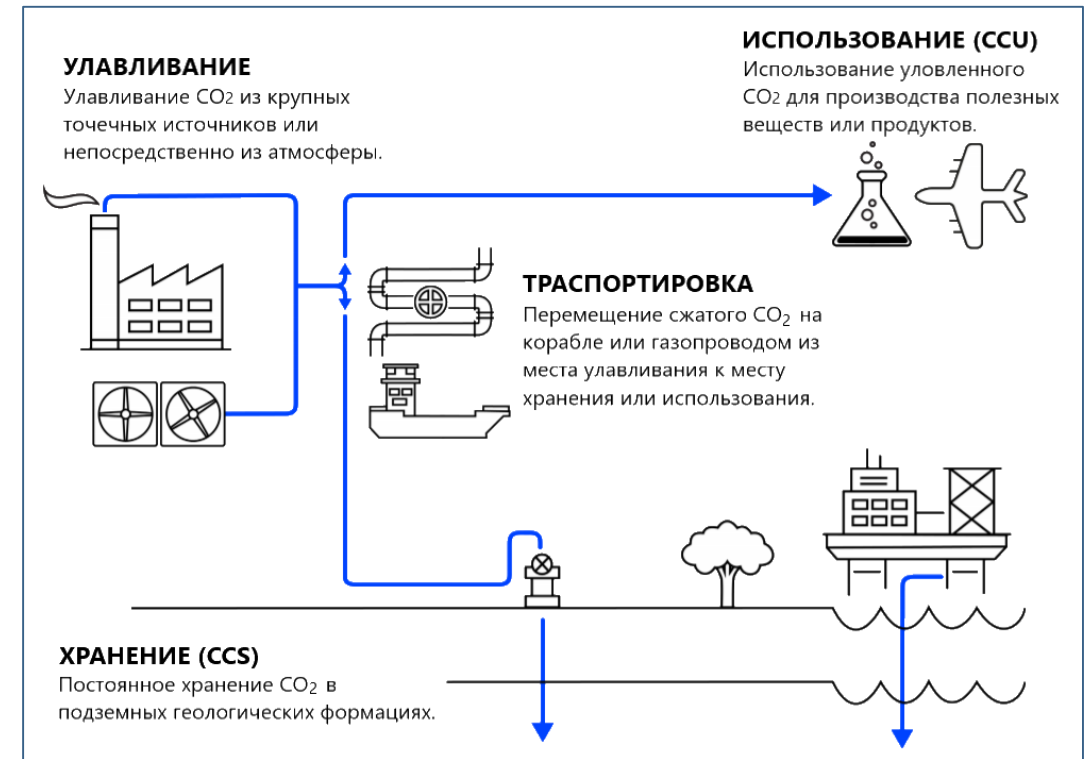
- Масса глобальных выбросов парниковых газов продолжает увеличиваться (средний темп роста за 10 лет 1,3%)
- Эксперты оценивают необходимые объёмы снижения выбросов CO₂ в 45-50% к 2030 году (по сравнению с 2010 г.) с последующим снижением до нуля к 2050 г.
- Движение к углеродной нейтральности невозможно без применения CC(U)S (carbon capture, utilization and storage)



CC(U)S: технологические цепочки и мировой опыт реализации

- В мире насчитывается 29 действующих коммерческих проектов CC(U)S (май 2022), из них только в 8 проектах углекислый газ не используется для повышения нефтеотдачи пластов (CO₂-EOR)
- 14 проектов реализуется на территории США; по 4 проекта в Китае и Канаде
- В 14 из действующих проектов CO₂ улавливается на предприятиях по переработке природного газа
- С 73 млн тонн в год в конце 2020 года совокупные мощности проектов в разработке выросли до 111 млн тонн в год в сентябре 2021 года (рост мощностей 48%)

Технологическая цепочка CCUS



Источник: IEA 2020

CC(U)S: типологии проектов и возможности утилизации

Типология проектов

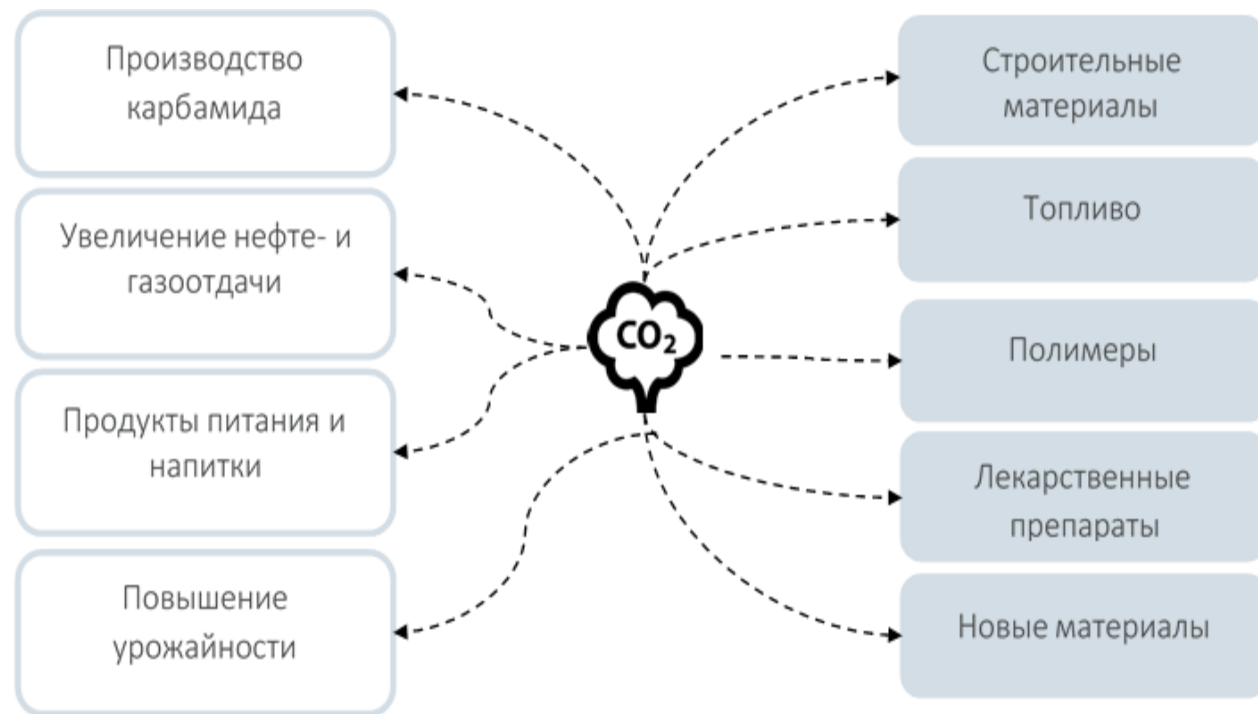
carbon capture and storage (CCS) – комплекс технологий по улавливанию и последующему бессрочному захоронению CO_2 в глубоких геологических формациях

carbon capture and utilization (CCU) – комплекс технологий по улавливанию и последующему полезному использованию захваченного CO_2 для получения продуктов с экономической ценностью

carbon capture, utilization and storage (CCUS) – комбинация предыдущих групп; предполагает улавливание CO_2 , его последующее полезное использование и захоронение.

Использование CO_2 имеет «коммерческий» потенциал в сталелитейном, цементном, строительном и других секторах. CO_2 может быть сырьём для производства бетона, метанола, этанола, карбонатов, пластмасс и т.д.

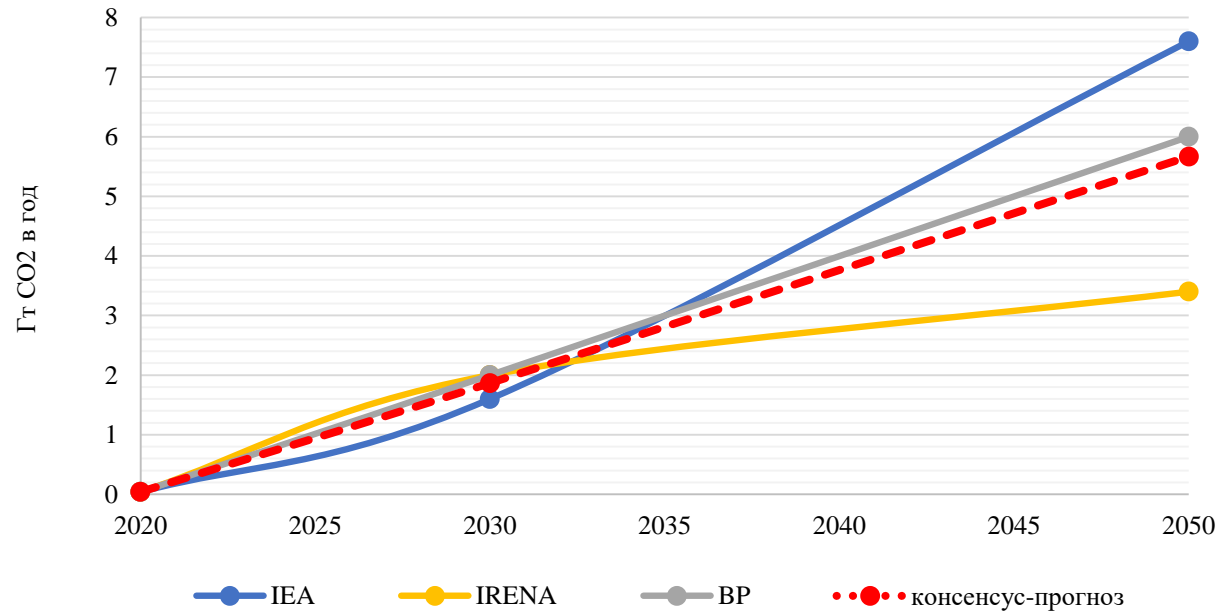
Варианты утилизации CO_2



Составлено автором

Анализ оценок мировых агентств по развитию CC(U)S

Консенсус-прогноз развития мощностей CC(U)S в случае достижения нулевых выбросов к 2050 году



Составлено на основе: IEA 2021, IRENA 2021, BP 2022

- Суммарная мощность действующих проектов CC(U)S в мире составляет от 40 до 50 млн т CO₂ в год, с учетом находящихся на стадии разработки (по состоянию на 2021 год) – 150 млн т.
- В отраслевом разрезе в мире лидерами по развитию CC(U)S являются нефтегазовый сектор и электроэнергетика.
- Учитывая текущие тенденции, CC(U)S не получат стремительного развития в ближайшие 5 лет, однако к 2030 году прогнозируется их резкий рост.
- Высокие затраты на реализацию CC(U)S являются основным препятствием для их широкого распространения, поэтому важно понимать их стоимостные характеристики.

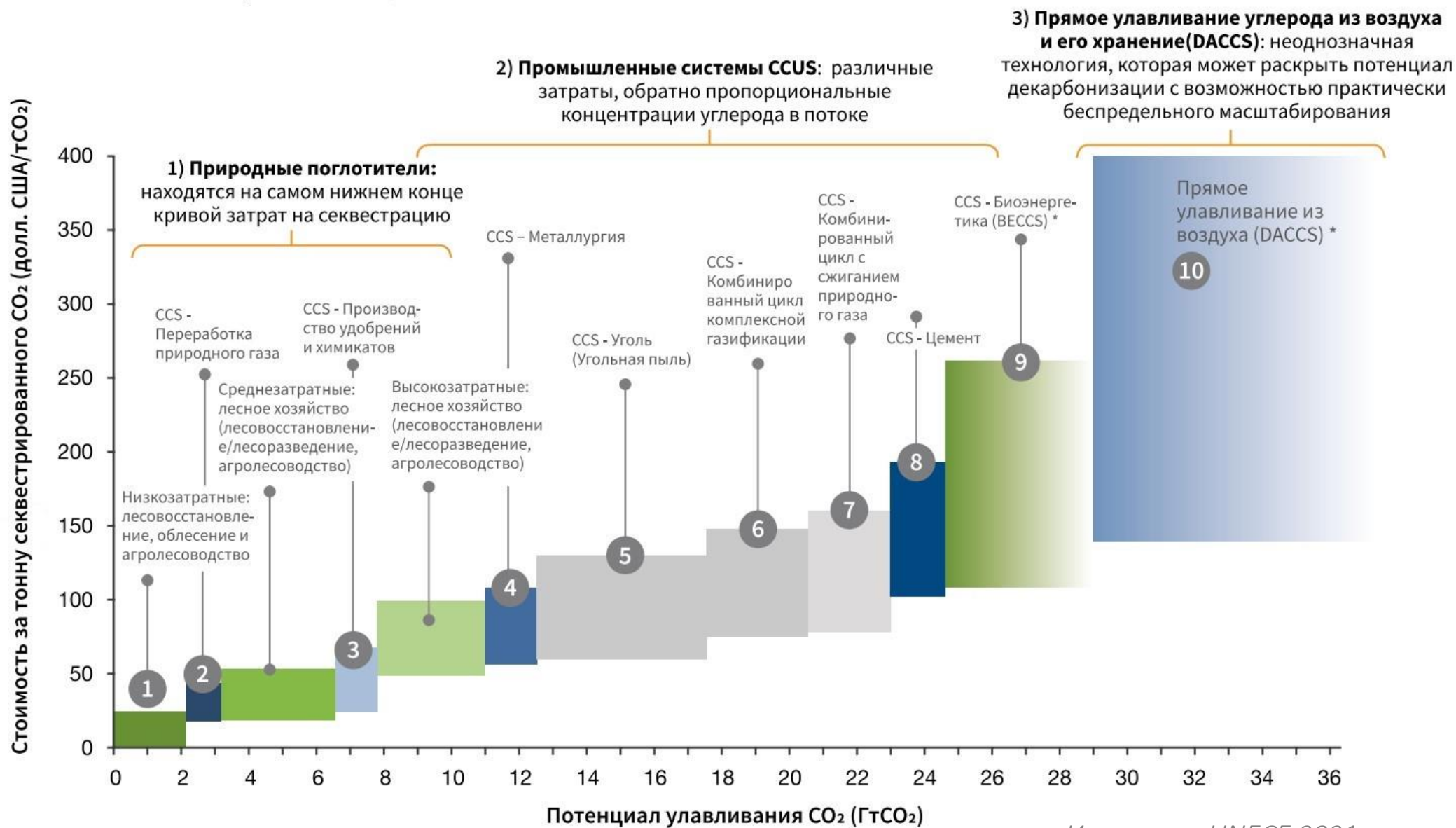


GLOBAL CCS
INSTITUTE



Организации, подтверждающие перспективность развития CC(U)S

Кривая затрат на секвестрацию углерода и потенциал сокращения ПГ



* Обозначает технологии, которые все еще находятся на ранней (пилотной) стадии разработки.

Источник: UNECE 2021

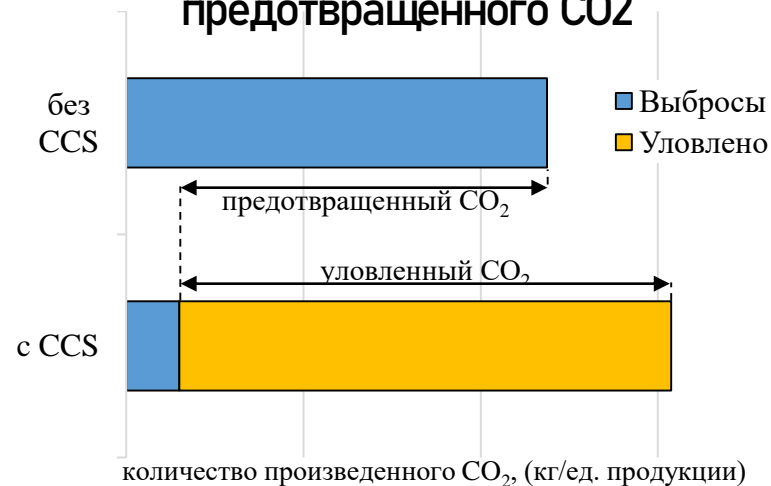
Общие подходы к оценке затрат на реализацию CC(U)S

Характеристика подходов к оценке затрат на CC(U)S

Подход к оценке затрат	Суть
Определение общей стоимости секвестрации на 1 т CO ₂	Позволяет унифицировать оценку по разным отраслям и технологическим цепочкам. Позволяет производить сравнение решений с другими опциями декарбонизации (ВИЭ, энергоэффективность и др.).
Оценка затрат по стадиям технологического цикла	Является базовым подходом, применяемым по всем отраслям. Позволяет определять затраты по каждому звену технологической цепи (улавливание, транспортировка, хранение) и, в последующем, компоновать их при разных условиях.
Оценка затрат по отраслям применения	Сводится к оценке затрат на улавливание в разных отраслях как единственных различных для разных отраслей. Позволяет сравнивать различные отрасли-адаптеры CCS между собой.
Оценка затрат в вариантах «BASE» (базовые затраты) и «OPTI» (оптимизированные затраты)	Сводится к оценке базовых затрат (первые мощности с самыми высокими затратами) и оптимизированных затрат (усовершенствованные мощности с более низкими затратами). Позволяет отслеживать снижение затрат в связи с усовершенствованием решений, а также прогнозировать последующее улучшение экономики секвестрации.
Разделение отраслей-адаптеров CCS на электроэнергетику и промышленность	Сводится к разделению отраслей на 2 общие группы: 1. электроэнергетика; 2. другие промышленные сектора. Используются разные подходы (методики) к оценке затрат

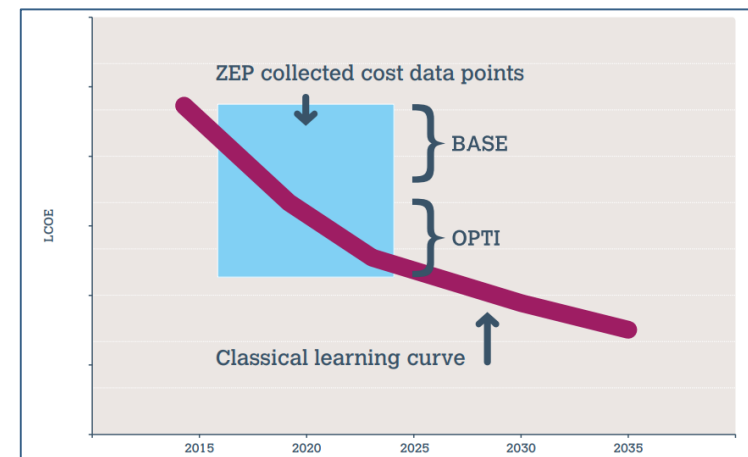
$$\text{Стоимость предотвращенных выбросов CO}_2 = \frac{(LCOKM)_{CCS} - (LCOKM)_{ref}}{(\text{тонн}_{CO_2}/\text{ед}_{пр})_{ref} - (\text{тонн}_{CO_2}/\text{ед}_{пр})_{CCS}}$$

Разница между массой уловленного и предотвращенного CO₂



Составлено на основе: IPCC 2005

Оценки в вариантах BASE и OPTI

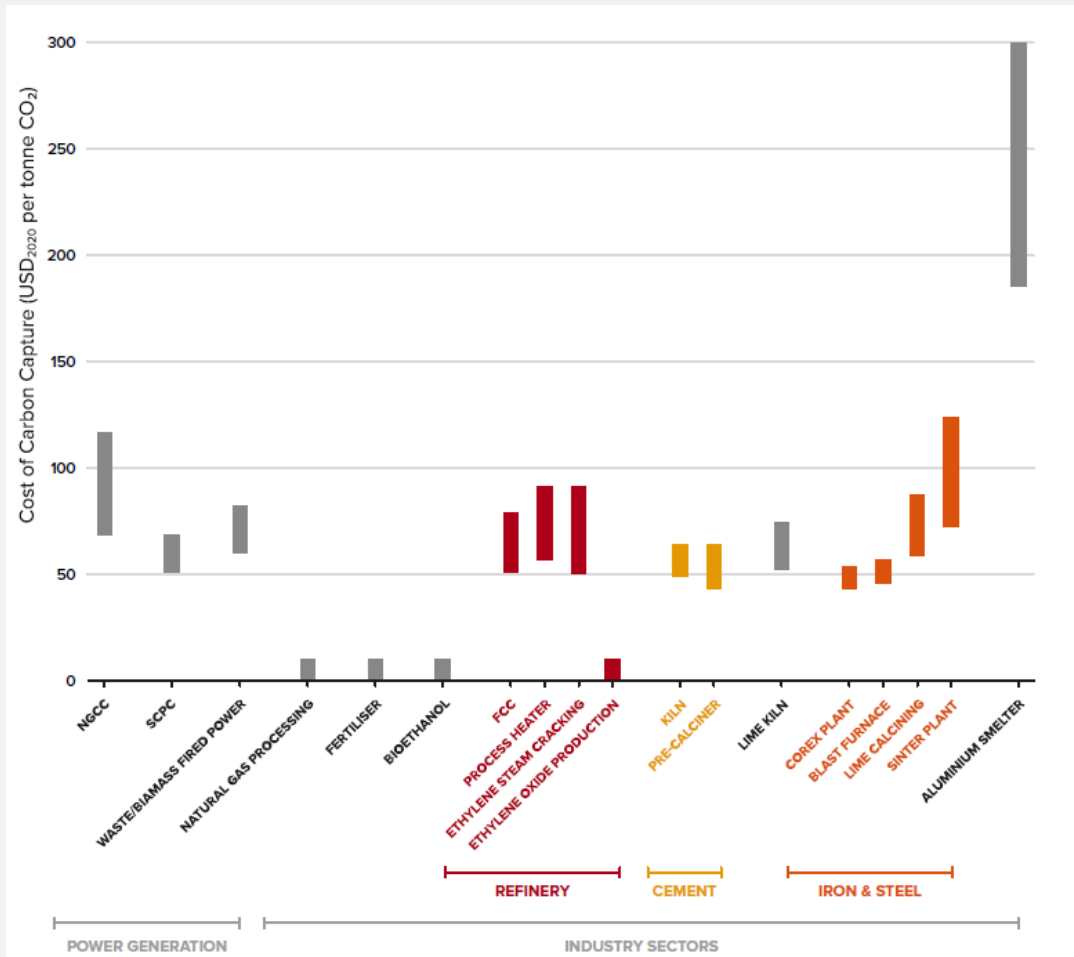


Источник: ZEP 2011

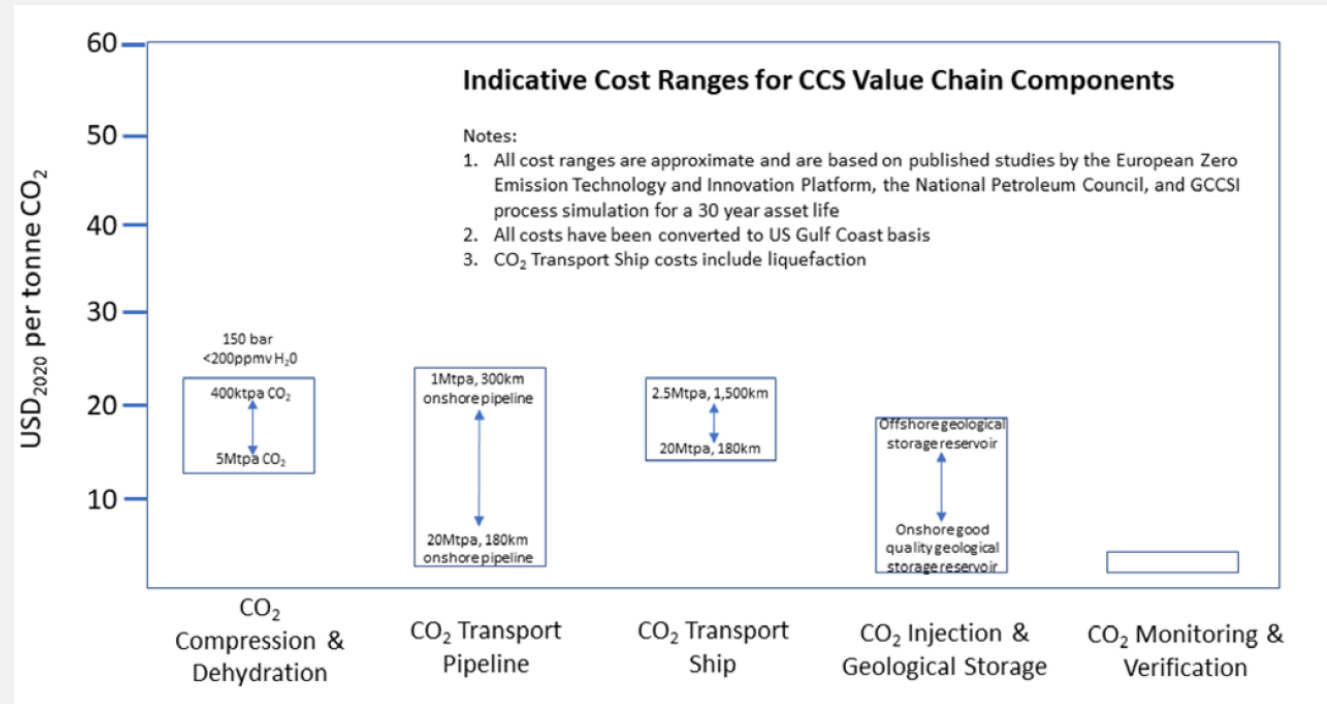
Примеры

Стоимость захвата CO₂, транспортировки и хранения

Затраты на улавливание

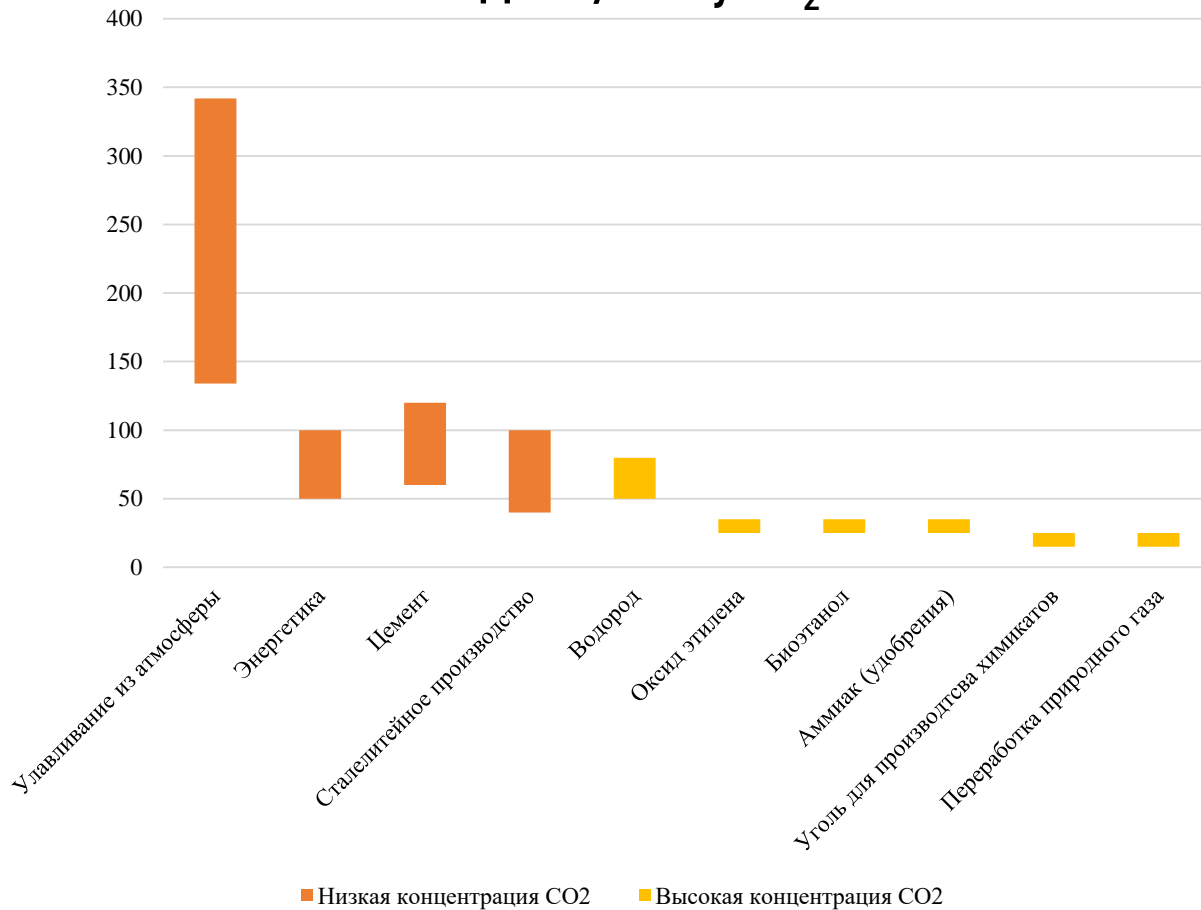


Затраты на различные варианты транспортировки и хранения



Стоимость улавливания CO₂ по отраслям

Стоимость улавливания по отраслям, долл./тонну CO₂



Составлено на основе: IEA 2019

- Стоимость улавливания может составлять до ¼ общей стоимости проектов CCS.
- Стоимость улавливания 1 тонны CO₂ из разных источников может варьироваться от 15 до 120 долларов и выше в зависимости от источника выбросов, мощности объекта, стоимости электричества, оборудования и других факторов.
- Наблюдается разделение отраслей на «дорогие» и более «дешёвые».

Сравнение стоимостей улавливания из разных источников для условий США (в ценах 2019 г.)

Источник	IEA	NPC	Belfercenter
Угольные электростанции	50-100	83-268	19-128
Электростанции на природном газе	н/д	93-290	48-146
Цемент	60-120	64-95	18-199
Сталелитейное производство	40-100	75-113	8-129
Водород	50-80	61-88	63-132
Этанол	н/д	24-34	25-35
Аммиак (удобрения)	25-35	21-30	21-31
Переработка природного газа	15-25	23-35	н/д

Составлено на основе: IEA 2019, NPC 2019, Belfercenter 2021

Стоимость транспортировки CO₂

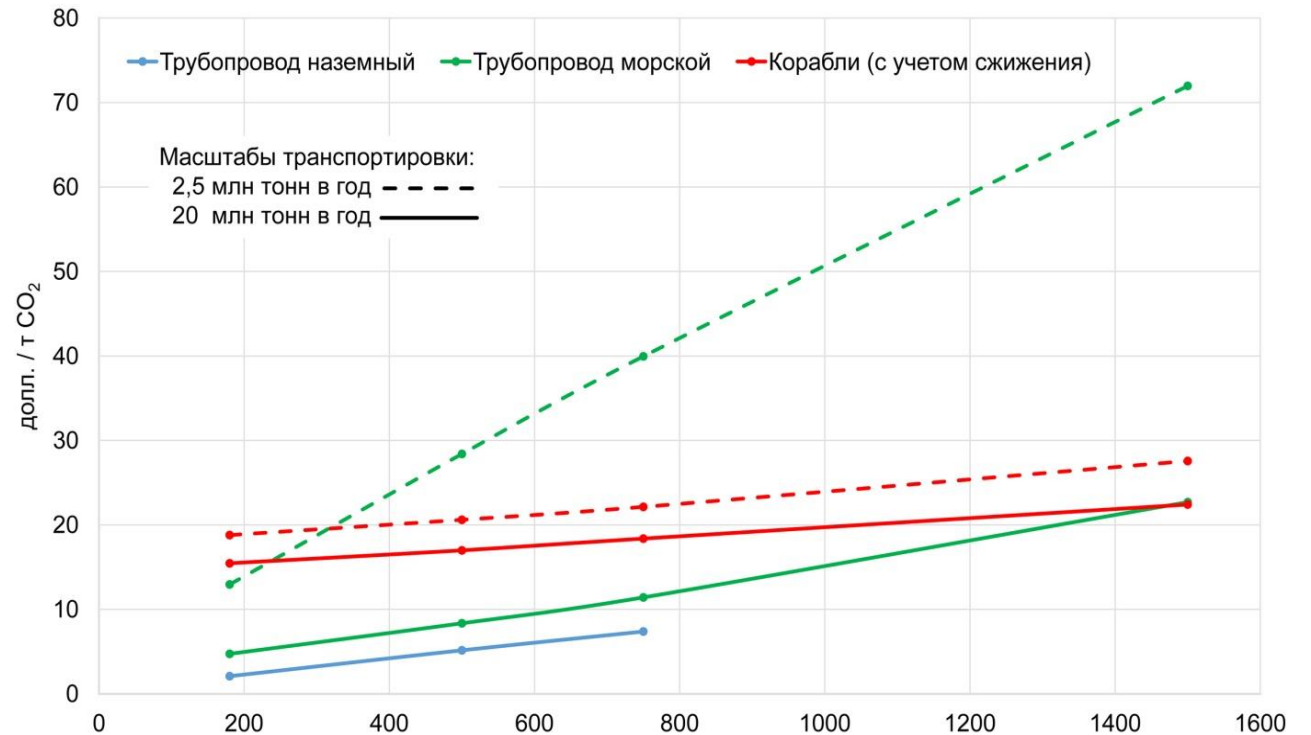
- Транспортировка CO₂ является зрелым технологическим процессом.

- Большая часть газа по действующим проектам транспортируется трубопроводами (85% всех трубопроводов – в США).

- Стоимость транспортировки CO₂ зависит, прежде всего, от территориального расположения мощностей проекта и существующей системы транспорта.

- Например, затраты на транспортировку 2 млн тонн углекислого газа в год трубопроводом оценивают от 4 до 31 долл. за тонну, кораблём – от 21 до 27 в зависимости от расстояния

Расходы на транспортировку CO₂ на большие расстояния



Составлено на основе: ZEP 2011

Варианты и стоимость захоронения CO₂

1 Закачка углекислого газа в нефтяной пласт для повышения нефтеотдачи и последующего хранения (CO₂-EOR);

2 Хранение в соленосных пластах;

3 Хранение в истощённых нефтяных и газовых месторождениях.

По данным МЭА, для условий США стоимость захоронения CO₂ оценивается от 5 до 55 долл. за тонну, при этом:

- в более 60% наземных резервуаров стоимость не превышает 10 долл. за тонну,
- в случае морских – в половине резервуаров не более 40 долл. за тонну.

Национальный нефтяной совет оценил стоимость наземного захоронения в США от \$1 до \$18 за тонну CO₂ в зависимости от региона и объёмов закачки.

Однако, стоимость хранения CO₂ будет зависеть сугубо от конкретного хранилища.

Система факторов, определяющих уровень затрат на CCS

Улавливание

ОТ ЧЕГО ЗАВИСЯТ

- состав газа
- парциальное давление газа
- масштаб мощностей
- стоимость электроэнергии
- доступность (применимость) технологий

ЗА СЧЕТ ЧЕГО МОГУТ СНИЖАТЬСЯ

- обучение и накопление опыта
- экономия на масштабе
- модуляризация
- низкотратные стратегии энергообеспечения (в том числе использование отработанного тепла)
- улучшение существующих и создание новых технологий

Транспорт

ОТ ЧЕГО ЗАВИСЯТ

- существующая инфраструктура
- объем транспортируемого газа
- расстояние транспортировки
- фаза, в которой транспортируется CO₂ (газовая / плотная)

ЗА СЧЕТ ЧЕГО МОГУТ СНИЖАТЬСЯ

- развитие инфраструктуры
- экономия на масштабе
- создание кластеров / хабов
- выбор способа транспортировки / создание цепочек в зависимости от расстояния

Хранение

ОТ ЧЕГО ЗАВИСЯТ

- доступ к хранилищу (море/суша/расположение)
- тип пласта
- степень изученности хранилища
- ёмкость хранилища
- существующая инфраструктура
- объем и свойства газа

ЗА СЧЕТ ЧЕГО МОГУТ СНИЖАТЬСЯ

- экономия на масштабе
- доступность более дешевых хранилищ
- масштабирование CCS
- развитие инфраструктуры
- улучшение и адаптация технологий мониторинга
- цифровизация, автоматизация и предиктивная аналитика

Выводы/вопросы для дискуссии



Существует большое количество подходов к оценке затрат на CCS; отмечается недостаток данных, сложность унификации подходов, высокая степень неопределенности оценок, значительная вариация значений. Общие ориентиры и выводы могут служить базой для планирования и разработки моделей реализации проектов секвестрации в России.



Привлекательность инициатив CCS во многом зависит от объёма, концентрации и парциального давления CO_2 на источнике выбросов, характеристик транспортной системы, близости к месту (резервуару) для захоронения



Ожидается, что нефтегазовый сектор и электроэнергетика будут первыми отраслями-адаптерами CCS в России. Доминирование ископаемого вида топлива усиливает актуальность развития опций секвестрации в России, особенно технологий CO_2 -EOR.



На этапе планирования CCS важно уделять внимание тем факторам, которые значительно влияют на уровень затрат. Например, избегать небольших масштабов установок по улавливанию, а также моделировать создание всей технологической цепочки с выбором более эффективных вариантов ее реализации.



Понимание того, как различаются затраты на CCS в разных отраслях, важно на уровне государства для формирования государственной политики, разработки отраслевых инструментов поддержки, принятия решений. Чем более «дорогой» с точки зрения адаптации CCS является отрасль, тем сильнее возрастает роль поддержки со стороны государства.











Ключевые вопросы для масштабного внедрения технологий секвестрации в России – развитие технологий улавливания, системы перевозок CO_2 , обеспечения достоверных данных о потенциальных резервуарах. Все это напрямую влияет на уровень затрат.



Признанное перспективное направление масштабирования CCS – развитие кластеров/хабов, состоящих из группы эмитентов углекислого газа из различных отраслей промышленности, нацеленных на совместное использование инфраструктуры (густонаселенные промышленные районы).

Как мы видим CC(U)S сегодня? Это ...

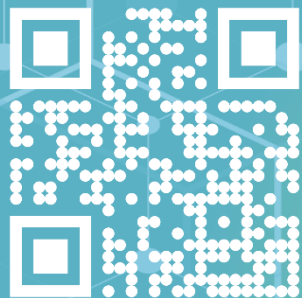
-  «Продление жизни» тепловой энергетики в мире и в России
-  Действенная мера для декарбонизации промышленности
-  Источник ценного сырья (ресурса) – CO₂
-  Движение к замкнутым производственным цепочкам
-  Новое направление бизнеса для нефтегазовых компаний, монетизирующее их компетенции (но и здесь нужна поддержка/стимулы)
-  Одна из составляющих комплексной дорожной карты декарбонизации
-  Вызов для мира и России (необходимо серьёзное масштабирование – три порядка цифр)
-  Возможная «новая отрасль» в России



ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Федеральное государственное автономное учреждение
«Научно-исследовательский институт «Центр экологической
промышленной политики»

КОНТАКТЫ



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Череповицына Алина Александровна

a.cherepovitsyna@eipc.center

eipc.center

burondt.ru