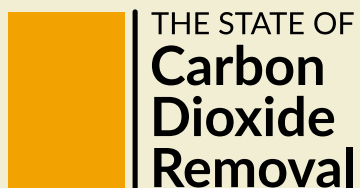


Краткое содержание



Международная независимая научная оценка удаления диоксида углерода

3-е издание | 2026 г.

Сотрудничество под руководством **Моргана Р. Эдвардса** (Висконсинский университет в Мэдисоне), **Оливера Гедена** (Немецкий институт международных отношений и безопасности, SWP), **Мэттью Дж. Гиддена** (Мэрилендский университет), **Уильяма Ф. Лэмба** (Потсдамский институт изучения климатических изменений, PIK), **Яна К. Минкса** (Потсдамский институт изучения климатических изменений, PIK), **Грегори Ф. Немета** (Висконсинский университет в Мэдисоне) и **Стивена М. Смита** (Оксфордский университет).

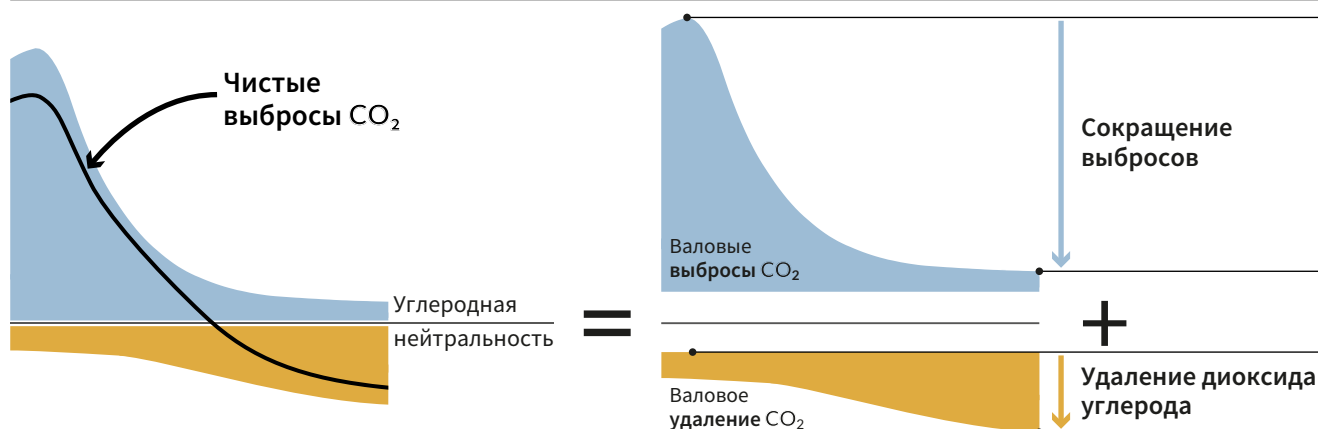
Благодарности:
перевод выполнен компанией Strategic Agenda. Выражаем особую благодарность **Чурляеву Дмитрию** (научный ассистент — Центр глобальной устойчивости, Университет Мэриленда, Колледж-Парк, Мэриленд, США) за экспертное мнение и за время, выделенное на проверку технической точности перевода доклада. Дизайн и верстка — **Фотини Спагопулу**, Designers For Climate Studios.

Краткое содержание

1. Для достижения цели Парижского соглашения по удержанию роста глобальной средней температуры, требуются как меры по удалению диоксида углерода (УДУ), так и снижение уровня выбросов.

Удаление диоксида углерода включает в себя деятельность человека по улавливанию CO_2 из атмосферы и его долгосрочному хранению в геологических, наземных или океанических резервуарах, а также в продуктах хранения. До тех пор, пока продолжают какие-либо выбросы, УДУ будет необходимо для того, чтобы остановить рост глобальной температуры. Все сценарии, которые предусматривают достижение чистого нулевого уровня выбросов и прекращение роста глобальной температуры, требуют масштабного применения технологий УДУ в гигатонных объемах. Во всех экономически эффективных сценариях, соответствующих Парижскому соглашению, на сокращение выбросов приходится не менее 80% усилий по достижению чистого нулевого уровня выбросов CO_2 , а УДУ обеспечивает оставшуюся часть.

Для достижения климатических целей необходимы как удаление диоксида углерода (УДУ), так и сокращение выбросов



2. Существует множество методов УДУ, и они сильно различаются по стоимости, потенциалу и степени общественного одобрения.

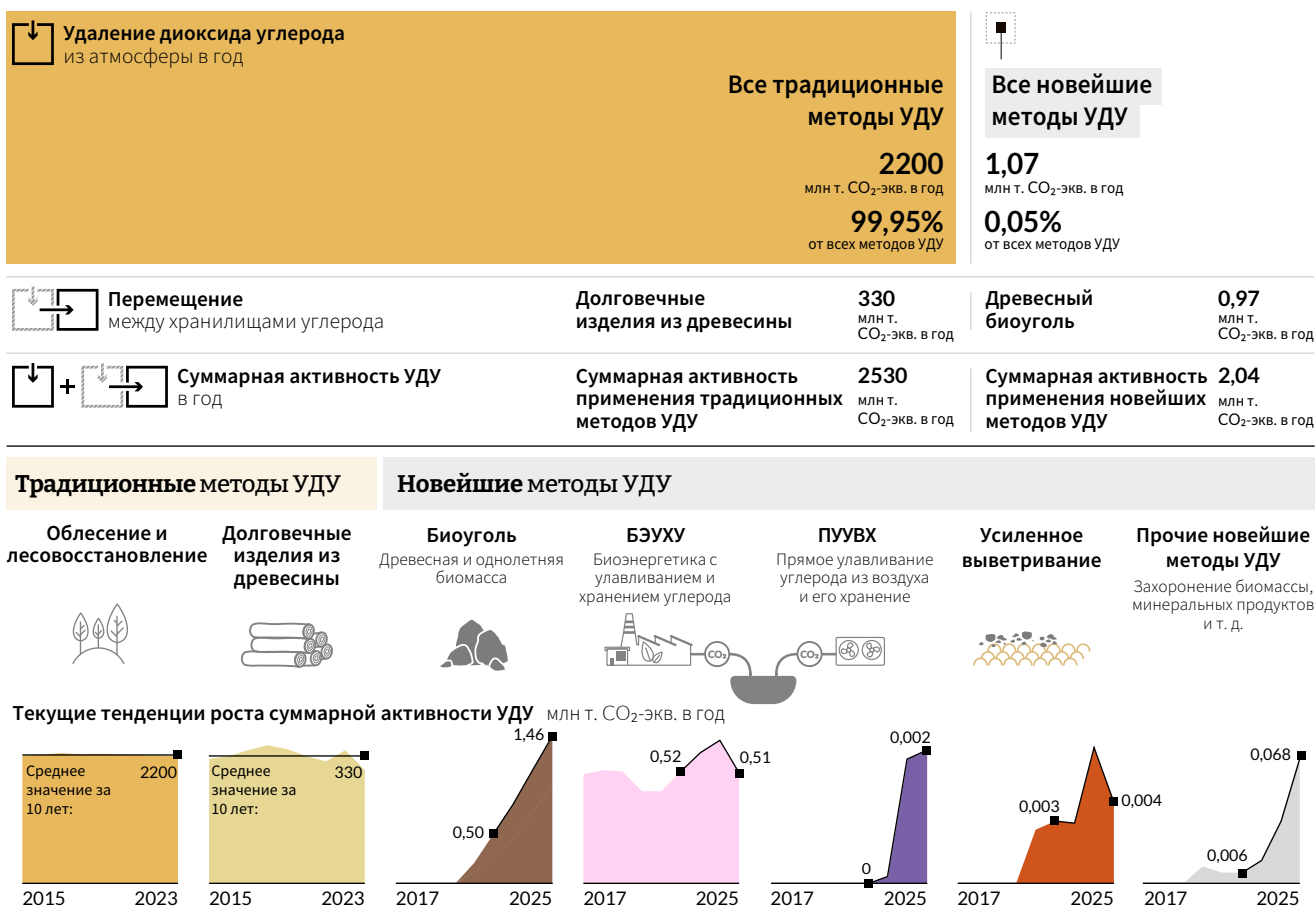
Методы УДУ делятся на «традиционные» — хорошо зарекомендовавшие себя подходы, связанные в основном с лесами и почвой, — и «новейшие», такие как использование биоугля, интенсификация выветривания горных пород, а также прямое улавливание диоксида углерода из воздуха с его последующим хранением. Ожидаемая стоимость

удаления диоксида углерода варьируется в огромном диапазоне — от менее чем 10 долл. США до более чем 1000 долл. США за тонну, при этом для большинства методов верхний порог превышает 200 долл. США за тонну, что значительно выше текущих цен на углеродные квоты. Большой разброс в оценках стоимости наблюдается даже в рамках каждого отдельного метода удаления диоксида углерода. Что касается различных методов УДУ, то их масштабирование будет зависеть от того, насколько снизится их соответствующая стоимость. Потенциал удаления диоксида углерода отдельных методов также варьируется в широких пределах, при этом более скромные и надежные оценки для большинства из них составляют около 1 млрд т. CO₂-экв. в год. Причины такой неопределенности кроются в слабой научной изученности, нехватке данных, противоречивых определениях, а также в неопределенности касательно экологической устойчивости и долговечности хранения. Что касается стоимости, то к этим проблемам добавляются различия в определении границ исследуемых систем, а также то, учитываются ли сопутствующие выгоды и затраты на мониторинг, отчетность и верификацию. Уровень общественной поддержки также характеризуется неопределенностью. Данная неопределенность обусловлена рисками для экосистем и проблемами нормативно-правового регулирования, а ее преодоление зависит от взаимодействия с широкой общественностью и объяснения преимуществ для местного населения. Осведомленность населения о технологиях УДУ остается низкой, а объем их освещения в СМИ сократился — как в абсолютном выражении, так и в доле от общего объема материалов, посвященных климатической тематике. Доказательство надежности и эффективности каждого метода будет иметь решающее значение для раскрытия их потенциала.

3. В настоящее время УДУ происходит почти полностью за счет традиционных наземных методов; новейшие методы УДУ развиваются быстро, но все еще составляют ничтожно малую долю от общего объема.

Общий объем УДУ составляет 2,2 млрд т. CO₂-экв. в год, что эквивалентно 5% от валового объема выбросов CO₂. На традиционные методы УДУ приходится 99,9% от этого объема, причем наибольший вклад вносят Китай, США, Европейский союз, Бразилия и Россия. Объем удаления диоксида углерода с помощью новейших методов составляет всего 0,002 млрд т. CO₂-экв. в год. Хотя этот показатель растет на 40% ежегодно — темпами, сопоставимыми с такими успешными технологиями, как солнечная энергетика, — этого все еще недостаточно для масштабирования, необходимого для достижения цели Парижского соглашения по удержанию роста глобальной средней температуры. На биоуголь и биоэнергию и улавливание и хранение диоксида углерода (БЭУХУ) приходится почти весь объем удаления углерода с помощью новейших методов. С учетом строящихся объектов эти проекты позволят достичь мощности в 0,008 млрд т. CO₂-экв. в год к 2030 году, хотя в последние годы было построено лишь 20% от всех запланированных мощностей.

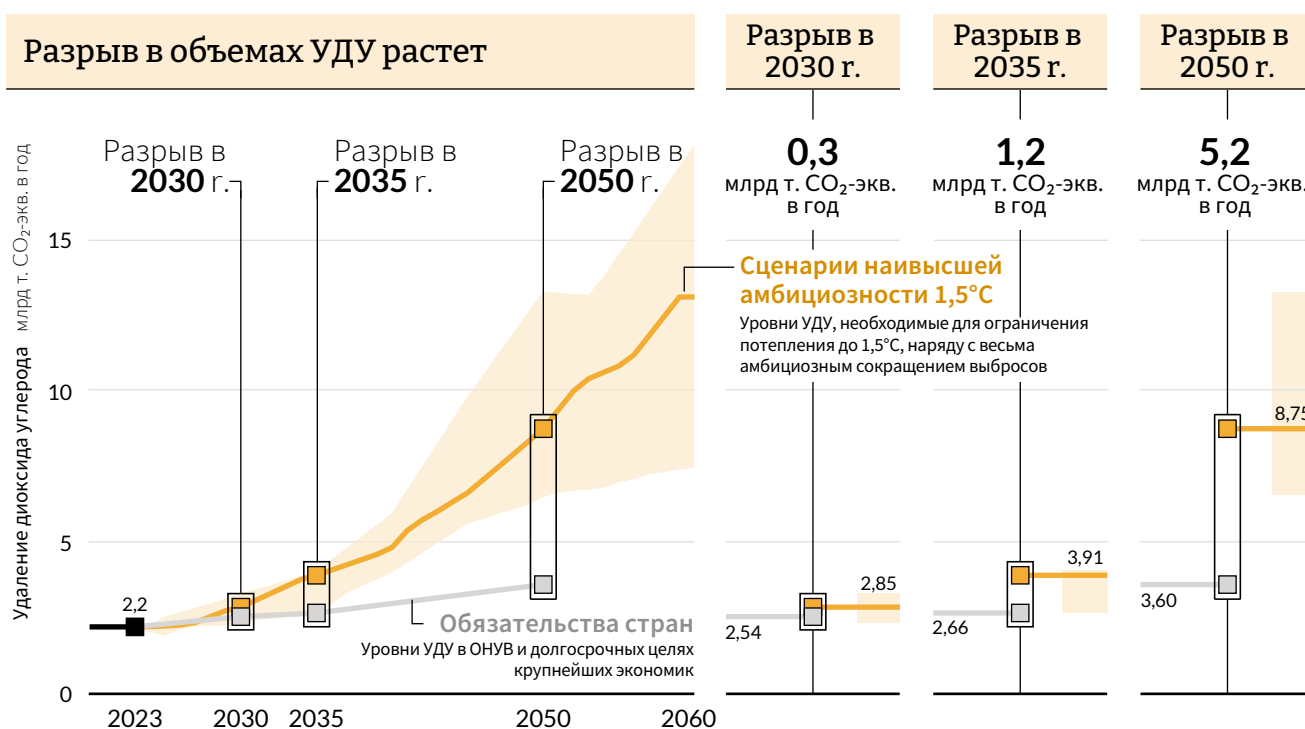
Сегодня УДУ почти полностью обеспечивается традиционными методами, но новейшие методы растут



4. Существует значительный и постоянно увеличивающийся разрыв между объемами УДУ, заявленными в обязательствах стран, и показателями, необходимыми для реализации сценариев Парижского соглашения; при этом как традиционные, так и новейшие методы УДУ задействованы абсолютно в каждом из этих сценариев.

Обязательства стран, с учетом последних определяемых на национальном уровне вкладов, предусматривают удаление 2,5 млрд т. CO₂-экв. в год к 2030 году. Однако медианное значение в наиболее амбициозных сценариях, соответствующих целям Парижского соглашения, составляет 2,9 млрд т. CO₂-экв. в год. В результате этот разрыв составляет 0,3 млрд т. CO₂-экв. в год. Чтобы преодолеть этот разрыв к 2030 году, общий целевой показатель необходимо увеличить примерно вдвое (то есть с нынешних +0,3 млрд т. CO₂-экв. в год до +0,6 млрд т. CO₂-экв. в год к 2030 году) за счет пересмотра существующих и принятия новых обязательств. В дальнейшем этот разрыв будет стремительно увеличиваться, достигнув 1,2 млрд т. CO₂-экв. в год к 2035 году и 5,2 млрд т. CO₂-экв. в год к 2050 году,

при этом в обоих случаях заявленные странами обязательства окажутся ниже уровней, предусмотренных абсолютно всеми сценариями Парижского соглашения. Общий объем сокращений, анонсированный коммерческими компаниями, в совокупности превышает 5 млрд т. CO₂-экв. в год к 2050 году, что существенно выше целевых показателей, заявленных государствами. Однако даже в этом случае сохранится многомиллиардный разрыв в объемах CO₂, к тому же уровень доверия к подобным корпоративным заявлениям остается низким. Лишь около трети стран упоминают новейшие методы УДУ в своих стратегиях, рассчитанных до середины века. В то время как традиционные методы УДУ продолжают играть ключевую роль в краткосрочной перспективе, объемы применения новейших методов в анализируемых сценариях увеличатся в пять раз в период с 2030 по 2035 год, а к 2050 году их рост ускорится до более чем 3,5 млрд т. CO₂-экв. в год. Поскольку с момента выхода 2-го издания нашего доклада объемы выбросов продолжали расти, увеличился и разрыв в показателях УДУ. Этот разрыв продолжит увеличиваться, если в ближайшей перспективе не будут предприняты решительные меры по сокращению выбросов.



5. Методы УДУ следует рассматривать в более широком контексте, который включает в себя множество смежных целей и побочных эффектов.

Политика применения традиционных методов УДУ реализуется уже много лет и обусловлена самыми разными целями, включая восстановление экосистем, защиту биоразнообразия и создание экономических возможностей, а также стабилизацию климата. Отношение к методам УДУ формируется под влиянием целого ряда факторов, среди которых финансовая выгода, сопутствующие преимущества, доверие к ключевым участникам и стремление избежать нанесения вреда экосистемам. Аналогичным образом,

более половины грантового финансирования исследований в области УДУ выделяется на проекты, цели которых изначально сформулированы иначе — например, на инициативы, связанные с тушением лесных пожаров или развитием чистой энергетики. Эффекты, выходящие за рамки непосредственного удаления диоксида углерода, могут существенно повлиять на потенциал и жизнеспособность методов УДУ. Подобные побочные эффекты варьируются в зависимости от сценариев развертывания УДУ, обычно усиливаются по мере масштабирования и влекут за собой последствия для биоразнообразия, потребления ресурсов, использования энергии и производства продуктов питания. Некоторые элементы УДУ вступают в конкуренцию с другими климатическими мерами (например, из-за ограниченности ресурсов биомассы), в то время как другие обеспечивают синергетический эффект и приносят сопутствующие преимущества. Например, применение биоугля и метод ускоренного выветривания минералов способны повысить урожайность сельскохозяйственных культур, в то время как использование долговечных деревянных изделий позволяет избежать выбросов, неизбежных при производстве аналогичных товаров с помощью углеродоемких процессов. Грамотная разработка административно-правовых мер может сыграть важную роль в увеличении сопутствующих преимуществ и предотвращении вреда для достижения более устойчивых результатов.

6. Спрос на технологии УДУ имеет решающее значение для преодоления существующего разрыва в показателях УДУ. Несмотря на рост инновационной активности, ожидания значительного и стабильно растущего спроса оказались под угрозой.

Число патентов высокой ценности в последние годы пошло на спад. Несмотря на это, объемы НИОКР, количество публикаций, демонстрационных проектов, объемы добровольных специализированных рынков и финансирования стартапов в сфере УДУ выросли, пусть и неравномерно и с некоторыми подобными исключениями. Особо выделяется устойчивость трендов в сфере частного финансирования УДУ, несмотря на общее сокращение инвестиций в климатические технологии, в совокупном объеме которых доля УДУ на сегодняшний день составляет 3%. В прошлом году на добровольном углеродном рынке, который обеспечивает основную часть закупок в рамках большинства новейших методов УДУ, были подписаны контракты на удаление 0,04 млрд т. CO₂-экв. Инновации охватывают и сферу государственного регулирования: Европейский союз, Великобритания и Швейцария активно изучают возможность включения новейших методов УДУ в свои нормативно-правовые механизмы. Кроме того, центральное место в инновационном процессе занимает эффект обучения в процессе внедрения технологий, которое напрямую зависит от ожиданий спроса — равно как и другие аспекты масштабирования. Новейшим методам УДУ потребуется расти крайне высокими темпами — в пределах показателей, которые ранее демонстрировали солнечная энергетика и электромобили, ставшие самыми быстрорастущими климатическими технологиями в истории. Традиционные методы УДУ

сталкиваются с иными проблемами масштабирования, среди которых конкуренция за земельные ресурсы, риск повторного высвобождения накопленного углерода, а также ослабление эффекта углекислотного удобрения растений по мере снижения уровня выбросов. Однако будущий спрос на методы УДУ стал неопределенным. Большинство мер государственной политики по-прежнему сосредоточено на стимулировании предложения УДУ, а цены на зарождающихся рынках — в рамках таких механизмов как статья 6 Парижского соглашения и Система компенсации и сокращения выбросов углерода для международной авиации (CORSIA) — остаются низкими по сравнению с текущей стоимостью реализации многих методов. Сворачивание политических мер и общая нестабильность курса в Соединенных Штатах подрывают доверие к принимаемым решениям и вынуждают другие регионы и страны внедрять механизмы, способные сформировать устойчивый спрос и ликвидировать дефицит мощностей УДУ.

Масштабирование новейших методов УДУ, необходимое для ограничения потепления до 1,5°C, очень быстрое, но не беспрецедентное

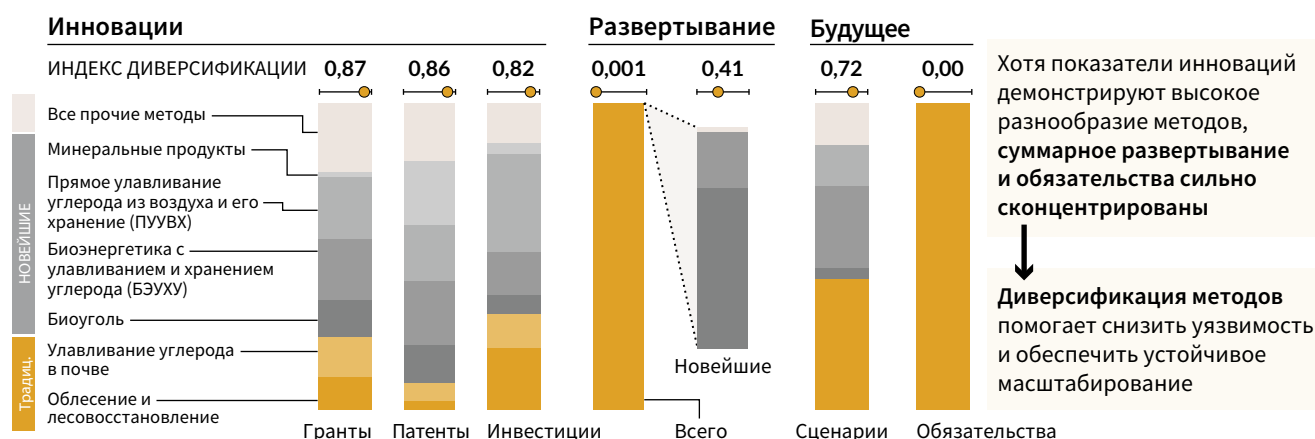


7. Важнейшие аспекты системы УДУ характеризуются высокой степенью концентрации, что создает определенные уязвимости; исправить эту ситуацию помогла бы диверсификация по методам, участникам и странам.

Показатели инновационной активности на ранних этапах (выделение грантов, инвестиции в стартапы и патентование) в целом широко представлены в разрезе различных методов УДУ. В то же время более поздние стадии развития инноваций в сфере УДУ различных методов меньше представлены по данным показателям. Как реальное развертывание, так и заявленные обязательства в сфере УДУ сосредоточены на одном методе (облесение и лесовозобновление); более двух третей традиционных методов УДУ на добровольных рынках приходится на Латинскую Америку; новейшие методы УДУ сконцентрированы на двух направлениях (биоуголь и БЭУХУ); среди покупателей инновационных методов УДУ доминирует одна компания (Microsoft); большая часть финансирования демонстрационных проектов сосредоточена в нескольких странах и проектах (Швеция, Дания и США); инвестиции в стартапы смещаются в сторону меньшего числа более опытных компаний. Хотя первопроходцы и играют важную роль, если их инициативы не получают более широкого распространения, возникнет системная уязвимость, что наглядно подтверждается последствиями сворачивания климатической политики в США и недавней корректировкой темпов закупок со стороны компании Microsoft. Кроме того, традиционные методы уязвимы перед лицом экологических изменений и смены приоритетов в землепользовании, что служит сильным аргументом в пользу формирования диверсифицированного портфеля методов.

Недостаток разнообразия создает уязвимость в системе УДУ

Концентрация методов УДУ



Концентрация участников УДУ

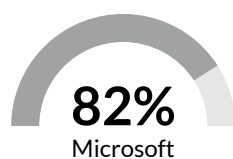
Добровольный углеродный рынок

Большинство кредитов традиционными методами УДУ приходится на один регион



Покупатели кредитов новейшими методами УДУ

Один покупатель приобрел большинство кредитов новейшими методами УДУ



Планируемое финансирование пилотных проектов

Большая часть госфинансирования новейших методов УДУ приходится на 3 страны



Частные инвестиции

Большинство инвестиций в систему УДУ приходится на четыре компании



Сегодня активность УДУ и политическую поддержку обеспечивают лишь несколько компаний и стран. Потеря одного из этих ключевых участников может поставить под угрозу развитие УДУ.

8. Ликвидация дефицита мощностей УДУ носит неотложный характер, поскольку развертывание этих технологий является постепенным процессом. Таким образом, период с 2026 по 2030 год имеет решающее значение для определения роли УДУ в ограничении климатического ущерба.

Откладывание мер по сокращению выбросов приведет к росту потребности в развертывании мощностей для удаления диоксида углерода, особенно с использованием новейших методов УДУ, если мы хотим достичь цели Парижского соглашения по удержанию роста глобальной средней температуры. Десятилетняя отсрочка в сокращении выбросов приведет к росту пиковой температуры и значительно увеличит совокупную потребность в методах УДУ. Зависимость от столь значительных объемов УДУ (находящихся на верхнем пределе потенциала технологий) сопряжена с

риском превышения пороговых значений устойчивого развития. И наоборот, более быстрое сокращение выбросов позволило бы масштабировать технологии удаления диоксида углерода в более умеренном темпе и снизило бы нагрузку на экологическую устойчивость, связанную с нагрузкой на экосистемы и с потреблением земельных, водных и энергетических ресурсов. Новейшие методы УДУ находятся на этапе формирования, в ходе которого им необходимо завоевать легитимность, доказать свою надежность и достичь масштабов, достаточных для того, чтобы их долгосрочный вклад в достижение целей Парижского соглашения стал практически осуществимым. Хотя в целом активность в сфере УДУ растет по всем показателям, некоторые из них указывают на хрупкость этой поддержки и зависимость всей индустрии от нескольких критически важных элементов. Таким образом, сектору УДУ необходимо в срочном порядке преодолеть эти уязвимости и сформировать прочную нормативно-правовую базу. Преимущества принимаемых мер должны быть очевидными и выходить за рамки климатической повестки. Международные организации могут сыграть ключевую роль в координации действий и распространении знаний о наиболее эффективных практиках. В ближайшие пять лет потребуются меры, направленные на формирование устойчивых и растущих ожиданий спроса на удаление диоксида углерода.





THE STATE OF
**Carbon
Dioxide
Removal**

