

**Бурукина Ольга Алексеевна**

канд. филол. наук, аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный

социальный университет»

г. Москва

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЭМИССИИ СО<sub>2</sub> И ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА**

***Аннотация:** вследствие увеличения эмиссии парниковых газов, и в первую очередь СО<sub>2</sub>, температура земной атмосфера повышается, что способствует таянию ледников и айсбергов. С повышением уровня воды земли становится меньше. Условия жизни меняются во всем мире. В феврале 2019 года The National Geographic опубликовал статью о меломисе Брамбл-Кей – первом виде млекопитающих, вымершем из-за изменения климата.*

*В статье проводится анализ экономических последствий ежегодно увеличивающихся объёмов эмиссии углекислого газа и возможностей естественного и искусственного улавливания (секвестрации) и депонирования углерода.*

*Автор делает выводы о глобальном отрицательном воздействии неконтролируемой эмиссии СО<sub>2</sub> как на социальную сферу и здоровье людей, так и на глобальную экономику и подчеркивает необходимость выработки международной стратегии, направленной на предотвращение увеличения объёмов парниковых газов в атмосфере Земли и наращиванию усилий, направленных на развитие возможностей секвестрации и депонирования углерода.*

***Ключевые слова:** экономические аспекты, эмиссия углекислого газа, парниковый эффект, выбросы СО<sub>2</sub>, депонирование углерода.*

***Введение.** Углекислый газ (СО<sub>2</sub>) является важным улавливающим тепло газом, или парниковым газом, который образуется в результате добычи и сжигания ископаемого топлива (угля, нефти и природного газа), лесных пожаров и таких природных процессов, как извержения вулканов.*

С начала индустриальной эпохи (с XVIII в.) в результате интенсивной деятельности человека содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере возросло на 50%, то есть количество  $\text{CO}_2$  сейчас составляет 150% по сравнению с 1750 г. Этот показатель выше того, что сопровождал естественные события, вызвавшие конец ледникового периода на Земле 20.000 лет назад [1].

В настоящее время в результате хозяйственной деятельности человека в мировом масштабе в атмосферу эмитируется почти 40 млрд тонн углекислого газа в год, наносящего колоссальный ущерб и биосфере, и глобальной экономике. При этом правительства разных стран значительно занижают потенциальный экономический ущерб, связанный с каждой новой тонной углекислого газа, выбрасываемой в атмосферу сегодня [2].

Содержание углекислого газа в атмосфере Земли сегодня выше, чем когда-либо в истории человечества. Фактически, в последний раз количество углекислого газа в атмосфере было таким высоким более 3 млн лет назад во время теплого периода среднего плейстоцена, когда глобальная температура поверхности была на 2,5–4<sup>0</sup>С выше, чем в доиндустриальную эпоху. Уровень моря был как минимум на 4,8 м выше, чем в 1900 г., а возможно, и на 24,6 м выше [3].

Если глобальный спрос на энергию будет продолжать быстро расти, и мы будем удовлетворять его в основном за счет ископаемого топлива, выбросы углекислого газа человеком к концу XXI века могут достичь 75 млрд тонн в год или более. Содержание углекислого газа в атмосфере может составлять 800 частиц на миллион или выше – таких условий на Земле не наблюдалось почти 50 млн лет [4].

Согласно стандартам ВОЗ, средняя концентрация  $\text{CO}_2$  за 8-часовой период не должна превышать 10.000 частей на миллион, а средняя концентрация за 15-минутный период не должна превышать 30.000 частей на миллион. При высоких уровнях углекислый газ вызывает головную боль, головокружение, тошноту и другие симптомы, которые становятся очевидны при уровне выше 5000 частей на миллион в течение нескольких часов. Более высокое содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе может вызвать удушье, поскольку углекислый газ заменяет кислород

в крови – воздействие концентрации около 40.000 ppm вызывает мгновенную опасность для жизни и здоровья [5]. Как отразится на здоровье людей постоянная концентрация CO<sub>2</sub> на уровне 800 частиц на миллион пока точно не известно, но очевидно, что последствия будут крайне негативными, особенно для детей, подростков и людей пожилого возраста.

По данным Управления энергетической информации США и Японского института экономики энергетики, к 2035 году мировое потребление энергии увеличится на 50%, что приведет к резкому увеличению потребности в улавливании, утилизации и хранении углерода [2]. При условии, что человечество не стремится к прекращению своего существования на планете Земля.

*Оценка социальной стоимости углерода.* В исследовании, опубликованном в журнале Nature Climate Change, исследователи из Стэнфордского университета оценивают экономический ущерб от выбросов углекислого газа примерно в 220 долл. за тонну, что почти в шесть раз выше, чем недавно озвученная цифра правительством США в 37 долл. за тонну [4].

Оценки так называемой «социальной стоимости углерода», или SCC – по сути, той цены, которую общество платит за негативные изменения в сельскохозяйственном производстве, пагубное воздействие на здоровье человека, материальный ущерб от увеличения частоты и количества наводнений и других связанных побочных продуктов потепления планеты - сильно различаются от анализа к анализу, поскольку и исследователи, и политики пытаются определить, как лучше всего регулировать глобальные выбросы углекислого газа. По данным Агентства по охране окружающей среды и Межправительственной группы экспертов по изменению климата, даже самые точные текущие оценки, вероятно, занижены [3].

По мнению представителей EPA, модели, используемые для разработки оценок SCC, известные как «модели комплексной оценки», в настоящее время включают не все физические, экологические и экономические последствия изменения климата, значимость которых признана в научной литературе, посвященной изменению климата по причине отсутствия точной информации о характере наносимого

ущерба, а также потому, что данные, используемые при построении этих моделей, естественно, отстают от данных самых последних исследований [5].

В последние годы в экономике появился альтернативный взгляд, ставящий под сомнение традиционный тезис о положительной связи между увеличением объемов эмитируемого CO<sub>2</sub> и экономическим ростом. Так, В. Нордхаус и Ж. Бойер предполагают, что потепление на 2°C может привести к 5%-ному снижению среднегодового потребления на душу населения в Африке и Азии [1].

*Технологии искусственного улавливания углерода.* Сегодня средняя стоимость применения технологии искусственного улавливания углерода в мире составляет около 600 долл. США за тонну CO<sub>2</sub>. Человечество эмитирует примерно 43,1 млрд тонн углерода в год. Это означает, что затраты на улавливание всего ежегодно эмитируемого углерода составили бы около 25,8 трлн долл. Вместе с тем, за последние 10 лет стратегия внедрения возобновляемых источников энергии развивалась быстрыми темпами и на сегодняшний день является самой быстроразвивающейся энергетической отраслью в Соединенных Штатах, увеличив свои объемы на 429% с 2010 по 2020 г. Это было в немалой степени связано с увеличением инвестиций правительства США в развитие возобновляемых источников энергии. Только в 2020 г. Конгресс США принял законопроект о выделении 35 млрд долл. США на развитие возобновляемых источников энергии.

С учетом экономических факторов улавливания углерода, в настоящее время широкомасштабное внедрение технологии CCS не представляется рентабельным.

Но если проанализировать развитие индустрии возобновляемых источников энергии как некий экономически обусловленный аналог, есть основания для надежды. Масштабы внедрения возобновляемых источников энергии увеличились за последние 10 лет: индустрия возобновляемых источников энергии стала самой быстрорастущей энергетической отраслью в США, увеличившись с 2010 по 2020 г. на 42%, в то время как стоимость технологий использования солнечной энергии снизилась за тот же период на 809%.

В дополнение к увеличению инвестиций, стоимость возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, с 2010 г. упала на 80%. Основываясь на факте резкого снижения стоимости инфраструктуры возобновляемых источников энергии в последние годы, мы можем надеяться, что затраты на применение технологии улавливания и хранения углерода также резко упадут. В 2020 г. рынок технологий CCS оценивался примерно в 1,9 млрд долл. США. Прогнозируется, что к 2030 году рынок CCS достигнет отметки в 7,0 млрд долларов, таким образом, совокупный годовой темп роста (CAGR) с 2021 по 2030 год составит 13,89% [3].

Очевидно, что успех технологий по контролю климата исторически зависел от частного сектора. Несомненно, правительственные субсидии имели значение, но компания-производитель электромобилей Tesla не стала бы компанией, рыночная стоимость которой определяется в триллион долларов, без изобретательности предпринимателя Элона Маска и стимулов свободного рынка.

Может возникнуть соблазн рассматривать государственную поддержку как свидетельство того, что возобновляемые источники энергии или CCS не могут выжить в условиях «свободного рынка», однако напомним, что отрасль ископаемого топлива была и остается одной из наиболее субсидируемых отраслей глобальной экономики, причем глобальные субсидии по-прежнему составляют от 500 млрд 1 трлн долл. США в год [4].

Именно по этой причине Билл Гейтс через свой инвестиционный фонд Breakthrough Energy Ventures инвестировал в технологию Verdox, занимающуюся улавливанием углерода. Технология Verdox основана на инновации, использующей для улавливания углерода электрическую энергию. Сегодня ряд предприятий работают над снижением затрат и повышением эффективности систем улавливания углерода в точке эмиссии.

11 мая 2022 г. компания Carbon Clean, поставщик решений по улавливанию углерода для тяжелой промышленности, привлекла 150 млн долл. на развитие своей технологии CCS. Ожидается, что оборудование, разработанное на основе технологии Carbon Clean, будет в 10 раз компактнее, чем обычное оборудование для

улавливания углерода в точке источника, что также потенциально может снизить средние затраты примерно вдвое – то есть примерно до 30 долл. за тонну [5].

Согласно прогнозам экономистов, рынок улавливания, утилизации, транспортировки и хранения углерода вырастет с 3,0 млрд долл. США в 2022 году до 14,2 млрд долларов США к 2020 году при среднегодовом темпе роста 21,5%. Мировой рынок улавливания, утилизации, транспортировки и хранения углерода значительно расширяется, и в течение прогнозируемого периода во многих пост-индустриальных странах ожидается аналогичная тенденция [2].

*Естественная секвестрация и депонирование углерода.* Леса США поглощают от 5 до 10% эмитируемого углерода в стране каждый год. По данным исследователей Лесной службы, непосредственно сотрудничающие с Управлением главного экономиста Министерства сельского хозяйства США, экономическая выгода от поглощения углерода лесами США (частными и государственными) в течение следующих 35 лет составит более 100 млрд долл., что делает поглощение углерода одной из самых ценных экосистемных услуг, оказываемых лесами. Логично предположить, что наиболее экономически эффективными способами увеличения секвестрации углерода являются инвестиции в лесовосстановление хронически недоразвитых государственных земель на западе США и предоставление стимулов для лесонасаждений владельцам сельскохозземель на востоке США [1].

Выбор политических альтернатив для увеличения масштабов секвестрации и депонирования углерода в лесах США будет зависеть от преимуществ альтернативных стратегий секвестрации, и ученые Лесной службы Министерства сельского хозяйства США предлагают различные методы для оценки этих преимуществ.

Для прогнозирования объемов депонирования углерода в 48 смежных штатах в базовом сценарии и трех сценариях развития внутренней политики в США на 2015–2050 гг. ученые использовали данные федеральной базы данных «Лесная инвентаризация и анализ лесов (FIA)». Альтернативы включали в себя: 1) изменение политики землепользования для уменьшения обезлесения в результате

развития; 2) разработку и внедрение политики облесения, ориентированной на владельцев сельскохозяйственных земель на востоке Соединенных Штатов, а также политики лесовосстановления, направленной на развитие малолесных федеральных угодий на западе США, и 3) политика сокращения площадей замещающих насаждений после лесных пожаров [5].

Затем, чтобы оценить текущую стоимость секвестрации углерода, ученые использовали оценки социальной стоимости углерода. Наконец, был рассчитан прирост текущей стоимости углеродных выгод, связанный с каждой политической альтернативой. Результаты показывают, что в соответствии с базовым сценарием текущая стоимость секвестрации в лесах США до 2050 г. составит от 125,5 до 806,7 млрд долл. США, в зависимости от ставки дисконтирования [3].

Изменения в политике, направленные на увеличение секвестрации за счет облесения и лесовосстановления, обеспечат максимальное увеличение выгоды от депонирования углерода (от 21,4 до 147,1 млрд долл.). Приблизительные оценки субсидий на облесение и затрат на восстановление естественных экосистем, необходимых для реализации этой политики, показывают, что общие затраты на политику будут составлять лишь часть выгоды от секвестрации [4].

*Меры, принимаемые в разных странах мира.* Еще в 2010 г. Китай и США – страны, вносящие наибольший вклад в глобальные выбросы парниковых газов, разработали и подписали совместную Программу сотрудничества США и Китая в области энергетики – глобальное соглашение по климату включает планы мероприятий по производству чистой энергии, повышению энергоэффективности и мероприятия по борьбе с детриментальным изменением климата [1].

Уже сегодня реализуемые и разрабатываемые проекты по улавливанию, утилизации и хранению углерода в Азиатско-Тихоокеанском регионе создали новые возможности для участников рынка. Китай и Австралия первыми внедрили технологии искусственной секвестрации, утилизации и хранения углерода в регионе. Помимо Австралии и Китая, Южная Корея и Индия также сосредоточились на оптимизации технологий улавливания, утилизации и хранения углерода [2].

Южная Корея тоже сделала шаг к обладанию аналогичными технологиями, запустив проекты Korea CCS-1 и Korea CCS-2, которые в настоящее время находятся на ранней стадии разработки. В 2016 году Индия запустила систему секвестрации и утилизации углерода, способную улавливать 60.000 тонн CO<sub>2</sub> в год на угольных электростанциях. Кроме того, в ближайшие несколько лет ожидается запуск различных проектов в Китае, в том числе CHEERS (китайско-европейские решения по сокращению выбросов) на заводах Huaneng GreenGen и Sinopec Qilu Petrochemical [5].

Исландская компания Carbfix, основанная в 2006 г., специализируется на технологиях улавливания и хранения углерода (CCS). Уникальный подход компании к CCS заключается в нагнетании уловленного углекислого газа в базальтовые горные породы глубоко под поверхностью земли [3].

Процесс, разработанный Carbfix, включает в себя растворение CO<sub>2</sub> в воде и последующее введение полученного раствора в базальтовые породы. Оказавшись под землей, растворенный CO<sub>2</sub> вступает в реакцию с минералами в породе и затвердевает в форме минерала, эффективно удаляя его из атмосферы и блокируя его на тысячи лет.

Подход Carbfix основан на ускорении естественного процесса, при котором растворенный CO<sub>2</sub> взаимодействует с химически активными горными породами с образованием стабильных карбонатных минералов. Это создает безопасное и постоянное решение для хранения углекислого газа, что помогает уменьшить его воздействие на окружающую среду [3].

Aker Carbon Capture, дочерняя компания норвежской Aker Solutions, является ведущим игроком в отрасли связывания углерода. Компания стала публичной в 2020 г., зарегистрировавшись на фондовой бирже Осло, и в настоящее время ее рыночная капитализация составляет 750,65 млн долл. США. Aker Carbon Capture использует собственную запатентованную технологию улавливания углерода для улавливания CO<sub>2</sub> из дымовых газов, образующихся в различных отраслях промышленности, таких как нефтеперерабатывающие и цементные заводы. Модульные решения компании спроектированы так, чтобы их было



легко транспортировать и устанавливать, компания также предлагает морские и интегрированные решения [4].

LanzaTech – международная биотехнологическая компания, специализирующаяся на разработке и коммерциализации технологий улавливания и утилизации углерода (CCU). Компания была основана в Новой Зеландии в 2005 г. доктором Шоном Симпсоном и с тех пор расширилась по всему миру, включая США, Китай, Индию и Европу.

Технология LanzaTech CCU основана на улавливании отработанных газов, образующихся в результате промышленных процессов, и преобразование их с использованием микроорганизмов. В дополнение к собственной технологии CCU LanzaTech разрабатывает и другие технологии для решения проблемы изменения климата, в том числе преобразование углекислого газа в новые материалы, такие как полимеры и пластмассы [3].

*Заключение.* Системный обзор научной литературы позволил сделать следующие выводы:

1. Проблема эмиссии углекислого газа чрезвычайно актуальна для человечества на современном этапе его развития с любой точки зрения: здравоохранения, социального обеспечения и национальной и глобальной экономики.

2. Естественное улавливание и депонирование углерода лесными массивами, включая тропические и бореальные леса, а также мировым океаном, торфяными болотами, степями и другими экосистемами остается самым надежным и сравнительно низкочувствительным инструментом борьбы с растущими объемами эмитируемых человечеством парниковых газов.

3. На сегодня в мире существует всего 24 коммерческих завода CCS, 12 из которых находятся в США. Экономисты пока настроены скептически, но в ближайшие десятилетия станет очевидно, сможет ли искусственная секвестрация углерода стать экономически целесообразным инструментом в борьбе с изменением климата и войти в повседневную жизнь человеческой цивилизации.

4. Предотвращение дальнейшего глобального потепления возможно лишь коллективными усилиями всех стран-эмитентов CO<sub>2</sub> и должно стать основой глобальной стратегии на благо будущего человечества.

### *References*

1. Issaoui F., Toumi H., Touili W. (2016). The Effects of Carbon Dioxide Emissions on Economic Growth, Urbanization, and Welfare: Application to Countries in the Middle East And North Africa, *The Journal of Energy and Development*, Vol. 41, No. 1/2 (Autumn 2015 and Spring 2016), pp. 223–252.

2. Romih M. (2020). The Greenhouse Effect: Denial and Its Strong Consequences. An examination of the consequences of the greenhouse effect and the aftermath of greenhouse gases [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.unsustainablemagazine.com/the-aftermath-of-greenhouse-gases/>

3. Ahmad M. (2023). Top 10: Leading Carbon Capture Companies [Electronic resource]. – Access mode: <https://energydigital.com/top10/top-10-leading-carbon-capture-companies>. Accessed on 17.04.2023.

4. Rousseau N. (2023). The feasibility and future of carbon capture and storage technology [Electronic resource]. – Access mode: [https://earth.org/the-feasibility-and-future-of-carbon-capture-and-storage-technology/#:~:text=Carbon%20capture%20and%20storage%20technology%20\(CCS\)%20takes%20CO2%20before%20it,be%20just%20over%20the%20horizon](https://earth.org/the-feasibility-and-future-of-carbon-capture-and-storage-technology/#:~:text=Carbon%20capture%20and%20storage%20technology%20(CCS)%20takes%20CO2%20before%20it,be%20just%20over%20the%20horizon). Accessed on 17.04.2023.

5. Lee H., Lee J., Koo Y. (2022). Economic impacts of carbon capture and storage on the steel industry-A hybrid energy system model incorporating technological change, *Applied Energy*, Volume 317: 119–208.