

**Бурукина Ольга Алексеевна**

канд. филол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет»

аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный

социальный университет»

г. Москва

## **ВЫБРОСЫ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ВОЗМОЖНОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА**

*Аннотация:* отчет Всемирной метеорологической организации (ВМО) 2021 г., в котором было отмечено достижение небывало высокого уровня содержания трех основных парниковых газов – углекислого газа, метана и закиси азота – в атмосфере Земли стал зловецим предупреждением о кардинальном изменении климата.

В статье проводится анализ современного состояния атмосферы с учетом эмиссии CO<sub>2</sub> основными постиндустриальными державами и развивающимися странами, а также возможных путей преодоления кризиса практически неконтролируемых выбросов парниковых газов в атмосферу, в первую очередь технологий улавливания и удержания CO<sub>2</sub> за пределами атмосферы.

Автор делает выводы о необходимости выработки глобальной стратегии на уровне конвенции ООН для принятия всеми подписантами соответствующих обязательств и введения согласованных и широкомасштабных мер по предотвращению увеличения объемов парниковых газов в атмосфере Земли.

**Ключевые слова:** эмиссия углекислого газа, парниковый эффект, выбросы CO<sub>2</sub>, улавливание CO<sub>2</sub>, депонирование углерода.

**Введение.** Эмиссия углекислого газа в глобальном масштабе от добычи ископаемого топлива и промышленности в 2021 г. составили 37,12 млрд метрических тонн (ГтCO<sub>2</sub>). Согласно прогнозам экспертом Статиста (Statista – автори-

тетная немецкая онлайн-платформа, специализирующаяся на сборе и визуализации данных, составляющая статистические отчеты, в том числе отчеты о состоянии рынков, тщательно отбирающая информацию о потребителях и коммерческих компаниях на немецком, английском, испанском и французском языках), в 2022 г. выбросы выросли на 0,9% до 37,5 ГтСО<sub>2</sub>. Этот уровень эмиссии углекислого газа стал самым высоким за всю историю существования человечества. Таким образом, за тридцать с небольшим лет – с 1990 по 2022 г. выбросы СО<sub>2</sub> по всему миру увеличились более чем на 60% [1]. Двумя крупнейшими источниками выбросов СО<sub>2</sub> в мире являются Китай и США, которые в 2021 г. произвели 11,47 и 5,01 ГтСО<sub>2</sub> соответственно [2].

Одной из основных причин роста выбросов углекислого газа стало экономическое развитие стран во всем мире, особенно в Азии. Так, Китай не всегда являлся крупнейшим источником выбросов СО<sub>2</sub> в мире, но быстрый экономический рост и индустриализация привели в последние десятилетия к резкому увеличению выбросов углекислого газа в этой стране. Заметим, что в период с 1990 по 2021 гг. выбросы СО<sub>2</sub> в Китае увеличились более чем на 400%. Аналогичные темпы роста выбросов наблюдались в этот период и в Индии. Для сравнения: уровень СО<sub>2</sub> в США с 1990 г. упал более чем на 6%. И тем не менее, США остаются крупнейшим эмитентом СО<sub>2</sub> в мире.

Закономерным результатом ограничений, введенных в связи со вспышкой COVID-19 в 2019–2020 гг., стало резкое уменьшение глобальных выбросов на 5% в 2020 г. И это был не единственный случай в истории, когда событие глобального масштаба привело к сокращению выбросов. Так, глобальная рецессия 2009 г. привела к снижению уровня СО<sub>2</sub> на 2%, как и рецессия начала 1980-х гг., также оказавшее заметное влияние на объемы эмиссии углекислого гага в мировом масштабе. За всю историю человечества самое большое сокращение выбросов СО<sub>2</sub> в процентном отношении пришлось на конец Второй мировой войны в 1945 г., когда выбросы уменьшились на 17% [3].

*Увеличение объема выбросов CO<sub>2</sub>.* Выбросы углекислого газа являются основным фактором глобального изменения климата. Общеизвестно, что во избежание наихудших последствий изменения климата, человечеству необходимо срочно сократить выбросы CO<sub>2</sub>. Но камнем преткновения в мировом сотрудничестве по этому вопросу является проблема ответственности, а именно вопрос о том, как ответственность за эмиссию CO<sub>2</sub> распределяется между регионами, странами и отдельными лицами [2].

Бесконечные споры в международных дискуссиях возникают, в первую очередь, из-за отсутствия общепринятых способов сравнения выбросов CO<sub>2</sub>: следует ли подсчитывать ежегодные выбросы по странам или выбросы на человека в глобальном масштабе, нужно ли сравнивать исторический вклад каждой страны, и какова при этом будет методика подсчета, нужно ли и как именно учитывать продаваемые странами товары и услуги. Очевидно, что эти показатели дают разнообразные характеристики [4].

Так, по данным по данным EDGAR, в 2020 г. список стран по объему выбросов CO<sub>2</sub> в мире возглавили Китай (11680,42 млн т), США (4535,30 млн т) и Индия (2411,73 млн т). Россия занимала 4-е место по объемам выбросов CO<sub>2</sub> (1674,23 млн т), опережая Японию (1061,77 млн т) и Иран (690,24 млн т) [3]. Обратим внимание читателя, что в 2020 г. объемы эмиссии углекислого газа, произведенные Китаем, стремительно развивающимся в экономическом отношении, превысили совокупный объем CO<sub>2</sub> следующих за ним пяти стран – США, Индии, России, Японии и Ирана.

По совокупным объемам эмиссии углекислого газа лидерами являются Китай (11680,42 млн т), США (4535,30 млн т) и Индия (2411,73 млн т), тогда как, согласно статистике выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения, крупнейшими в мире источниками выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения в 2020 г. стали основные нефтедобывающие страны Ближнего Востока и, в первую очередь те, у кого относительно небольшая численность населения. Так, согласно этому показателю, в 2017 г. самые большие объемы выбросов CO<sub>2</sub> на душу населения были произве-

дены Катаре – 49 т на человека, за ним следовали Тринидад и Тобаго (30 т); Кувейт (25 т); Объединенные Арабские Эмираты (25 т), Бруней (24 т), Бахрейн (123 т) и Саудовская Аравия (19 т) [2].

Однако население многих крупных производителей нефти относительно невелико, а это означает, что совокупные объемы их годовых выбросов углекислого газа сравнительно малы. Поэтому более густонаселенные страны, имеющие невысокие показатели объема выбросов на душу населения, имеют, тем не менее, высокие совокупные показатели эмиссии CO<sub>2</sub>. К этим странам относятся США, Австралия и Канада. Хотя в Австралии средний углеродный след на душу населения составляет 17 т, за ней следуют США – 16,2 т и Канада – 15,6 т [6], годовой совокупный объем эмиссии CO<sub>2</sub> выводит США в тройку лидеров.

Экономический анализ позволяет выявить четкую корреляцию между показателями экономического развития и годовыми объемами выбросов CO<sub>2</sub>. Как указывается в отчете EDGAR, высокий уровень экономического развития – уровень процветания – является крупнейшим фактором увеличения выбросов CO<sub>2</sub> [3], однако при более внимательном анализе становится очевидно, что выбор политики и технологий имеет кардинальное значение.

Действительно, в некоторых европейских странах объемы выбросов углекислого газа близки к среднемировым: так в 2017 г. эмиссия CO<sub>2</sub> в Португалии составила 5,3 т на человека, во Франции – 5,5 т, а в Великобритании – 5,8 т на человека. Эти показатели намного ниже, чем у некоторых соседних стран с аналогичным уровнем жизни, а именно Германии, Нидерландов и Бельгии. Очевидно, что ключевую роль здесь играет выбор источников энергии: в Великобритании, Португалии и Франции значительно больше электроэнергии производится ядерными и возобновляемыми источниками, и гораздо меньшая доля электроэнергии производится за счет ископаемого топлива: так, в 2015 г. только 6% электроэнергии во Франции приходилось на ископаемое топливо по сравнению с 55% в Германии [3].

*Вред, наносимый биосфере Земли.* Выбросы углекислого газа и других парниковых газов, производимых в результате хозяйственной деятельности человека, являются основным фактором изменения климата и представляют собой одну из самых насущных проблем в современном мире [1]. Установлена непосредственная зависимость между повышением глобальных температур и концентрацией парниковых газов, особенно CO<sub>2</sub>. Хотя эта связь существовала на протяжении всей истории Земли, за последние несколько десятилетий глобальные температуры резко выросли – примерно на 0,7°C по сравнению с уровнем 1961–1990 гг., принятым за базовый уровень. А при сопоставлении с 1850 г. становится очевидно, что в конце XIX в. среднегодовая температура на планете Земля была еще на 0,4°C ниже, чем в базовом периоде. В целом, это означает повышение средней температуры на 1,1°C.

Независимо от нюансов подсчета, выбросы парниковых газов в результате хозяйственной деятельности человека являются основным фактором глобального потепления. Как указывается в оценочном отчете AR5 Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), «антропогенные выбросы парниковых газов увеличились с доиндустриальной эпохи в основном за счет роста экономики и населения, и сейчас они выше, чем когда-либо прежде. Это привело к беспрецедентным концентрациям углекислого газа, метана и закиси азота в атмосфере по крайней мере за последние 800.000 лет. Их воздействие, наряду с воздействием других антропогенных факторов, было выявлено во всей климатической системе и, весьма вероятно, стало основной причиной наблюдаемого потепления с середины XX века» [5].

Глобальное изменение климата имеет ряд потенциальных экологических, физических и медицинских последствий, включая экстремальные погодные явления (такие как наводнения, засухи, ураганы и волны тепла), повышение уровня моря, изменения в росте урожая и нарушение водных систем.

В контексте глобального потепления повышение температуры на 1°C может показаться маленьким и незначительным. Но верно не только то, что быстрое потепление на 1°C само по себе может оказать значительное влияние на климат

и природные системы, но также и то, что эта цифра в  $1^{\circ}\text{C}$  маскирует большие колебания потепления по всему миру.

Во-первых, глобальное повышение средней температуры обычно представляется как совокупное изменение температуры как на суше, так и на поверхности моря. Но важно отметить, что в наземных районах, периодически нагреваемых и охлаждающихся, температура меняется гораздо сильнее, чем в океанических районах [4]. В целом глобальные средние температуры над сушей увеличились примерно в два раза больше, чем над океаном. По сравнению со средним показателем за 1951–1980 гг. температура над сушей повысилась на  $1,32 \pm 0,04^{\circ}\text{C}$ . При этом температура поверхности океана (без учета участков морского льда) повысилась всего на  $0,59 \pm 0,06^{\circ}\text{C}$ . Поскольку в Северном полушарии больше суши, изменение средней температуры к северу от экватора было выше, чем на юге.

Во-вторых, в некоторых регионах изменение температуры было гораздо более резким. В очень высоких широтах, особенно у полюсов, потепление составило более  $3^{\circ}\text{C}$ , а в некоторых случаях превысило  $5^{\circ}\text{C}$ . К сожалению, именно там расположены регионы, которые могут испытать самые сильные воздействия изменения температурного режима, а именно морской лед, вечная мерзлота и начинающие таять ледники.

*Пути преодоления «порочного круга».* Помимо сокращения выбросов углекислого газа (что в конечном итоге может быть теоретически достигнуто за счет прекращения использования ископаемого топлива), существует еще несколько способов уменьшения количества углерода в атмосфере Земли. Но в научном дискурсе одновременно используется ряд весьма схожих терминов, поэтому необходимо произвести терминологическое разграничение понятий.

*Удаление углекислого газа (CDR)* означает удаление этого парникового газа из атмосферы и хранение его под землей или на дне океана, в идеале – в течение очень продолжительного периода времени. В настоящее время разработаны как природные, так и технологические подходы к CDR.

Согласно отчету Института мировых ресурсов, опубликованному в 2020 г., двумя основными стратегиями удаления углерода из атмосферы являются посадка деревьев и усилия по восстановлению или сохранению лесов, а также прямой захват воздуха (DAC) [5].

Благодаря способности улавливать и хранить углерод на протяжении своего существования, леса оставались лучшим инструментом удаления CO<sub>2</sub> на протяжении тысячелетий. Ежегодно леса Земли поглощают 7,6 млрд тонн, то есть около одной трети ежегодных глобальных выбросов.

*Прямой захват воздуха (DAC) с целью изъятия из него CO<sub>2</sub>* – специально разработанная технология, основным инструментом которой являются гигантские вентиляторы, которые высасывают углекислый газ из атмосферы и либо хранят его под землей в геологических формациях, либо используют повторно (например, для производства синтетического топлива и бетона). Крупнейшие компании, разрабатывающие данные технологии – Carbon Engineering в Канаде и Climeworks в Швейцарии. Компания Climeworks построила в Исландии крупнейший в мире завод по прямому захвату воздуха, который был запущен в 2021 г. Объект, известный как Orca, способен ежегодно улавливать 4000 тонн углерода (что эквивалентно выбросам, возникающим в результате использования энергии 504 домами в год) и закачивать его под землю, где при смешивании с водой газ охлаждается и превращается в камень.

В настоящее время по всему миру работает 19 центров DAC. Международное энергетическое агентство заявляет, что в период до 2050 г. необходимо ежегодно строить в среднем 32 крупномасштабных электростанции, чтобы достичь необходимых глобальных климатических целей [6].

*Улавливание (секвестрация) углерода* означает процесс удаления углекислого газа из атмосферы естественным образом посредством биологических, химических и физических процессов и удержания его в почвах, океанах, деревьях и горных породах планеты. Например, по мере роста дерева в процессе фотосинтеза углекислый газ улавливается из атмосферы и сохраняется в стволе, ветвях, листьях и корнях дерева.

Однако секвестрация углерода также имеет свои ограничения. Например, по данным Фонда защиты окружающей среды, вырубка лесов, лесные пожары и другие нарушения лесных массивов мира приводят к потере около 8 млрд тонн CO<sub>2</sub>, заключенного в деревьях. Вот почему в стратегиях по замедлению изменения климата часто делается акцент на прекращение вырубки лесов, восстановление вырубленных территорий и обеспечение возможности восстановления поврежденных лесных массивов.

Существуют и другие ограничения. Глобальное потепление уже снижает способность океана поглощать углерод. Кроме того, целенаправленная стратегия удержания углерода в почве требует от фермеров отказаться от обработки полей, в процессе которой нарушается верхний слой почвы, поскольку углекислый газ, хранящийся в почве, благодаря усилиям травянистых культур, накапливающих CO<sub>2</sub> в своей биомассе, попадает обратно в атмосферу, что противоречит первоначальной цели улавливания углекислого газа из атмосферы и его последующего удержания (депонирования). В связи с этим в некоторых странах мира происходит переход к регенеративному сельскому хозяйству, позволяющему сохранить здоровье почвы и не нарушать целостности депонированного в ней углекислого газа.

*Технология отрицательных выбросов (NET).* Способность NET быстро удалять углекислый газ в больших объемах является одним из ключевых преимуществ этой технологии по сравнению с природными системами, которые медленнее поглощают углерод и нередко сталкиваются с внешними угрозами (например, лесными пожарами).

Построенные к настоящему времени объекты удаляют лишь малую часть углекислого газа, который, по мнению ученых, необходим для того, чтобы что-то изменить. Но правительства поддерживают эти усилия. В мае 2022 г. Министерство энергетики США объявило, что предоставит 3,5 млрд долл. США группам исследователей, разрабатывающим технологии прямого захвата воздуха и связанные с ними технологии. Кроме того, Министерство бизнеса, энергетики и



промышленной стратегии Великобритании объявило в июле 2022 г. об инвестициях, эквивалентных 64 млн долл. США, в технологии удаления углерода [7].

*Улавливание и депонирование углерода (CCS).* Технологией, близкой как технологии удаления двуокси углерода, так и секвестрации углерода является улавливание и хранение углерода (CCS), например, улавливание CO<sub>2</sub> из точечных источников, таких как дымовая труба угольной электростанции, а затем постоянное хранение его под землей или на дне океана.

По прогнозам Международного энергетического агентства, использование технологии CCS может позволить устранять до 20% общих выбросов CO<sub>2</sub> от промышленных и энергетических объектов. Удаление углерода сразу после его сжигания либо хранение его под землей, либо его использование для улучшения добычи нефти и газа является более распространенным и полностью отработанным подходом, чем прямой захват воздуха.

Но реализация CCS в коммерческих масштабах стоит дорого, что создает значительный барьер для широкого использования этой технологии. Кроме того, по мнению М.О. Шульжевски и др., «развертыванию CCS препятствует неопределенность в отношении емкости геологических хранилищ и устойчивых темпов закачки» [8]. В других отчетах отмечается проблема утечки CO<sub>2</sub> из накопленного углерода [6].

*Заключение.* На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Проблема практически неконтролируемой эмиссии углекислого газа достигла критического уровня, и единственный способ не допустить перехода через точку невозврата – начать принимать меры в общемировом масштабе.

2. Современное состояние атмосферы Земли с учетом нарастающего объема CO<sub>2</sub> является худшим за всю историю человечества и может считаться критическим.

3. Несмотря на то, что крупномасштабные сети считаются критически важными для достижения амбициозных международных целей в области изменения климата, новые технологии по улавливанию CO<sub>2</sub> и устранению его из атмосферы

Земли в основном остаются на стадии исследований и разработок и чаще всего не масштабируются.

4. Предотвращение дальнейшего глобального потепления возможно лишь на основе коллегиального политического решения, которое должно быть выработано с участием всех стран-эмитентов CO<sub>2</sub> и положено в основу глобальной стратегии с целью принятия кардинальных мер по снижению объемов CO<sub>2</sub> в атмосфере Земли и спасению человечества.

### *References*

1. Annual carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions worldwide from 1940 to 2022 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/#:~:text=Global%20carbon%20dioxide%20emissions%20from,by%20more%20than%2060%20percent>. Accessed on 24.3.2023.

2. Ritchie, Hannah & Roser, Max (2021). CO<sub>2</sub> and GHG Emissions [Electronic resource]. – Access mode: <https://ourworldindata.org/co2-emissions#citation>. Accessed on 17.03.2023.

3. EDGAR (2022). CO<sub>2</sub> Emissions of All World Countries [Electronic resource]. – Access mode: [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2022](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022). Accessed on 22.03.2023.

4. Bereiter, B.; Eggleston, S. et al. (2015). Revision of the EPICA Dome C CO<sub>2</sub> record from 800 to 600 kyr before present. *Geoph. Res. Letters*, 42: 542–549. <https://doi.org/10.1002/2014GL061957>. EDN: UPENZR

5. Kleinman Center for Energy Policy (2023). Carbon Dioxide Removal (CDR) vs Carbon Capture and Storage (CCS). University of Pennsylvania [Electronic resource]. – Access mode: <https://ceclab.seas.upenn.edu/page/carbon-dioxide-removal-cdr-vs-carbon-capture-and-storage-ccs>. Accessed on 25.03.2023.

6. Khan, Tasmiha (2022). All the Ways to Remove Carbon Emissions from the Air. *The Time* [Electronic resource]. – Access mode: <https://time.com/6213489/remove-carbon-emissions-from-air/>. Accessed on 18.03.2023.

7. US Department of Energy (2022). Biden Administration Launches \$3.5 Billion Program to Capture Carbon Pollution from the Air [Electronic resource]. – Access

mode: <https://www.energy.gov/articles/biden-administration-launches-35-billion-program-capture-carbon-pollution-air-0>. Accessed on 20.03.2023.

8. Szulczewski M.L., MacMinn Ch.W. et al. (2012). Lifetime of carbon capture and storage as a climate-change mitigation technology. PNAS, 109 (14): 5185–5189.