

## ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ

© 2024 г. Г.Д. Чимитдоржиева<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия

\*E-mail: [galdorj@gmail.com](mailto:galdorj@gmail.com)

Поступила в редакцию 31.05.2024 г.

После доработки 31.07.2024 г.

Принята к публикации 02.11.2024 г.

Обсуждены проблемы изменения климата и инициативы стран с высоким углеродным следом по снижению темпов потепления. Дана характеристика инструментов регулирования выбросов парниковых газов, используемых для снижения углеродного следа. Приведены основные способы сокращения выбросов и улавливания углекислого газа: извлечение CO<sub>2</sub> из морской воды, сокращение выбросов углекислого газа при опреснении морской воды с использованием фотоэлектрических систем, углеродно-нейтральный процесс производства водорода путём паровой конверсии метана, интегрированный с утилизацией CO<sub>2</sub>, переход к углеродной нейтральности в строительной индустрии. Описаны меры по переводу экономик стран с высоким углеродным следом (Китай, США, Индия, Евросоюз, Россия, Япония и Бразилия) на адаптационные способы достижения углеродной нейтральности.

В основу обзора положены статистические материалы, доклады международных организаций, национальных органов власти, а также аналитические отчёты и материалы конференций по вопросам изменения климата, устойчивого использования, охраны и защиты лесов, представленные в научных журналах и на официальных сайтах сети Интернет.

*Ключевые слова:* углеродная нейтральность, выбросы парниковых газов, углеродный налог.

DOI: 10.31857/S0869587324110058, EDN: SEOLAE

### УГЛЕРОДНАЯ НЕЙТРАЛЬНОСТЬ И ЧИСТЫЙ НУЛЬ

В последние десятилетия борьба с потеплением климата стала едва ли не главным идеологическим лейтмотивом в политике многих стран. Основная движущая сила международной климатической повестки – стратегия “Европейский зелёный курс” (European Green Deal) [1], цель которой – достижение углеродной нейтральности в Евросоюзе к 2050 г. Углеродная нейтральность означает сокращение до нуля выбросов углекислого газа и его ана-

логов в процессе производственной деятельности компаний или компенсация этих выбросов за счёт углеродно-отрицательных проектов [2]. В экологической отрасли эту стратегию часто обозначают термином Net-zero, подразумевающим равенство количества производимых парниковых газов или углерода и количество удаляемых из атмосферы выбросов. Чтобы получить классификацию Net-zero, компания должна использовать экологически безопасные методы, которые не увеличивают уровень выбросов углерода. Другими словами, компания должна компенсировать выбросы до такой степени, при которой будет казаться, что она вообще не производит парниковых газов или углерода. Отсюда и выражение “чистый нулевой уровень”. Основная цель Net-zero – помочь в борьбе с изменением климата за счёт сокращения выбросов и балансировки поглотителей углерода – лесов, океанов или других ресурсов окружающей среды. А цель углеродной нейтральности – уменьшить антропогенные выбросы парниковых газов и создать впечатление, что они никогда не производились. Иначе говоря, чистые нулевые выбросы означают отсутствие избыточных выбросов изначально, тогда как углеродная нейтральность призвана их компенсировать.



ЧИМИТДОРЖИЕВА Галина Доржиевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИОЭБ СО РАН.

Согласно оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата, в 2022 г. глобальная средняя приземная температура воздуха превысила уровень 1850–1900 гг. на 1.1°C. Потепление климата сопряжено с необратимыми последствиями для всех экосистем и несёт риски безопасности. Охрана глобального климата включает следующие основные правовые инструменты: Рамочная конвенция Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН, открытая для подписания в ходе Конференции ООН по окружающей среде и развитию 1992 г., вступила в силу 21 марта 1994 г.) [3], Киотский протокол к РКИК ООН, принятый на 3-й Конференции сторон РКИК ООН в 1997 г. и вступивший в силу 16 февраля 2005 г. [4], Парижское соглашение (принято 12 декабря 2015 г., вступило в силу 4 ноября 2016 г.) [5]. Сейчас идёт процесс имплементации международно-правового режима по охране климата в национальные правовые системы. В связи с поставленной в Парижском соглашении задачей достичь к середине текущего века углеродной нейтральности возникает потребность в регулировании выбросов парниковых газов (ПГ), чтобы, с одной стороны, побудить эмитентов сокращать выбросы, а с другой — дополнительно стимулировать удаление парниковых газов из атмосферы.

### ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Инструменты для регулирования выбросов ПГ условно разделяют на две основные группы: экономические и неэкономические, основанные на неценовых механизмах принуждения эмитентов к сокращению выбросов парниковых газов. Ещё один распространённый инструмент, которым пользуются компании для снижения углеродного следа, — покупка офсетов, то есть углеродных единиц, компенсирующих выбросы. Растущий рынок офсетов делится на две категории: добровольный и обязательный. Добровольные офсеты правительства или компании покупают по своему усмотрению, а обязательные могут быть частью государственных климатических схем, как, например, Система торговли квотами на выбросы углерода ЕС (EU ETS) или Система компенсации или сокращения выбросов углерода для международной авиации (CORSIA).

К обязательным экономическим инструментам относят налог на выбросы парниковых газов, схемы их квотирования и торговли, предполагающие установление предельной величины выбросов и распределение разрешений (квот) на них крупнейших предприятий-эмитентов.

Углеродный налог — обязательная плата за использование ископаемого топлива: нефти, угля, газа и т.п. Именно сжигание этих продуктов приводит

к выделению углекислого газа. Он поднимается в верхние слои атмосферы, где сохраняется примерно 100 лет. Углеродный след — совокупность всех выбросов парниковых газов, произведённых прямо и косвенно отдельным человеком, организацией или компанией.

Система торговли квотами на выбросы парниковых газов (ETS) — основной инструмент климатического регулирования. ETS ограничивает количество выбросов, которое производят страны или компании, а если они превышают эти ограничения, то могут покупать разрешения у других, то есть система работает по принципу *cap and trade* (ограничение и торговля). Правительство устанавливает верхний предел или ограничение либо на весь объём, либо на выбранные секторы, компании должны иметь разрешение на каждую тонну выбросов ПГ.

Принцип действия данного рынка заключается в создании нового вида товара — углеродных единиц. Они образуются при сокращении предприятием выбросов парниковых газов на тонну эквивалента углекислого газа. Углеродные единицы, которые покупают и продают на аккредитованных биржах, могут приобретать компании, не способные на данный момент модернизировать производство или реализовать другой климатический проект. На рынке углеродных квот наблюдается ценовое ралли: если до пандемии углеродная единица в системе EU ETS торговалась на уровне 20 евро, то сейчас её стоимость поднялась до рекордной величины — более 50 евро. Разработанный Еврокомиссией консенсус-прогноз — 147 евро за тонну CO<sub>2</sub> в 2030 г. Заметим, что в России стоимость углеродной единицы в 2024 г. составляла 1 тыс. руб.

В случае углеродного налога цена на выбросы парниковых газов зависит от ставки налога, при этом величина выбросов не задана, а формируется в ответ на ценовой сигнал. В случае квотирования выбросов, наоборот, их величина ограничена квотой, а цена на выбросы ПГ заранее неизвестна и определяется соотношением спроса и предложения на рынке разрешений на выбросы.

По мнению специалистов, существует вероятность утечки углерода между странами. Под утечкой подразумевается воздействие, которое регулирование выбросов ПГ в одной стране/секторе оказывает на выбросы в других странах/секторах, не подпадающих под такое же регулирование. На компенсацию этого процесса предусмотрено определённое число бесплатных квот, которые, снижая риск утечки, ослабляют мотивацию к инвестированию в экологизацию производства в ЕС и за его пределами. Чтобы сократить утечку углерода, поддержать амбиции Евросоюза по сокращению выбросов и побудить другие страны присоединиться к его усилиям по борьбе с изменением климата, Еврокомиссия предложила 14 июля 2021 г. ввести в рамках комплексного пакета климатических мер “Fit for 55” так называемый

Carbon Border Adjustment Mechanism (СВАМ) — механизм пограничной углеродной корректировки. Этот инструмент стал для ЕС необходимым шагом в борьбе с утечкой углерода. Пакет — только часть Европейской зелёной сделки. Предложения направлены на снижение выбросов парниковых газов до 55% к 2030 г. и достижение углеродной нейтральности к концу 2050 г. Пограничный корректирующий углеродный механизм призван сдерживать углеродную утечку в европейских странах. По сути, это введение платы с импортируемых в ЕС товаров — углеродной цены — сообразно углеродному следу, формируемому производителем этих товаров. Европейская комиссия объяснила введение СВАМ тем, что следование зелёному тренду мотивирует развитие производств с углеродной интенсивностью за территорией ЕС. Следовательно, дифференцированный подход к импорту товаров на территорию Евросоюза поможет стимулировать другие государства принимать его политику развития, то есть двигаться к углеродной нейтральности. Данный сбор оплачивает импортёр, он должен зарегистрироваться в специальном регулирующем органе, предоставить информацию об объёмах эмиссии ПГ и приобрести сертификаты СВАМ для погашения эмиссий по соответствующей цене на рынках EU ETS. Как и на всех рынках, цена на сертификат формируется через спрос и предложение. С каждым годом количество разрешённых выбросов сокращается, что повышает стоимость сертификатов. СВАМ распространяется на пять товарных групп: цемент, удобрения, железо и сталь, алюминий, электроэнергия. Причём для электроэнергии действуют правила расчёта эмиссий, отличающиеся от других товаров. Это самый мягкий из обсуждавшихся форматов регулирования с точки зрения охвата эмиссий ПГ. Углеродный сертификат доказывает, что его обладатель (производство, компания) предотвратил выброс одной тонны  $\text{CO}_2$ , например, за счёт проведения экологического проекта, мероприятий по сохранению леса или эксплуатации мощностей возобновляемой энергии. Приобретённых на аукционе сертификатов для компании может оказаться больше, чем нужно. В связи с этим компания может либо продавать этот излишек на бирже, либо оставить у себя на следующий год.

10 мая 2023 г. Европейский парламент и Совет ЕС подписали Регламент СВАМ. Согласно документу, СВАМ вступит в силу 1 января 2026 г. сразу после переходного периода с 1 октября 2023 г. по 31 декабря 2025 г. [6]. Более того, импортёры из ЕС должны выполнять свои обязательства по отчётности, связанные с выбросами углерода, включёнными в товары. Кроме того, в документе говорится, что для импорта из других регионов ЕС введёт цену на углерод, равную стоимости его продуктов на основе содержания углерода [7, 8]. СВАМ будут вводить постепенно, вначале его применят только к тем отраслям, в которых существует высокий риск утечки углерода. Для бензина, мазута, синте-

тических масел, газа, меди, никеля, угля, продуктов питания и других энергоёмких, но отсутствующих или недостаточно развитых в ЕС производств этот механизм применять не будут. Фактически Евросоюз закрывает для России свой рынок, касающийся СВАМ, за исключением продуктов питания и полезных ископаемых. Затраты, растянутые на десятки лет и основанные на доступных энергоресурсах из РФ, ранее не выглядели для ЕС неподъёмными. Теперь, когда их стоимость выросла на порядок, производство любой продукции стало нерентабельным, неконкурентоспособным. Согласно СВАМ, европейские импортёры должны покупать сертификаты на выбросы углерода по стоимости, соответствующей цене, которую следовало бы уплатить, если бы товары были произведены в соответствии с европейскими правилами выплаты за выбросы  $\text{CO}_2$ . Однако если производитель из третьей страны сможет подтвердить, что в связи с производством импортируемых товаров выплата за выбросы углерода уже осуществлена, соответствующая сумма может быть полностью вычтена из выставленного импортёру счёта. СВАМ отличается от EU ETS в том числе тем, что не относится к системе ограничений и торговли эмиссионными потоками. СВАМ-сертификаты соответствуют тарифам EU ETS. Регламент будут применять только к той части выбросов углерода, которая не покрывается бесплатными квотами в рамках EU ETS, до их полного вывода из обращения в 2035 г. [7, 8]. Это обеспечит одинаковые условия компаниям-импортёрам и европейским производителям. Предполагается, что таким образом будут синхронизированы все инициативы в сфере торговли и инструменты по их реализации.

К неэкономическим инструментам относят: разного рода ограничения на выбросы парниковых газов, вплоть до запрета на продажу углеродёмких видов техники и оборудования (например, автомобилей с двигателями внутреннего сгорания); технические требования и стандарты (обычно они устанавливаются в форме удельных показателей выбросов ПГ на единицу продукции или энергии); обязательную углеродную маркировку продукции и т.д. Напомним, что существуют и добровольные обязательства по достижению углеродной нейтральности, когда правительства или компании покупают углеродные единицы по собственному усмотрению.

В Парижском соглашении 2015 г. обозначены обязательства стран по смягчению изменений климата — так называемый “определяемый на национальном уровне вклад” (ОНУВ). Они укрепляют традицию по ограничению и сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов. Несмотря на то, что соглашение не содержит количественных обязательств сторон по сокращению выбросов ПГ, оно предусматривает снижение нетто-выбросов в глобальном масштабе до нуля к середине XXI в.

и требует, чтобы заявляемые странами каждые пять лет национальные вклады представляли собой последовательные приближения к этой цели.

Сегодня установление национальных целей по сокращению выбросов ПГ стало общемировой практикой. Многие страны провозгласили своей конечной задачей выход на чистые нулевые выбросы парниковых газов к 2050 г. или ранее: к 2045 г. — Германия, к 2050 г. — США, Япония, Франция, ЕС, Венесуэла, к 2060 г. — Бразилия, Индонезия [9]. Россия также заявила о намерении выйти на углеродную нейтральность. Эта цель закреплена в Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. и в принятой в 2023 г. Климатической доктрине Российской Федерации — основном документе, где формулируется единая государственная политика нашей страны в отношении глобального изменения климата и его последствий. Оба документа создают основу для транспарентного мониторинга и отчётности.

### МЕРЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Авторы работы [10] классифицируют меры снижения выбросов по следующим основным группам: лесонасаждение и лесовосстановление, изоляция углерода в почве, усиление выветривания на суше и в океанах, снижение выбросов в океан удобрений, биоэнергетика и захоронение углерода, прямое улавливание  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Ранние исследования, проведённые с использованием моделей комплексной оценки, были сосредоточены в основном на вариантах лесонасаждения/лесовосстановление и биоэнергетика и захоронение углерода. Выбросы ПГ разделяют на три сферы охвата: первая — прямые выбросы предприятия при производстве, вторая — потребление энергии и третья объединяет всю цепочку жизненного цикла товара, включая закупку сырья, доставку, продажу, использование, утилизацию, то есть напрямую не относящиеся к производителю выбросы.

Для достижения углеродной нейтральности существуют три основных способа: сокращение прямых выбросов, утилизация  $\text{CO}_2$  из воздуха и компенсация выбросов через инвестирование в проекты. Самый эффективный из них — первый, но он часто сопряжён с уменьшением объёмов производства. Второй способ — прямой захват  $\text{CO}_2$  из воздуха — это, по сути, “высасывание” углекислого газа из атмосферы, закапывание его под землю на длительное хранение или использование в химических процессах для производства топлива, пластика. К прямому захвату выбросов можно отнести и технологию, где биоэнергетика сочетается с улавливанием и хранением  $\text{CO}_2$  (BECCS). В этом случае углерод улавливают не из атмосферы, а при сжигании биомассы (растений). Растения через фотосинтез поглощают

$\text{CO}_2$ , а когда сельскохозяйственные культуры сжигают, они отдают углерод обратно. При этом происходит моментальное улавливание  $\text{CO}_2$ , за счёт чего он не попадает в атмосферу. Наконец, третий способ, ведущий к углеродной нейтральности, состоит в компенсации выбросов через инвестирование в углеродно-отрицательные проекты. Один из них связан с восстановлением среды, где содержится так называемый “голубой углерод”. Он сосредоточен в прибрежных или морских экосистемах — мангровых лесах, болотах и зарослях водорослей. Процесс поглощения  $\text{CO}_2$  здесь происходит даже быстрее, чем в обычных лесах. Уже есть примеры вложения денег в восстановление мангровых лесов в Юго-Восточной Азии.

Большой вклад в достижение углеродной нейтральности вносит биологическая секвестрация, то есть поглощение углекислого газа почвой, растениями, водными массами [11, 12]. Один из способов — захват и длительное связывание атмосферного  $\text{CO}_2$  в почве — предполагает накопление остаточного органического углерода за счёт внесения в почву органических добавок, например навоза, компостов, биоугля, выращивания покровных культур и сидератов, введения севооборотов с посевом покровных культур. Учёные [11] предлагают извлекать  $\text{CO}_2$  из морской воды. Это выгодно хотя бы потому, что концентрация углекислого газа там в 100 раз больше, чем в воздухе. Океаны и моря — естественные абсорбенты  $\text{CO}_2$ . Отмечается, что морские воды поглощают 30–40% ежегодных выбросов углерода человечеством.

Группа учёных [13] предложила новый углеродно-нейтральный процесс производства водорода путём паровой конверсии метана, интегрированный с утилизацией  $\text{CO}_2$  на основе опреснительных сточных вод. В работе описана технологическая модель, которая включает два этапа: паровая конверсия метана для производства водорода и рекуперация опреснённых сточных вод для утилизации  $\text{CO}_2$ . Как утверждают авторы, в процессе паровой конверсии метана улавливается 94.5%  $\text{CO}_2$ .

В одном из исследований [14] авторы приводят результаты экспериментов по сокращению выбросов парниковых газов при опреснении морской воды с использованием фотоэлектрических систем. Эксперименты показывают, что выбросы ПГ с использованием фотоэлектрических технологий могут быть снижены на 94.97% по сравнению с проектом по опреснению морской воды с применением термических технологий, а выбросы парниковых газов на единицу производимой воды сокращаются на 9.8 кг  $\text{CO}_2$ -экв. за тонну, что может значительно сократить выбросы парниковых газов. Кроме того, предполагается, что крупномасштабное внедрение фотоэлектрических электростанций в рамках проекта по опреснению морской воды может сократить выбросы парниковых газов на  $1.61\text{E}+05$  —

3.86E+06 т CO<sub>2</sub>-экв. в год. По мнению авторов, сочетание фотоэлектрических и тепловых электростанций для реализации проекта по опреснению морской воды позволит значительно компенсировать выбросы парниковых газов. Срок окупаемости проекта с использованием фотоэлектрических технологий разработчики оценивают в 0.33 года.

Многие специалисты [15] обсуждают пути перехода к углеродной нейтральности в строительной индустрии. Так, в работе [16] обобщены подходы к превращению крупномасштабных алюмосиликатов в цеолиты, которые будут использованы в роли молекулярных сит, адсорбирующих в полостях молекулы диоксида углерода. Затем цеолиты предполагают применять при очистке, осушке и разделении газов. Авторы статьи [17] описывают разработку технологий низкоуглеродистого цемента за счёт исследования водорода и солнечной энергии.

### ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ В СТРАНАХ С ВЫСОКИМ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ

Наибольший вклад в глобальные антропогенные выбросы ПГ вносят Китай, США, Индия, ЕС, Россия, Япония, Бразилия и Индонезия [9]. Совокупные выбросы углерода первых двух стран составляют почти половину его глобальных эмиссий. Отметим, что эти же страны внесли большой вклад и в защиту окружающей среды, активно отреагировав на глобальное потепление и поставив перед собой цель добиться углеродной нейтральности. По исследованиям [18], США и Китай реализуют разные подходы к решению проблемы. Выбросы углерода в США сокращаются в абсолютном выражении, а в Китае снижают их интенсивность. Время перехода Поднебесной от углеродного пика к углеродной нейтральности будет короче, чем в Америке, поскольку численность её населения намного больше. В Китае предполагают, что к 2025 г. 20% потребляемой энергии будет производиться не за счёт ископаемых видов топлива, к 2030 г. страна достигнет 25% по этому показателю, а к 2060 г. — свыше 80%. Заявлено о намерении достичь углеродной нейтральности к 2060 г. Китай, несмотря на использование ископаемого топлива, является мировым лидером в области возобновляемых источников энергии (ВЭИ). Большинство компаний-производителей солнечных панелей и ветроэнергетических установок китайские. Хотя в стране ограничены мощности электростанций, работающих на угле, этот вид топлива остаётся крупнейшим источником электроэнергии.

В США, по данным исследований [19], выявлено, что экологические инновации смягчающе действуют на фактор выбросов. Подписан Указ о борьбе с климатическим кризисом в стране и за рубежом, в соответствии с которым американцы должны добиться нулевых чистых выбросов не позднее 2050 г.

В апреле 2021 г. Дж. Байден представил свой план по обновлению инфраструктуры и промышленности, предполагающий полный переход к чистой энергетике до 2035 г. Сейчас в США за счёт атомной и возобновляемой энергии производится 38% всей электроэнергии. На глобальном климатическом саммите в апреле 2021 г. Соединённые Штаты представили план финансирования мероприятий по сокращению эмиссии парниковых газов на 50–52% к 2030 г. В ноябре 2021 г. на климатическом саммите в Глазго (Великобритания) США заявили о намерении снова стать мировым лидером в борьбе с изменением климата. Реформы Байдена в данной области — это инвестиционные программы в рамках экономической политики. Общий объём предусмотренных инвестиций составит примерно 1.2 трлн долл.

Индия, как крупнейший источник ПГ, занимает 3 место в мире после Китая и США, опережая Россию, Японию и европейские государства. Страна играет важную роль в мировых климатических инициативах, проводит активную внутреннюю политику по предотвращению и смягчению последствий климатических изменений на государственном уровне и в рамках Парижского соглашения. В 2021 г. Индия провозгласила достижение углеродной нейтральности к 2070 г. и поставила цель сократить уровень выбросов парниковых газов до 45% к 2030 г. В настоящее время доля страны в глобальных выбросах ПГ доходит до 7% [20]. Если в США, странах ЕС и Японии с 2019 г. наметился тренд в сторону снижения абсолютных показателей эмиссий, то в Индии по-прежнему происходит их увеличение. Как быстрорастущая экономика она ещё долго будет обеспечивать рост эмиссий ПГ. В современной Индии сосредоточено около 18.2% населения земного шара, 3.3% мирового ВВП и 6.5% мирового потребления энергии. Страна — главный двигатель роста мирового спроса на энергию, темпы прироста потребления электроэнергии до 2030 г. оцениваются, по данным Международного энергетического агентства, в 2.6% в год. В 2050 г. Индия обгонит США по энергопотреблению и будет уступать по этому показателю только Китаю.

По мнению некоторых экспертов [21], к 2030 г. индийская экономика станет третьей в мире. Это, безусловно, повлечёт за собой рост потребления природных ресурсов, производства отходов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ, эмиссий ПГ, а также изменение землепользования. Национальный план признаёт важность активного восстановления лесного покрова, что актуально не только для климатической повестки, но и для обеспечения средств существования значительной части населения, напрямую использующего его ресурсы. К 2030 г. Индия должна увеличить лесной покров на 5 млн га наряду с улучшением качества насаждений. Кроме того, благодаря лесам поглощается около 22% эмиссий ПГ [22]. Необходимо отметить,

что рост выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с энергетикой, замедлился уже в 2019 г. из-за слабого прироста потребления угля и нефтепродуктов и увеличения доли возобновляемых источников энергии. В Индии значительна доля эмиссий метана, обусловленная развитием сельского хозяйства: свыше 70% его выбросов связано с жизнедеятельностью крупного рогатого скота, ещё 19% – с выращиванием риса [20].

Страна – один из мировых лидеров в области использования возобновляемых источников энергии, по мощности она занимает 2 место после Китая. Индия до сих пор сохраняет низкие позиции по такому важному показателю, как подушевой объём эмиссий ПГ, по сравнению со странами Запада и Китаем, занимая 128 место в мире, а её удельное энергопотребление составляет 25% среднемирового уровня. Уровень подушевых эмиссий ПГ в Индии в 2020 г. (2.6 т  $\text{CO}_2$ /чел.) намного ниже показателя развитых стран (США – 17, ЕС – 7.9, Россия – 15 т  $\text{CO}_2$ /чел.) [20]. Поднимается вопрос о “климатическом колониализме”, индийские экологи настаивают на установлении принципа справедливости в реализации мировой климатической политики, то есть дифференцированной ответственности развитых и развивающихся стран, имея в виду оказание помощи последним со стороны первых. Индия стремится влиять на развитые страны по вопросам предоставления финансовой помощи и технологий развивающимся странам для содействия становлению низкоуглеродной экономики. В ноябре 2022 г. в Египте прошёл климатический саммит ООН COP27 (Conference of the Parties), где было принято одно значимое решение: создать фонд для компенсации потерь и ущерба от климатических изменений. Однако предстоит определить, кто станет спонсором проекта и как будет решаться вопрос, кому выплачивать компенсации.

Это особенно актуально в условиях, когда коллективное обязательство развитых стран по ежегодной мобилизации 100 млрд долл. для удовлетворения потребностей развивающихся стран далеко от выполнения. Для достижения поставленных на 2015–2030 гг. целей потребности Индии в международном климатическом финансировании составляют не менее 2.5 трлн долл. Первоначально страна намеревалась достичь к 2030 г. 40% установленных мощностей производства электроэнергии, опираясь на гидро- и ядерную энергетику. То есть Индия была готова выполнить свои обязательства на десятилетие раньше. На саммите в Глазго страна обозначила цель достичь углеродной нейтральности к 2070 г., а также создать дополнительный пул по поглощению углерода в размере от 2.5 до 3 млрд т  $\text{CO}_2$  за счёт дополнительной посадки лесов и восстановления растительного покрова. По мнению экспертного сообщества, Индия обладает потенциалом стать мировым лидером в достижении цели Парижского соглашения удержать прирост глобальной средней

температуры намного ниже  $2^\circ\text{C}$ . Эксперты полагают, что интенсивность выбросов может быть сокращена гораздо радикальнее, чем предполагается в обязательствах, путём полной декарбонизации производства электроэнергии к 2050 г. Авторы работы [23] провели технико-экономический анализ связывания углерода в геотермальном регионе г. Долера (Индия). Они предложили три разных типа систем улавливания углерода: мокрые скрубберы, сухие скрубберы и прямое улавливание углерода в промышленных районах. Получен положительный результат по всем заявленным методам.

Важнейшая роль в реализации Европейского зелёного курса отводится повышению энергоэффективности, развитию возобновляемых источников энергии и поэтапному отказу от ископаемого топлива. Доля угля в производстве электроэнергии в ЕС сократилась с 25% в 2015 г. до 13% в 2020 г. В дальнейшем ВИЭ станут основой энергетического сектора **Евросоюза**. Важной частью зелёного курса заявлен энергетический переход в транспортном секторе, а также в секторе отопления/охлаждения. Для достижения целей необходимо сократить выбросы ПГ в транспортном секторе на 90% за счёт модернизации автомобильного, железнодорожного, водного и авиационного транспорта.

В 2019 г. во Франции был принят Закон об энергетике и климате, который потребовал перехода к углеродной нейтральности к 2050 г. за счёт более чем шестикратного снижения выбросов ПГ. Закон предписывает сокращение потребления ископаемого топлива к 2030 г. на 40% по сравнению с 2012 г., стимулирование развития оффшорной ветроэнергетики, использование солнечных панелей не менее чем на 30%. Предполагается, что к 2050 г. французский энергетический сектор будет полностью безуглеродным. Доля ископаемого топлива в электроэнергетике страны уже сейчас низка – 9% (2019). В том же направлении движется и Великобритания, которая в 2019 г. приняла закон об обязательном достижении нулевых чистых выбросов к 2050 г.

Европейский союз выстраивает курс на отказ от российских энергетических ресурсов и находится в поиске альтернативных поставщиков. В структуре конечного энергопотребления ЕС доминируют три сектора: транспорт (30%), промышленность (28%) и домохозяйства (27%). Замена генерирующих мощностей ТЭС на атомных, ветро-, солнечных и других “зелёных” электростанциях считается проблемной, а в некоторых случаях вероятность вреда может оказаться выше ТЭС. Делать водород из воды дорого, а из метана – слишком вредно. Европарламент утвердил запрет на машины, которые не относятся к электромобилям и гибридам, в июне 2022 г. была принята резолюция о запрете в ЕС новых машин с дизельными и бензиновыми двигателями. В рамках программы “Боннский вызов”, запущенной в 2011 г. правительством Германии и Междуна-

родным союзом охраны природы, поставлена цель восстановить леса на 350 млн га к 2030 г. В докладе Элиса Ди Сакко и его коллег [24] определены 10 “золотых правил” лесовосстановления для оптимизации улавливания углерода. В них подчёркнута важность генетического разнообразия.

Стратегия долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 г. предполагает два основных сценария: базовый, который принят за основу, и интенсивный. Оба ориентированы на снижение углеродоёмкости российского ВВП на 9% к 2030 г. и на 48% — к 2050 г. по сравнению с 2020 г. В базовом сценарии низкоуглеродной стратегии, разработанной Минэкономразвития России, объём чистых выбросов парниковых газов (главным образом  $\text{CO}_2$ ) к 2050 г. снизится до 1.19 млрд т. При его реализации суммарно накопленные до 2050 г. чистые выбросы ПГ в России окажутся ниже, чем в Евросоюзе. Считается, что самый большой эффект от снижения выбросов должно дать увеличение поглощения парниковых газов при землепользовании и в лесном хозяйстве. Базовый сценарий предусматривает удвоение уровня абсорбции вредных газов лесами. При этом Россия может стать одним из ключевых поставщиков проектов, генерирующих единицы сокращения выбросов, в том числе для международных инвесторов. Наша страна должна извлекать прибыль из участия в международных рыночных механизмах торговли выбросами. В битве за климат мы делаем ставку на карбоновое земледелие, чтобы избежать выплат по корректирующему механизму или хотя бы снизить их.

В 2019 г. совокупные выбросы в России составили 2.12 млрд т  $\text{CO}_2$ -экв. без учёта поглощения парниковых газов лесами и 1.58 млрд т — с учётом их поглощения. В базовом сценарии объём выбросов  $\text{CO}_2$  к 2050 г. снизится до 1.19 млрд т, и суммарно накопленные до 2050 г. парниковые газы в РФ окажутся ниже, чем в ЕС. Евросоюз поставил цель достичь к тому времени нулевых выбросов, у него более высокая база — 3.8 млрд т по итогам 2019 г. Россия выставит в виде компенсаторного механизма лесные запасы с их огромным потенциалом поглощающей способности, которая может увеличиться до 1.8–2.2 млрд т  $\text{CO}_2$ -экв. Следует отметить, что поглощающая способность наших лесов недооценена.

В работе [25] представлены результаты сравнения углеродного следа крупнейших экономик мира и детально обоснованы возможности российской экономики и её сельского хозяйства по снижению выбросов ПГ. Общая площадь российских земель, на которых расположены леса, составляет 1 187.6 млн га. Их экономическая ценность заключается в том числе в депонирующей потенциале. Показатель лесистости в среднем по стране — 46.4%, наибольший зафиксирован в Сибири и на юге Дальнего Востока. Хвойные породы произрастают на

56.2% лесной площади, мягколиственные — на 28.1, твердолиственные — на 2.9. На долю прочих древесных пород приходится 4.5%. На 8.3% площади лесов лесные насаждения отсутствуют. Напомним: за последние 12 лет площадь основных лесобразующих пород в России увеличилась примерно на 800 тыс. га. Международные исследования, проведённые с использованием данных космического наблюдения, показали, что общий запас лесов РФ оценён в 111 млрд  $\text{м}^3$  с учётом погрешности  $\pm 1,3$  млрд  $\text{м}^3$ , что на 35% больше, чем считалось ранее. В соответствии с Государственным докладом о состоянии и использовании земель в РФ в 2020 г. доля земель лесного фонда составила 65.8%, часть земель сельскохозяйственного назначения — 22.2%, что в сумме составляет 88% общего земельного фонда страны. Леса как природный капитал с накоплением 625 млн т парниковых газов составляют реальное конкурентное преимущество России. За всю историю защитного лесоразведения в РФ на землях сельскохозяйственного назначения заложено 5.2 млн га защитных лесных насаждений.

Мерам, предпринимаемым Японией в борьбе с глобальным изменением климата, посвящён доклад [26]. В 2017 г. впервые в мире здесь была разработана водородная стратегия, а также дорожные карты создания безуглеродного общества. Как отмечает автор исследования, именно Япония впервые в мире начала выпускать автомобили на водородном топливе. К 2050 г. 50–60% выработки электроэнергии в стране будет приходиться на возобновляемые источники энергии, и многие японские города станут безуглеродными. Ожидаемый экономический эффект от реализации этой стратегии оценён в 90 трлн йен к 2030 г. и 190 трлн йен к 2050 г. Японские власти осознают, что поставленные цели требуют ускорения структурной перестройки энергетической и потребления. В 2021 г. были рассмотрены План противодействия глобальному потеплению и Базовый энергетический план. В том же году в области декарбонизации для коммерциализации водорода был создан Зелёный инновационный фонд размером в 2 трлн йен. В стране предполагают переоборудовать угольные электростанции для сжигания аммиака, более чистого топлива. Японцы первыми начали принимать меры по решению проблемы изменения климата. Географическое положение страны делает её особенно восприимчивой к последствиям потепления климата. Засухи и сильные дожди, вызывающие катастрофические наводнения, обусловлены долгосрочным повышением температуры.

Япония стала первым государством Азии, где был введён нейтральный по доходам налог для предотвращения глобального потепления и усиления природоохранной политики, действующий с 2012 г., однако в налоговую реформу 2022 г. его не включили. В 2022 г. правительство Японии предложило Международной морской организации ввести налог

на выбросы углекислого газа в судоходной отрасли в размере 56 долл. за тонну выбросов CO<sub>2</sub> на 2025–2030 гг. Это могло бы стать стимулом для устойчивого использования энергии, а также позволило бы получать более 50 млрд долл. в год на выбросы от судоходства. С 2030 г. предлагалось увеличивать налог каждые пять лет, доведя его до 135 долл.

Разнообразные меры, предпринимаемые Японией по декарбонизации, созданию безуглеродного общества, свидетельствуют, что страна и на этот раз станет для мирового сообщества примером для подражания [26]. Япония доведёт объём выбросов CO<sub>2</sub> до нулевого уровня к 2050 г. за счёт развития солнечной энергетики и технологий по переработке углекислого газа. Здесь считают, что есть три основные движущие силы, которые можно использовать для сокращения углеродных выбросов: государственное регулирование, фондовые рынки и новые технологии. Как утверждают японцы, в конечном счёте декарбонизация возможна только благодаря технологиям. Ключом к построению безуглеродного общества становится стимулирование промышленных инноваций, направленных на развитие низкозатратных, низкоуглеродных процессов, продуктов и услуг, в то время как переход на солнечную и ветровую энергию, которая обладает гораздо более низкой энергоёмкостью, не сулит значительных экономических выгод. Признаётся и значение ядерной энергетики, без которой не обойтись.

**Бразилия**, как и Китай, — один из крупнейших источников парниковых газов на планете, хотя её вклад в выпуск продукции значительно меньше китайского. По разным оценкам, в рейтинге мировых загрязнителей ПГ страна занимает 4–7 места [9]. Пример Бразилии примечателен тем, что основным источником ПГ в структуре энергопотребления служит не промышленность, а сельское хозяйство. Так, в 2005 г. на него приходилось 70.4% выбросов метана, источником 90% которых была энтеральная ферментация жвачных животных. Поэтому в стране предусмотрена интеграция растениеводства, животноводства и лесов [27].

Крупными эмитентами CO<sub>2</sub> являются **страны БРИКС**, но они же вносят значительный корректирующий вклад в его поглощение. В частности, на их территорию приходится примерно 40% мировой площади лесов, более половины — это леса России. А Бразилия — основной “хранитель” лесов Амазонки и располагает значительными лесными ресурсами, следуя за РФ. Для реализации сценария углеродной нейтральности большое значение будет иметь создание в РФ, а возможно, и на уровне БРИКС, собственного углеродного рынка. Значительная часть потенциальных проектов по восстановлению лесов к 2050 г. приходится на страны-члены БРИКС — Россию (+151 млн га), Бразилию (+49,7) и Китай (+40,2) [29]. Заметный вклад должна внести Австралия (+58).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДОСТИЖЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ

Сегодня перспектива достижения климатической нейтральности остаётся такой же отдалённой, как и прежде, хотя она вызывает серьёзную озабоченность в мире и стала актуальным предметом обсуждения учёных и политиков. Как отмечают специалисты Программы ООН по окружающей среде, мир слишком медленно продвигается по пути адаптации к изменению климата, что связано в основном с недостатком финансирования. Сегодня темпы нарастания последствий изменения климата намного опережают усилия человечества по адаптации к ним.

Сложилось диаметрально противоположные мнения об эффективности мер по компенсации выбросов парниковых газов в решении климатических проблем. Многие специалисты отмечают, что Парижское соглашение в силе, но его цели нереалистичны. Ревизия принятых в 2015 и 2021 гг. соглашения вызвала разочарование. На COP27 делегаты из Китая, например, выразили озабоченность в связи с целью удержать повышение глобальной температуры на 1.5°C. Этот тезис стал одним из спорных на саммите. В 2018 г. Научно-консультативный совет европейских академий наук выпустил доклад, где говорится, что все известные технологии предлагают лишь ограниченный потенциал для удаления CO<sub>2</sub> из атмосферы, то есть одними компенсациями и прямым улавливанием невозможно достичь целей, которые ставит Парижское соглашение по климату. Утверждается, что некоторые способы достижения углеродной нейтральности и вовсе могут нанести вред окружающей среде. Пока технологии по удалению CO<sub>2</sub> массово нигде не применяются, поэтому сложно подсчитать соответствующий экологический эффект, считают учёные и эксперты. Предлагаемый метод требует огромных энергетических и водных ресурсов, что может нивелировать положительный эффект от удаления CO<sub>2</sub> и вызвать обратный результат. Более того, масштабное строительство сооружений для улавливания ПГ негативно скажется на земных и водных экосистемах. Учёные приходят к общему мнению, что самый эффективный способ борьбы с изменением климата — прямое сокращение выбросов.

Углеродная нейтральность не означает полного отказа от сжигания полезных ископаемых — это попросту невозможно. Теоретически сколько прибыло, столько должно убыть. Но в действительности всё гораздо хуже, и глобальное потепление — это уже не угроза, а реальность. Так, Индия корректно выступает за подушевой учёт выбросов парниковых газов, и к этому мнению мировое сообщество должно прислушаться. В литературе много работ, авторы которых считают, что лес — универсальный способ компенсации выбросов, а эксперты, наоборот, называют его одним из самых сложных, поскольку

часть леса не приживается, а не прижившееся дерево гниёт и выделяет в атмосферу тот же углекислый газ. Отсюда следует вывод, что наилучший путь – вкладывать средства в те проекты, которые гарантированно убирают источник ПГ. В идеале точкой достижения углеродной нейтральности должен быть переход к энергетике солнца, воды, ветра и атома, однако мировое сообщество к этому пока не готово. Альтернативный путь – принятие мягких адаптационных мер к тому, что диктует природа.

Многие исследователи склонны считать, что основное внимание следует уделять смягчению последствий от выбросов парниковых газов. Это нелёгкая задача, но, несомненно, решать её проще, чем применять углеродно отрицательные технологии в больших масштабах. Адаптация – это глобальный вызов, стоящий перед человечеством, ключевой компонент долгосрочного глобального реагирования на изменение климата в целях защиты людей, их средств к существованию, особенно для развивающихся стран, которые уязвимы к неблагоприятным климатическим факторам.

Проблема глобального потепления волнует не только представителей власти, но и крупные промышленные компании. На то есть причины. В июле 2021 г. Еврокомиссия приняла экологический план EU Green Deal для достижения нулевого нетто-выброса парниковых газов и нулевого суммарного загрязнения окружающей среды. Эксперты предлагают оценки достижения углеродной нейтральности крупными компаниями, к которым относятся ИТ-гиганты Google, Microsoft, Apple, ФИФА и многие другие. Экономический импульс для грядущей экологической революции должен в значительной степени исходить от разработки инновационных бизнес-моделей, создающих новую ценность. Предстоящий переход к обществу с нулевым уровнем выбросов CO<sub>2</sub> предполагает массовое переосмысление бизнес-стратегии. Эксперты предупреждают, что радикальные перемены всегда болезненны, но без них будущее планеты видится мрачным. Хотя на этом пути предстоит преодолеть множество препятствий, основной курс очевиден. Вопрос заключается в том, есть ли у мирового сообщества коллективная воля и политическое руководство, чтобы следовать этим курсом.

Главная цель – повысить адаптационный потенциал и устойчивость человечества, снизить его уязвимость перед силами природы. Мировое сообщество должно изыскать эффективные инновационные решения, чтобы приспособиться к новым условиям жизнедеятельности и помочь тем, кто уже сталкивается с тяжёлыми последствиями изменения климата.

Что касается предложенного нового механизма управления импортом углеродоинтенсивных товаров СВМ, то он многими воспринимается как своего рода пошлина, которая будет взиматься

с ввозимых в ЕС товаров в зависимости от объёма ПГ, выброшенных в атмосферу в процессе производства. Это беспрецедентная мера, аналогов которой в мире нет. Как разработать такой налог, не нарушив правил Всемирной торговой организации и не навредив внутренним производителям, пока непонятно. Бизнес в России категорически против установления квот на выбросы парниковых газов и введения углеродного налога за их превышение. Он выступает за коммерческое использование проектов по сокращению выбросов парниковых газов субъектами хозяйственной деятельности. Чтобы сохранить своё место в мире, России нужны новые источники роста и эффективная модель низкоуглеродной экономики.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-24-20098 “Секвестрация углерода в результате естественного восстановления лесов после пожаров (на примере Прибайкальского заказника)”.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang Z., Hu G., Mu X., Kong L. From low carbon to carbon neutrality: A bibliometric analysis of the status, evolution and development trend // Journal of Environmental Management. 2022, vol. 322, p. 116087. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116087>
2. Chen J.M. Carbon Neutrality: Toward a Sustainable Future // The Innovation. 2021, vol. 2(3), p.100127. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100127>
3. Рамочная конвенция Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН). [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/climate\\_framework\\_conv.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml) United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (In Russ.)
4. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/107a01.pdf> Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (In Russ.)
5. Парижское соглашение. [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_russian\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf) Paris Agreement. (In Russ.)
6. Ломакин О.Е., Марков А.К., Можжаев Е.Е., Волков А.П. Экономический механизм трансграничного углеродного регулирования // Вестник Екатеринбургского института. 2023. № 2(62). С. 39–47. Lomakin O.E., Markov A.K., Mozhaev E.E., Volkov A.P. Economic mechanism of transboundary carbon

- regulation // Bulletin of the Ekaterininsky Institute. 2023, no. 2(62), pp. 39–47. (In Russ.)
7. *Бажан А.И., Рогинко С.А.* Пограничный корректирующий углеродный механизм ЕС: статус, риски и возможный ответ // Аналитические записки Института Европы РАН. 2020. № 44(227). С. 1–13. *Bazhan A.I., Roginko S.A.* EU Border Adjustment Carbon Mechanism: Status, Risks and Possible Response // Analytical Notes of the Institute of Europe of the Russian Academy of Sciences. 2020, no. 44(227), pp.1–13. (In Russ.)
  8. *Лысунец М.В.* Углеродное ценообразование как инструмент трансграничного углеродного регулирования и “зелёной” трансформации мировой экономики // Мир новой экономики. 2023. № 17(2). С. 27–36. *Lysunets M.V.* Carbon pricing as a tool for cross-border carbon regulation and “green” transformation of the global economy // World of the New Economy. 2023, no. 17(2), pp. 27–36. (In Russ.)
  9. *Ланьшина Т.А., Логинова А.Д., Стоянов Д.Е.* Переход крупнейших экономик мира к углеродной нейтральности: сферы потенциального сотрудничества с Россией // Вестник международных организаций. 2021. № 4. С. 98–125. *Lanshina T.A., Loginova A.D., Stoyanov D.E.* Transition of the world’s largest economies to carbon neutrality: areas of potential cooperation with Russia // Bulletin of international organizations. 2021, no. 4, pp. 98–125. (In Russ.)
  10. *Minx J.C., Lamb W.F., Callaghan M.W. et al.* Negative emissions. Part 1: Research landscape and synthesis // Environmental Research Letters. 2018, vol. 13(6), p. 63001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9b>
  11. *Zeman F.S., Keith D.W.* Carbon neutral hydrocarbons // Philos. Trans. A Math Phys. Eng Sci. 2008, no. 366(1882), pp. 3901–3918. <http://doi.org/10.1098/rsta.2008.0143>
  12. *Pearson R.J., Eisaman M.D., Turner J.W.G. et al.* Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made from CO<sub>2</sub>, Water, and Renewable Energy // Proceedings of the IEEE. 2012, vol. 100, no. 2, pp. 440–460. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2168369.
  13. *Jonghun Lim, Chonghyo Joo, Jaewon Lee et al.* Novel carbon-neutral hydrogen production process of steam methane reforming integrated with desalination wastewater-based CO<sub>2</sub> utilization // Desalination. 2023, vol. 548. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116284>
  14. *Chao Ai, Lu Zhao, Di Song et al.* Identifying greenhouse gas emission reduction potentials through large-scale photovoltaic-driven seawater desalination // Science of The Total Environment. 2023, vol. 857(Pt 3), p. 159402.
  15. *Ashby M.F.* Materials and Sustainable Development. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2024. P. 377–390.
  16. *Zheting Chu, Jiaxin Liang, Dazhong Yang, Hong Chen.* Green chemical conversion of large-scale aluminosilicates into zeolites for environmental remediation under carbon-neutral pressure. Current Opinion in Green and Sustainable // Chemistry. 2022, vol. 36, p. 100632. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100632>
  17. *Yangyang Guo, Lei Luo, Tingting Liu et al.* A review of low-carbon technologies and projects for the global cement industry // Journal of Environmental Sciences. 2024, vol.136, pp. 682–697. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.01.021>
  18. *Zhen Wu, Xianjin Huang, Ruishan Chen et al.* The United States and China on the paths and policies to carbon neutrality // Journal of Environmental Management. 2022, vol. 320, p. 115785. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115785>
  19. *Sun Y., Yesilada F., Andlib Z., Ajaz T.* The role of eco-innovation and globalization towards carbon neutrality in the USA // Journal of Environmental Management. 2021, vol. 299, p. 113568. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113568>
  20. *Olivier J.G.J.* Trends in global CO<sub>2</sub> and total greenhouse gases emissions: 2021 Summary Report. Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2022.
  21. *Алексеева Н.Н.* Роль Индии в глобальной климатической повестке: от аутсайдера до ведущего игрока // Вестник Института востоковедения РАН. 2022. № 2. С. 92–104. *Alekseeva N.N.* The Role of India in the Global Climate Agenda: From Outsider to Leading Player // Bulletin of the Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences. 2022, no. 2, pp. 92–104. (In Russ.)
  22. India 5th National Report to the Convention on Biological Diversity. New Delhi: Government of India, 2014.
  23. *Yadav K., Sircar A., Bist N.* Carbon mitigation using CarbFix, CO<sub>2</sub> plume and carbon trading technologies // Energy Geoscience. 2023, vol. 4, no. 1, pp.117–130. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2022.09.004>
  24. *Di Sacco A., Hardwick K.A., Blakesley D. et al.* Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits // Global Change Biology. 2021, no. 27(7), pp. 1328–1348. <https://doi.org/10.1111/gcb.15498>
  25. *Булетова Н.Е., Степанова Е.В., Аль-Моатасембелла Мостафа Мохамед и др.* Устойчивое цифровое развитие сельскохозяйственных территорий России с учётом ECG-факторов // Управление устойчивым развитием. 2022. № 2(39). С. 6–12. *Buletova N.E., Stepanova E.V., Al-Moatasembella Mostafa Mohamed et al.* Sustainable digital development of agricultural territories of Russia taking into account ECG factors // Sustainable Development Management. 2022, no. 2(39), pp. 6–12. (In Russ.)

26. *Тихоцкая И.С.* Политика декарбонизации в Японии: основные тренды // Доклад на XV ежегодной конференции Ассоциации японоведов. Москва, 16 декабря 2022 г. [http://www.japanstudies.ru/images/stories/program\\_2022\\_12\\_16.pdf](http://www.japanstudies.ru/images/stories/program_2022_12_16.pdf)  
*Tikhotskaya I.S.* Decarbonization Policy in Japan: Main Trends // Report at the XV Annual Conference of the Association of Japanese Studies. Moscow, December 16, 2022. (In Russ.)
27. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Executive Summary. Brazil: Ministry of Science, Technology and Innovation, 2016. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>

## WAYS TO ACHIEVE CARBON NEUTRALITY

**G.D. Chimitdorzhieva<sup>a,\*</sup>**

<sup>a</sup>*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia*

*\*E-mail: galdorj@gmail.com*

The problems of climate change and initiatives of countries with a high carbon footprint to reduce the rate of its warming are discussed. The characteristics of the instruments for regulating greenhouse gas emissions used to reduce the carbon footprint are given. The main methods for reducing emissions and capturing carbon dioxide are given: CO<sub>2</sub> extraction from seawater, reducing carbon dioxide emissions during seawater desalination using photovoltaic systems, a carbon-neutral process for producing hydrogen by steam reforming of methane integrated with CO<sub>2</sub> utilization, and the transition to carbon neutrality in the construction industry. Measures for transferring the economies of countries with a high carbon footprint (China, the USA, India, the European Union, Russia, Japan and Brazil) to adaptive methods for achieving carbon neutrality are described. The review is based on statistical materials, reports of international organizations, national authorities, as well as analytical reports and conference materials on climate change, sustainable use, conservation and protection of forests, presented in scientific journals and on official websites.

*Keywords:* carbon neutrality, greenhouse gas emissions, carbon tax.