***Ветрова Мария Александровна***

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9*

**Стратегии декарбонизации российских углеродоемких секторов экономики**

**Аннотация**

Климатическая повестка в последнее десятилетие приобрела острую актуальность и усилия стран направляются на декарбонизацию производственно-технологических процессов и новый энергопереход, который предполагает постепенный отказ от традиционных источников энергии в пользу возобновляемых и низкоуглеродных альтернатив. Вместе с тем часть технологий декарбонизации находится на стадии исследования и разработок, а потенциал уже используемых решений не всегда может обеспечить бесперебойный и экономически эффективный доступ к энергии. В исследовании проводится анализ существующих технологий декарбонизации углеродоемких секторов и приоритизация наиболее целесообразных решений для РФ с учетом обострения геополитической ситуации и нарушением традиционных экспортно-импортных отношений. Объектом специального внимания выступают CCUS-технологии, водородная энергетика, природно-климатические решения и потенциал их реализации в РФ.

**Ключевые слова:** климатическая повестка; декарбонизация; низкоуглеродное развитие; CCUS-технологии; водородная энергетика.

***Maria A. Vetrova***

*St Petersburg University, 7–9, Universitetskaya nab., St Petersburg, 199034,*

*Russian Federation*

**Decarbonization strategies for Russian carbon-intensive sectors**

**Abstract**

The climate agenda has acquired acute urgency in the last decade and the efforts of countries are directed towards decarbonization of production and technological processes and a new energy transition, which involves the gradual abandonment of traditional energy sources in favor of renewable and low-carbon alternatives. At the same time, some decarbonization technologies are at the research and development stage, and the potential of already used solutions cannot always provide uninterrupted and cost-effective access to energy. The study analyzes existing technologies for decarbonization of carbon-intensive sectors and prioritizes the most appropriate solutions for the Russian Federation, taking into account the aggravation of the geopolitical situation and the violation of traditional export-import relations. The object of special attention is CCUS-technologies, hydrogen energy, natural and climatic solutions and the potential for their implementation in the Russian Federation.

**Keywords:** climate agenda; decarbonization; low-carbon development; CCUS technologies; hydrogen energy.

*Статья подготовлена в рамках гранта Санкт-Петербургского государственного университета «От карбонового полигона к углеродному регулированию: потенциал и пути развития секвестрационной углеродной индустрии на территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга»*

**Введение**

Антропогенные выбросы парниковых газов стали причиной изменения климата на Земле. Повышение средней температуры поверхности Земли способствуют к экстремальным погодным явлениям: засухам, лесным пожарам, наводнениям и ураганам. Природные экосистемы деградируют с большой скоростью и это угрожает существованию жизни на Земле. В 2021 г. 2,3 млрд чел. (9.8% населения мира) столкнулись с голодом. Снижение устойчивости и качества жизни усугубляются комплексным воздействием затяжных геополитических конфликтов, а также пандемий COVID-19, которые оказали существенное влияние на здоровье, продовольственную безопасность, доходы и равенство. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики в РФ регулярно увеличивается количество природных чрезвычайных ситуаций (Рис 1.), при этом РФ находится на четвертом месте среди всех стран по уровню выбросов парниковых газов [EDGAR Report, 2022].

Рис. 1. Природные чрезвычайные ситуации [Охрана окружающей среды в России, 2022]

Несмотря на принимаемые меры по ограничению выбросов парниковых газов в рамках Рамочной конвенции ООН по изменению климата (2015 г.), их концентрация в атмосфере растет, в том числе и в РФ [BP, 2022].

Согласно выводам доклада ЮНЕП о разрыве в уровнях выбросов, а также Докладу о разнице мер адаптации к изменению климата, определяемые на национальном уровне взносы (ОНУВ) в соответствии с Парижским соглашением указывают на глобальное потепление на 2,4-2,6°C к концу столетия. Исследования Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) показывают, что климатические риски будут усиливаться с каждой десятой долей градуса. И странам необходимо усилить свои меры по в рамках ОНУВ [Доклад ООН, 2023].

Для нивелирования климатических рисков страны разрабатывают стратегии перехода к углероднонейтральной экономике, большинство государств направлены на достижение нулевых выбросов к 2050-2060 гг. [Arens M. et al, 2021]. В первую очередь государственные стратегии задают вектор изменений производственно-технологических процессов в углеродоемких секторах. Поэтому нивелирование климатических рисков – это остроактуальная задача для компаний, т.к. изменение климата уже приводит к увеличению затрат, сокращению продаж, сбою в цепях поставок. Например, в последние годы засухи привели к рекордно низкому уровню воды реки Рейн в Европе, что помешало сталелитейным компаниям отгружать продукцию, а туристическим компаниям - совершать речные круизы; в 2021 году тайфун в Малайзии, привел к остановке местного производства полупроводников, импортируемых США, что остановило работу некоторых американских автопроизводителей; в 2019–2020 годах лесные пожары в Австралии охватили более 46 млн акров и обошлись страховым компаниям в 1,3 млрд долл. в виде выплат по претензиям. Тип и степень климатического риска, с которым сталкиваются компании, значительно различаются в зависимости от сектора и местоположения. Однако по данным МГЭИК, без немедленного и глубокого сокращения выбросов во всех секторах и регионах удержать потепление ниже 1,5 °C будет невозможно.

В РФ среди наиболее углеродоемких секторов выделяются энергетика, сельское хозяйство, управление отходами, промышленность в первую очередь металлургия, цементная промышленность, производство удобрений, химическая промышленность (Таблица 1). Именно эти сектора в первую очередь разрабатывают стратегии декарбонизации.

*Таблица 1.* Выбросы парниковы газов по сектора (млн. тонн СО2 –экв.)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сектор | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Энергетика | 1 637,0 | 1 688,7 | 1 682,3 | 1 597,7 |
| Промышленные процессы и использование промышленной продукции*в том числе** производство продукции из минерального сырья
* химическая промышленность
* металлургия
* использование фторированных заменителей озоноразрушающих веществ
* прочее
 | 230,9 | 240,2 | 233,6 | 241,7 |
| 36,1 | 36,9 | 36,3 | 36,0 |
| 66,8 | 74,8 | 68,3 | 73,4 |
| 108,9 | 107,3 | 105,5 | 107,3 |
| 16,5 | 18,5 | 20,5 | 21,9 |
| 2.62 | 2.72 | 2.93 | 3.22 |
| Сельское хозяйство | 113,2 | 112,8 | 114,0 | 116,6 |
| ЗИЗЛХ | -603,5 | -584,5 | -559,0 | -569,2 |
| Отходы | 89,1 | 91,0 | 92,9 | 95,4 |
| Всего, без учета ЗИЗЛХ | 2 070,2 | 2 132,7 | 2 122,8 | 2 051,4 |
| Всего, с учетом ЗИЗЛХ | 1 466,8 | 1 548,2 | 1 563,8 | 1 482,2 |

*Источник: Охрана окружающей среды в России, 2022*

Оптимальные стратегии декарбонизация могут предоставить бизнес-структурам возможность оставаться конкурентоспособными в условиях множества потенциальных климатических изменений, а также сокращать эмиссию климатически активных газов, чтобы избежать наихудших климатических сценариев. Вместе с тем, в условиях геополитической нестабильности, нарушения импортно-экспортных операций и усиления требований со стороны межправительственных структур реализация стратегий декарбонизации может потребовать существенных инвестиционных вложений в краткосрочной перспективе. При этом часть технологий декарбонизации производственно-технологических процессов находится на стадии исследований и разработок. Таким образом, настоящее исследование направлено на систематизацию технологий декарбонизации и приоритизацию стратегий декарбонизации российских углеродоемких секторов экономики.

1. **Систематизация технологий декарбонизации производственно-технологических процессов в углеродоемких секторах экономики**

Исследования доказывают, что ускорение энергоперехода и достижения нулевых выбросов становятся все более эффективным вариантом для государственных стратегий [He et al., 2020; Ives et al., 2021; [Way et al.](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262201407X%22%20%5Cl%20%22bib54), 2020]. В первую очередь декарбонизация энергетики является требованием для низкоуглеродного развития других секторов с высоким уровнем выбросов, включая транспорт и тяжелую промышленность. Компании ТЭК, в основе работы которых лежит добыча и переработка ископаемого топлива вынуждены уже сейчас пересматривать свои стратегические инициативы. Международное энергетическое агентство все чаще в качестве эффективных способов декарбонизации выделяет следующие направления:

1. Повышение энергоэффективности и массовая электрификация;
2. Производство энергии на основе возобновляемых источников энергии с нулевой эмиссией климатически активных газов;
3. CCUS-технологии улавливания, хранения и использования СО2;
4. Другие низкоуглеродные технологии, которые находятся на стадии исследования и разработок или имеют узкую направленность применения.

Для декарбонизации каждой отрасли подходит свой комплекс технологий, который может отличаться преобладанием тех или иных подходов в зависимости от территориальных, институциональных, экономических и других условий (Таблица 2).

*Таблица 2.* Технологии декарбонизации углеродоемких секторов экономики

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Технология декарбонизации | Технологическая зрелость | Сектор экономики |
| Природные климатические проекты: лесные и сельскохозяйственные проекты (восстановление антропогенно-нарушенных земель, плантационные посадки деревьев, сохранение высокопродуктивных лесов, регенеративное сельское хозяйство и проч.) | Средний уровень технологической зрелости, высокий потенциал | Приоритетный сектор - сельское хозяйство, но проекты могут реализовываться и другими секторами  |
| ВИЭ (ветрянная, солнечная, геотермальная, гидроэнергия и др.) | Высокий уровень технологической зрелости | Энергетический сектор |
| Водородная энергетика и использование водорода в производственных процессах | Средний – получение водорода и низкий уровень зрелости – хранение водорода, полное созревание к 2030 году | Энергетический сектор, металлургия, химическая промышленность |
| CCS – улавливание, транспортировка и захоронение СО2 в геологических формациях (истощенные после добычи полезных ископаемых резервуары, солевые водоносные горизонты) | Средний уровень технологической зрелости, 40 действующих проектов, инфраструктура по хранению исследуется | Энергетический сектор, металлургия, цементная и химическая промышленность |
| CCU – улавливание, транспортировка и использование СО2, например, для производства углеводородного волокна или повышения нефтеотдачи | Низки уровень зрелости, полное созревание после 2030 года |
| DAC – улавливание СО2 из атмосферы (более энергоемкий и дорогой процесс чем улавливание его из точечного источника – CCS) | Низкий уровень зрелости, но есть потенциал для масштабного удаления углерода в сочетании с множеством технологий производства от устойчивого авиационного топлива до водорода | Все сектора экономики |
| Инструменты циркулярной экономики (переработка и повторное использование) | Высокий уровень зрелости циркулярных бизнес-моделей в области повторного использования, минимизации объемов потребления, переработки отходов и вышедшей из эксплуатации продукции | Все сектора экономики, преимущественно управление отходами, металлургия, сельское хозяйство |
| Повышение энергоэффективности и электрификация | Высокий уровень зрелости, но ограниченный потенциал, при сохранении существующих технологий достигнуть полной декарбонизации невозможно | Все сектора экономики |
| Электролитический процесс - растворение железной руды в электролите с дальнейшим пропуском электрического тока для получения жидкой стали и использования в качестве сырья для электродуговой печи | Низкий уровень зрелости, стадия исследования и разработки, полное созревание — 2050 г. | Черная металлургия |

*Источник: Составлено автором*

Отдельные бизнес-структуры выбирают свои приоритеты в технологическом развитии и декарбонизации производственных процессов. Одни выбирают путь радикальных изменений, например, в черной металлургии некоторые компании в качестве приоритетного направления выделяют отказ от доменных печей в пользу электролитического процесса. Другие компании наоборот стремятся сохранить ключевые используемые технологии и делают ставку на поглощение эмиссии климатически активных газов природными экосистемами, так развиваются климатические проекты по восстановлению лесов, плантационной посадке деревьев и проч.

1. **Приоритизация стратегий декарбонизации российских углеродоемких компаний**

Как отмечает Международное энергетическое агентство у углеродоемких секторов нет варианта не предпринимать никаких действий в области декарбонизации. Компаниям придется скорректировать или даже ликвидировать некоторые виды деятельности, поэтапно сокращать линейки продуктов с высоким углеродным следом, инвестировать в новые безугелродные технологии, модернизировать цепочки поставок, перемещать производственные объекты ближе к низкоуглеродным источникам энергии. Если для европейских компаний возможности повышения энергоэффективности практически исчерпаны, и приоритетным является внедрение наилучших доступных технологий, в том числе улавливания и использования СО2, а также снижение спроса на ископаемые виды топлива и рост ВИЭ в энергетическом секторе не только для достижения углеродной нейтральности, но и снижения зависимости от волатильности цен и перебоев в поставках энергоресурсов, то для российских капиталоемких отраслей быстрый переход на низкоуглеродные технологии невозможен из-за преобладания в структуре экспорта топливно-энергетических ресурсов, а также длительного цикла амортизации инвестиционных вложений, например, в черной металлургии [Пахомова Н., Рихтер К., Ветрова М., 2022].

В краткосрочной перспективе для большинства российских углеродоемких секторов повышение энергоэффективности и развитие цирклярных бизнес-моделей будут являться приоритетными решением, однако возможности этих инструментов ограничены с точки зрения потенциала полной декарбонизации [Draxler M. et al, 2020]. Технологии CCS и природно-климатические проекты будут наиболее приоритетны в среднесрочной перспективе, т.к. РФ обладает уникальными возможностями. Так, анализ потенциала по геологическому хранению СО2 в РФ показывает, что емкость резервуаров в России составляет около 157 Гт [Cherepovitsyn A. et al, 2018]. При этом развитие природного потенциала и реализация климатических проектов в сфере лесного и сельского хозяйства позволят согласно Стратегии долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года рост поглащения климатически активных газов с 535 млн т СО2-экв. в 2019 г. до 1200 млн т СО2-экв. к 2050 г. [Распоряжение Правительства РФ № 3052-р, 2021]. В долгосрочной перспективе с учетом имеющейся инфраструктуры особой актуальностью будет обладать развитие водородной энергетики на основе природного газа и CCU-технологий по использованию СО2 в химической, цементной, нефтегазовой и других отраслях.

Российские сектора экономики с высоким углеродным следом, интегрированные в глобальную энергетическую и ресурсную систему, вынуждены декарбонизировать производственно-технологические процессы под воздействием таких внешних факторов, как требования со стороны законодательства, потребителей, иностранных инвесторов и партнеров. Например, Новатэк и Северсталь в июне 2022 года подписали Меморандум по водородной энергетике и снижению выбросов парниковых газов путем производства "голубого" водорода, который можно использовать в качестве топлива при выплавке стали. Роснефть планирует развивать ресурсную базу природного газа, а также CCS-решения. Газпром разрабатывает целый комплекс проектов во всех направлениях от природно-климатических технологий до водородной энергетики на основе природного газа включая CCS решения. Таким образом, российские бизнес-структуры уже встали на путь декарбонизации, однако этот путь отличается от приоритетов европейских компаний, которые ориентируются на полный отказ от ископаемых видов топлива и масштабные инвестиции в исследования и разработки новых технологических решений, которые ознаменуют радикальные изменения производственных процессов и структурные сдвиги в экономике.

**Заключение**

Формирование институциональной среды низкоуглеродного экономического развития в России и меры по поддержке декарбонизации, учитывающие специфику российских секторов, значительно расширят возможности компаний по сокращению выбросов парниковых газов.

В краткосрочной перспективе нестабильная геополитическая ситуация, переориентация торговых отношений с Запада на Восток, а также снижение доходов от продажи углеводородов, секционное давление и отсутствие доступа к высокотехнологичным решениям декарбонизации вряд ли позволят российским компаниям стать лидерами рынка новых энергетических решений. Ключевой стратегией для российских углеродоемких секторов станет повышение энергоээфективности при использовании традиционных энергоресурсов в сочетании с CCUS-технологиями и постепенным развитием водородной энергетики на основе природного газа с целью сокращения технического отставания от мировых лидеров низкоуглеродных технологий и сохранения конкурентных позиций на формирующихся рынках продукции с низким углеродным следом.

**Список литературы**

Пахомова, Н., Рихтер, К. К., & Ветрова, М. (2022). Глобальные климатические вызовы, структурные сдвиги в экономике и разработка бизнесом проактивных стратегий достижения углеродной нейтральности. Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, 38(3), 331-364. https://doi.org/10.21638/spbu05.2022.301

ООН. Доклад о разрыве в уровне выбросов за 2022 год. URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40932/EGR2022_ESRU.pdf?sequence=12> (дата обращения: 15.03.2023)

ООН Доклад о разнице мер адаптации к изменению климата, 2022 год URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/reports> (дата обращения: 15.03.2023)

1. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. cб./Росстат. – 0-92 M., 2022. – 115 с.
2. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р, 2021 Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.
3. Arens, M., Åhman, M. and Vogl, V. (2021) Which countries are prepared to green their coal-based steel industry with electricity? — Reviewing climate and energy policy as well as the implementation of renewable electricity, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 143, 110938 DOI:[10.1016/j.rser.2021.110938](http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2021.110938)
4. Cherepovitsyn A, Fedoseev S, Tcvetkov P, Sidorova K, Kraslawski A. Potential of Russian Regions to Implement CO2-Enhanced Oil Recovery. Energies. 2018; 11(6):1528. <https://doi.org/10.3390/en11061528>
5. He, G., Lin, J., Sifuentes, F. *et al.* Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China’s power system. *Nat Commun* **11**, 2486 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16184-x>
6. Draxler, M., Schenk, J., Bürgler, T. and Sormann, A. (2020) The steel industry in the European Union on the crossroad to carbon lean production status, initiatives and challenges, BHM Berg-Und Hüttenm annische Monatshefte, 65, pp. 221–226. <https://doi.org/0.1007/s00501-020-00975-2>
7. EDGAR Report 2022. CO2 emissions of all world countries URL: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\_2022?vis=tot#emissions\_table (дата обращения: 15.03.2023)
8. Ives, M., Righetti, L., Schiele, J., De Meyer, K., Hubble-Rose, L., Teng, F., Kruitwagen, L., Tillmann-Morris, L., Wang, T., Way, R., & Hepburn, C. (2021). A new perspective on decarbonising the global energy system. Oxford University Smith School of Enterprise and the Environment.
9. Statistical Review of World Energy 2022 (англ.). BP (28 июня 2022)
10. Way R., Lafond F., Lillo F., Panchenko V., Farmer J. (2019) Wright meets Markowitz: How standard portfolio theory changes when assets are technologies following experience curves, Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 101, P. 211-238, <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.10.006>.