

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора экономических наук, профессора Бобылева Сергея Николаевича на диссертационную работу Цветкова Павла Сергеевича на тему: «Углеродная экономика замкнутого цикла как инструмент устойчивого развития промышленности», представленную на соискание ученой степени доктора экономических наук по специальности 5.2.3. «Региональная и отраслевая экономика» (экономика промышленности).

Актуальность темы диссертационной работы. Сложившаяся к настоящему времени парадигма декарбонизации не привела к перелому глобального тренда роста выбросов парниковых газов. За три десятилетия, прошедшие после подписания Рамочной конвенции ООН об изменении климата, концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере продолжила увеличиваться, а структура климатических инвестиций оказалась смещенной в сторону технологий, применимость которых в углеродоемких отраслях (металлургия, цементная промышленность, химический комплекс) остается ограниченной. Этот разрыв между заявленными глобальными целями и реальными технологическими возможностями создает запрос на альтернативные подходы к управлению промышленными выбросами.

Для российской экономики, где доля углеродоемких производств в структуре промышленности исторически высока, проблема приобретает дополнительную значимость. С одной стороны, форсированный переход на возобновляемые источники энергии сопряжен с рисками для энергобезопасности и конкурентоспособности традиционных отраслей. С другой – игнорирование климатической повестки чревато потерей экспортных рынков, ростом издержек в рамках трансграничного углеродного регулирования и технологическим отставанием. Эти риски сохраняются и сейчас даже в условиях санкций, так как наши крупнейшие партнеры страны БРИКС (в частности Китай и Индия) будут ужесточать требования к экологичности импорта для сохранения своих экспортных позиций.

В этих условиях поиск решений, позволяющих не столько замещать углеродоемкие производства, сколько трансформировать их с вовлечением техногенного CO<sub>2</sub> в замкнутые циклы, становится не только теоретическим, но и практическим вопросом развития промышленного производства.

В мировой науке и практике последних лет наблюдается возрастающий интерес к технологиям улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS).

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-113 от 29.05.26  
АУ УС

Однако системное осмысление этих технологий в качестве основы для формирования отрасли секвестрации углекислого газа остается фрагментарным, как и их встраивание в методологию устойчивого развития промышленности. Отсутствуют не только количественные оценки потенциала таких решений для российской промышленности, но и понятийный аппарат, позволяющий говорить о них как о целостной системе, а не о наборе разрозненных инженерных решений.

Предлагаемая автором концепция углеродной экономики замкнутого цикла (УЭЗЦ) представляет собой попытку заполнить этот пробел, смещая акцент с предотвращения выбросов на управление углеродными потоками как ресурсом производства.

**Научная новизна диссертационной работы.** В диссертации проведено конструктивное исследование с целью разработки научных основ УЭЗЦ как самостоятельной междисциплинарной концепции, синтезирующей принципы низкоуглеродного развития и экономики замкнутого цикла. Соискатель обосновывает переход от традиционных методов декарбонизации, основанных на предотвращении выбросов, к моделям рационального управления техногенными потоками углерода.

Существенным теоретическим вкладом является введение и концептуализация категории «углеродный метаболизм», трактуемой как совокупность биогеохимических процессов обмена и преобразования потоков углерода в природных и антропогенных системах, поддающаяся управлению за счет реализации мероприятий, инициируемых в социально-экономических системах. Введенное понятие, с одной стороны, связывается с концепцией ассимиляционного потенциала окружающей среды, обеспечивая мост между экологическим и экономическим измерениями проблемы, с другой – создает методологическую основу для перехода от дискретных инструментов регулирования отдельных источников выбросов к системному управлению потоками углерода в масштабах отрасли и национальной экономики на основе инструментов методологии анализа жизненного цикла.

На инструментально-методическом уровне новизна диссертации прослеживается в разработке комплекса взаимосвязанных моделей и методических подходов, обеспечивающих практическую реализацию положений концепции УЭЗЦ в условиях российской промышленности. В-первых, на основе эконометрического анализа данных более чем 120 стран с применением квантильной и квантиль-квантильной регрессии установлена дифференцированная зависимость между динамикой промышленных

выбросов парниковых газов и национальными показателями производства и потребления различных видов энергетических ресурсов, что позволило доказать необходимость отраслевой диверсификации стратегий низкоуглеродного развития. Во-вторых, разработан и верифицирован методический подход к оценке экономического эффекта кластерной организации улавливания и транспортировки промышленного CO<sub>2</sub>, апробированный на данных 533 предприятий трех углеродоемких отраслей России. В-третьих, предложена методика многокритериальной оценки и ранжирования продуктов переработки CO<sub>2</sub> в зависимости от специфики регионального контекста, ресурсной базы и стратегических приоритетов.

Совокупность полученных результатов обладает системным характером и образует единую научную конструкцию, в которой каждый элемент содержательно обусловлен предыдущим. Это положительно характеризует данную диссертацию и позволяет рассматривать ее как целостный и значимый вклад в развитие теории устойчивого развития экономики промышленных отраслей.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.** На уровне теоретических построений соискатель опирается на фундаментальную и актуальную научную базу. Значительную ее часть составляют публикации последних лет в ведущих международных журналах, данные МГЭИК, IEA, Всемирного экономического форума.

На уровне количественных методов исследования и прикладных оценок используется современный инструментарий, адекватный стоящим задачам: квантильная и квантиль-квантильная регрессия для анализа зависимости выбросов от структуры производства и потребления энергии в 122 странах; метод Монте-Карло для стохастической оценки изменения углеродного следа объектов инфраструктуры в результате реализации технологических процессов улавливания CO<sub>2</sub>; алгоритм SLSQP и метод Нелдера-Мида для оптимизации кластерной конфигурации улавливания и транспортировки CO<sub>2</sub>.

Диссертация содержит 402 страницы машинописного текста, 105 рисунков, 59 таблиц, список литературы из 469 источников и 18 приложений на 44 страницах. Все защищаемые положения, сформулированные в диссертации, соответствуют ее названию, цели и задачам, являются обоснованными и опираются на результаты выполненных соискателем исследований. Выводы и рекомендации сформулированы корректно и обладают логической завершенностью.

**Научные результаты и их ценность.** Среди важных результатов диссертации следует выделить следующие:

1. Разработаны теоретико-методологические положения УЭЗЦ как целостной концепции, ориентированной на формирование моделей промышленной деятельности с низким уровнем парниковых газов без радикального отказа от углеродоемких технологий. Это положение имеет значение, поскольку предлагает альтернативный путь устойчивого развития для стран с высокой долей тяжелой промышленности.

2. Предложен концептуальный подход к анализу эффектов промышленных выбросов  $\text{CO}_2$  с позиции их потенциальных положительных экстерналий при условии реализации технологических цепочек улавливания, транспортировки и утилизации. Смена восприятия  $\text{CO}_2$  (от исключительно негативного фактора к потенциальному ресурсу создания добавленной стоимости) расширяет теоретические границы низкоуглеродного развития и позволяет расширить аргументационную базу для обоснования экономической целесообразности проектов секвестрации углекислого газа.

3. Выявлены и систематизированы отраслевые, пространственные и технологические барьеры сокращения выбросов парниковых газов в различных секторах промышленности, включая ограничения ключевых технологий, лежащих в основе современных стратегий низкоуглеродного развития. Это позволило обосновать необходимость технологической диверсификации национальных и отраслевых стратегий низкоуглеродного развития.

4. Обоснована необходимость перехода от принципа повсеместного сокращения выбросов к принципу рационального управления и использования углеродных потоков, предполагающему поиск экономически эффективных моделей обращения с техногенным углеродом в промышленном секторе.

5. Введена авторская трактовка понятия «углеродный метаболизм» и сформулированы концептуальные положения применения метаболического подхода при переходе от механизмов регулирования к механизмам управления выбросами  $\text{CO}_2$ . Это позволило обогатить понятийный аппарат отраслевой и экологической экономики, а также промышленной экологии, предлагая новый аналитический подход к изучению углеродных потоков.

6. Разработан методический подход к оценке влияния эффектов масштаба и концентрации  $\text{CO}_2$  в выбросах промышленных объектов на экономические показатели кластеров его улавливания и транспортировки. Это позволило количественно обосновывать преимущества кластерной

организации, заключающиеся в снижении удельных затрат на реализацию крупных инфраструктурных решений.

7. Выявлены условия формирования отрасли секвестрации углекислого газа, интегрирующей предприятия химической промышленности, минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов, а также прочие углеродоемкие производства. В совокупности работы, выполненные соискателем, позволяют сформировать научные основы для создания самостоятельного сектора экономики, способного стать драйвером технологического и структурного обновления промышленности в контексте перехода к моделям низкоуглеродного развития.

8. На примере объектов инфраструктуры продемонстрированы преимущества комплексного применения метода анализа жизненного цикла низкоуглеродной продукции для оценки эффектов, создаваемых проектами секвестрации и утилизации CO<sub>2</sub>, по сравнению с преобладающей практикой изолированной оценки отдельных технологических этапов (улавливание, транспортировка или утилизация). Соискателем продемонстрирована необходимость перехода от фрагментарного анализа отдельных технологических процессов к системному рассмотрению всей цепочки создания стоимости. Такой переход позволяет корректно учитывать совокупные эколого-экономические эффекты, выявлять скрытые издержки и выгоды, а также формировать объективную основу для принятия инвестиционных решений, разработки государственных мер поддержки и планирования низкоуглеродной трансформации промышленности.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что на основе выполненных соискателем исследований разработаны теоретические и методологические положения УЭЗЦ, вносящие существенный вклад в совершенствование научных основ устойчивого развития промышленности. Предложенная концепция УЭЗЦ позволяет по-новому осмыслить место техногенного углерода в экономической системе, а именно, как управляемого ресурса, интегрируемого в замкнутые производственные циклы. На основе этого соискателем разработана теоретическая основа для переосмысления механизмов низкоуглеродного развития, разработан понятийный аппарат, обогащающий экономику промышленности и экономику устойчивого развития, а также систематизированы предпосылки создания отрасли секвестрации углекислого газа.

Практическая значимость результатов диссертации проявляется в создании конкретных инструментов и рекомендаций, непосредственно применимых в управлении промышленностью и климатической политикой. Разработанные модели, методики и алгоритмы позволят повысить обоснованность определения приоритетных направлений государственной политики в области поддержки низкоуглеродных технологий. Для промышленных предприятий диссертация содержит инструментарий технико-экономического анализа совместных инвестиций в инфраструктуру секвестрации CO<sub>2</sub>, а для банков и институциональных инвесторов – аналитическую основу для оценки и структурирования проектов зеленого финансирования.

#### **Рекомендации по использованию результатов работы.**

Целесообразным представляется использовать результаты диссертации для совершенствования государственной политики в области низкоуглеродного развития промышленности. В частности, перспективным представляется:

- создание межведомственного координационного совета для разработки комплексного плана мероприятий по изучению потенциала и развитию отрасли секвестрации углекислого газа в России;
- включение технологий утилизации CO<sub>2</sub> в национальную таксономию зеленых проектов с адекватным уровнем их детализации;
- совершенствование методов мониторинга и верификации углеродного следа продукции, полученной с использованием утилизированного CO<sub>2</sub>.

Другим решением может стать запуск пилотных проектов по созданию кластеров улавливания CO<sub>2</sub> в регионах с высокой концентрацией промышленности, опираясь на принципы и модели, предложенные в работе. Результаты диссертации также могут быть использованы промышленными предприятиями при оценке целесообразности реализации проектов улавливания и утилизации CO<sub>2</sub>, анализе возможности создания межотраслевых цепочек формирования ценности на основе переработки углекислого газа, а также совершенствования корпоративных стратегий низкоуглеродного развития.

С точки зрения дальнейшего развития научных исследований, диссертация создает для них фундаментальную основу, поскольку в ней очерчен ландшафт решений, связанных с преобразованием CO<sub>2</sub> в полезные продукты, их проблем и перспектив. Соискатель справедливо отмечает в выводах, что развитие промышленных технологий утилизации CO<sub>2</sub> требует проведения междисциплинарных исследований на стыке экономики, химии,

физики и инженерного дела, что определяет перспективные направления дальнейших исследований.

### **Замечания и вопросы к диссертации**

1. Отдельным частям диссертации на мой взгляд не хватает экономической интерпретации. В частности, некоторые параграфы главы 1 и главы 4 излишне погружены в технологические детали без достаточного их экономического осмысления. С учетом ограниченности текста было бы целесообразно снять часть технологического анализа и увеличить объемы экономического исследования. Например, в заглавии диссертации есть термин устойчивое развитие промышленности. Авторскую интерпретацию устойчивости в данном контексте следовало бы расширить.

2. Соискатель применяет достаточно впечатляющий и конструктивный экономико-математический инструментарий для обоснования многих положений работы. Вместе с тем некоторые предпосылки и выводы представляют собой предмет дискуссии. Например, на стр. 114-116 моделировалась и выдвигалась гипотеза о прямом влиянии роста производства и потребления ископаемых видов топлива на увеличение выбросов ПГ и обратной зависимости для ВИЭ на примере 122 стран. Представляется, что проводить такой анализ в рамках отдельной страны некорректно. В последнее время появляется все больше исследований на основе оценки углеродного следа (структуры ООН, ОЭСР), которые показывают, что богатые страны переносят свои углеродоемкие и грязные производства в страны с трансформирующейся экономикой и бедные страны. Т.е. у «золотого миллиарда» идет минимизация экологоемкого производства при максимизации потребления. Поэтому в расчеты следовало бы ввести фактор потребления внутри стран с учетом углеродного следа потребления. О таком явлении как «утечка углерода» между странами, кстати, пишет и сам соискатель (стр. 183).

3. В работе можно было увеличить линейку расчетов по экономической эффективности по внедрению технологий улавливания, утилизации и хранения углерода. Очень хорошо показана затратная часть таких технологий как на основе теоретических расчетов, так и на основе конкретных примеров в мире. Однако мне не хватило экономической интерпретации выгод и эффектов от рассмотренных в работе технологий.

4. В диссертации справедливо отмечается, что основной проблемой всех технологий CCU|S является высокая стоимость улавливания CO<sub>2</sub>, которая

препятствует масштабному промышленному внедрению. Вместе с тем, вполне очевидно, что сегодня большинство климатических проектов не являются экономически эффективными (стр.274). Здесь соискателем была упущена возможность усилить свои позитивные аргументы за счет сценарных расчетов variability цены/оценки CO<sub>2</sub>. В современных условиях тезис о экономической неэффективности многих климатических проектов справедлив при цене 1 т CO<sub>2</sub>, например, на уровне 10-30 долл. Однако повышение этой цены до 100-120 долл. может сделать многие проекты эффективными. Кстати, такой уровень уже достигнут в некоторых странах Европы.

5. В диссертации обосновывается ограниченность возобновляемой энергетики как универсального решения для декарбонизации углеродоемких отраслей, однако существует и обратный риск. Активное продвижение CCUS как альтернативы может быть воспринято как основание для затягивания перехода на возобновляемую энергетику там, где это технически и экономически осуществимо. Следовало бы проанализировать, какими экономическими инструментами можно предотвратить создание стимулов для консервации устаревших технологических укладов.

6. В диссертации проведен анализ международных практик и механизмов регулирования выбросов парниковых газов, включая системы торговли квотами, углеродные налоги, контракты на разницу цен, налоговые льготы и иные инструменты. Соискателем также предложены меры по повышению эффективности существующих механизмов в контексте необходимости поддержки таких направлений, как CCUS. Вместе с тем, не вполне понятны приоритеты их внедрения и масштабирования в российских условиях. Какие из рассмотренных мировых практик, по мнению автора, следует считать первоочередными, в том числе, с точки зрения поддержки направления секвестрации CO<sub>2</sub>.

Высказанные замечания и вопросы не снижают ценности проведенного исследования и общего положительного впечатления от диссертации.

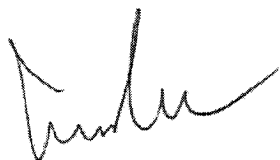
### **Заключение**

Диссертационная работа «Углеродная экономика замкнутого цикла как инструмент устойчивого развития промышленности», представленная на соискание ученой степени доктора экономических наук по специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика промышленности), полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский

горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Цветков Павел Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора экономических наук по специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика промышленности).

*Я, Сергей Николаевич Бобылев, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.*

**Официальный оппонент**, заведующий кафедрой экономики устойчивого развития и природопользования МГУ, доктор экономических наук (специальность 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством»), профессор



**Бобылев Сергей Николаевич**  
«20» июля 2026 г.

**Сведения об официальном оппоненте:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991. Тел.: 8 (916) 586-69-55. E-mail: snbobylev@yandex.ru

